



Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

**PROTÓTIPO EM IMPRESSÃO 3D PARA
EXECUÇÃO DE PINTURA INTERNA DE
PAREDES**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FELIPE DE AVIZ SIMÕES NOGUEIRA

2024

Felipe de Aviz Simões Nogueira

PROTÓTIPO EM IMPRESSÃO 3D PARA EXECUÇÃO DE PINTURA INTERNA DE PAREDES

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestrado.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Belém, 21 de Fevereiro de 2024.



PROTÓTIPO EM IMPRESSÃO 3D PARA EXECUÇÃO DE PINTURA INTERNA DE PAREDES

AUTOR:

FELIPE DE AVIZ SIMÕES NOGUEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 21 / 02 / 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luiz Mauricio Furtado Maués
Orientador (UFPA)

Prof. Dr. Daniel Tregnago Pagnussat
Membro Externo (UFRGS)

Prof. Dr. Daniel Duarte Costa
Membro Externo (UFMA)

Documento assinado digitalmente
gov.br LUCIANA DE NAZARE PINHEIRO CORDEIRO
Data: 14/03/2024 09:19:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.ª. Dra. Luciana de Nazare Pinheiro Cordeiro
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Felipe de Aviz Simões Nogueira

TÍTULO: Protótipo em Impressão 3D para Execução de Pintura Interna de Paredes.

GRAU: Mestrado ANO: 2024

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Felipe de Aviz Simões Nogueira

Tv. Angustura, 1544. Apt. 103.

Pedreira.

66.080-180. Belém – PA – Brasil.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

D278p de Aviz Simões Nogueira, Felipe,
PROTOTIPO EM IMPRESSÃO 3D PARA EXECUÇÃO
DE PINTURA INTERNA DE PAREDES / Felipe de Aviz
Simões Nogueira, Luiz Maurício. — 2024.
XVI, 81 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2024.

1. Modelagem 3D. 2. Impressão 3D. 3. Protótipo na
construção. 4. Automação de pintura. 5. Robótica e
automação na construção. I. Título.

CDD 629.893

Felipe de Aviz Simões Nogueira

Título

**PROTÓTIPO EM IMPRESSÃO 3D PARA EXECUÇÃO
DE PINTURA INTERNA DE PAREDES**

Qualificação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestrado.

Belém, 21 de Fevereiro de 2024.

Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Orientador

Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Banca Examinadora

Profº. Dr. Daniel Tregnago Pagnussat

Examinador Externo

Departamento Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia
do Campus Litoral Norte – UFRGS

Profa. Dr. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro

Examinadora Interno

Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Profº. Dr. Daniel Duarte Costa

Examinador Externo

Faculdade de Engenharia de Alimentos – UFMA

Coordenador do Programa

Profº. Dr. Denio Ramam Carvalho de Oliveira

Coordenador do PPGE/ITEC/UFPA

Dedico este trabalho à minha família, em especial, a minha mãe, Adriana de Aviz.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, não somente pela ajuda na formação profissional, mas também, no incessante ensino de ser humano.

A família Meireles, em especial a meu padrinho Francisco “Sizoca” Meireles Filho pela disposição em ensinar assim como permitir o uso de diversas ferramentas essenciais na parte de montagem, e ao Dr. Igor Meireles pela ajuda na criação do programa usado no protótipo.

A família Klatau, pela disposição na solução de problemas do sistema de locomoção do protótipo.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Mauricio Furtado Maués, pela oportunidade de adentrar na área de automação e robótica.

Aos Professores da Universidade Federal do Maranhão (Polo Imperatriz), colaboradores, Prof. Dr. Daniel Duarte e Prof. Dr. Gean Carlos na aprendizagem do uso de impressão 3D e apoio no Município de Imperatriz.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) e colegas de mestrado.

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa que financiou o desenvolvimento desta pesquisa.

A todas as pessoas que diretamente ou indiretamente ajudaram no êxito desta pesquisa.

RESUMO

Robótica e automação (R&A) são ferramentas utilizadas em diversas indústrias ocasionando no aumento de produtividade, diminuição de custo e menor tempo de ciclo. A indústria de manufatura já introduziu processos movidos por R&A, não somente, estão em meio a outra Revolução Industrial, a Indústria 4.0, que é uma junção de diversas tecnologias que se busca com sua integração a melhoria na eficiência e produtividade de sistema de produção. Enquanto outras indústrias evoluem na forma de melhorarem seus processos, a indústria da construção civil enfrenta problemas para adoção de novos métodos, como a forte dependência de mão-de-obra ocasionando na produtividade variada pois dependem tanta da condição física do trabalhador quanto a natureza repetitiva da tarefa, e a forte resistência a adoção de novas tecnologias. Desta forma, o presente trabalho busca o desenvolvimento de um protótipo de robô de tarefa única de execução de pintura de paredes internas de habitação, com o foco na estrutura de movimentação. Para tal, o método adotado foi Design Science Research pois tem como foco a criação de um artefato (solução) para a solução de um problema. Assim, a pesquisa, na parte de construção do artefato, constituiu da modelagem do protótipo com o uso do programa Fusion 3D, uso da impressão 3D para a construção física do protótipo com o material ABS e LPA, componentes eletrônicos compatíveis com a placa Arduino assim como a linguagem de programação própria. Na parte teórica, realizado um levantamento inicial do tema em banco de dados da CAPES, selecionou-se os termos chaves para uma pesquisa mais aprofundada em quatro base de dados, constando artigos repetidos dentro destas bases de dados.

Palavras-chave: Robótica e automação na construção; Modelagem 3D; Automação de pintura; Impressão 3D; Protótipo na construção.

ABSTRACT

Robotics and automation (R&A) are tools used in various industries, resulting in increased productivity, reduced costs and shorter cycle times. The manufacturing industry has already introduced processes driven by R&A, not only are they in the midst of another Industrial Revolution, Industry 4.0, which is a combination of several technologies that seek, through their integration, to improve the efficiency and productivity of the production system. While other industries evolve in ways to improve their processes, the construction industry faces problems in adopting new methods, such as the strong dependence on labor, resulting in varied productivity as they depend both on the physical condition of the worker and the repetitive nature of the task, and the strong resistance to the adoption of new technologies. Therefore, the present work seeks to create a single-task robot prototype for painting internal walls of a home, focusing on the movement structure. To this end, the method adopted was Design Science Research as it focuses on creating an artifact (solution) to solve a problem. Thus, the research, in the construction part of the artifact, consisted of modeling the prototype using the Fusion 3D program, using 3D printing for the physical construction of the prototype with ABS and LPA material, electronic components compatible with the Arduino board as well as its own programming language. In the theoretical part, an initial survey of the topic was carried out in the CAPES database, key terms were selected for further research in four databases, with repeated articles within these databases.

Keywords: Robotics and automation in construction; 3d modeling; Painting automation; 3D printing; Prototype in construction.

O homem não pode descobrir novos oceanos a menos que tenha a coragem de
perder de vista a costa.

Andre Gide

Sumário

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVO	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 LIMITAÇÕES	19
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	20
2 REFERÊNCIA TEÓRICO	21
2.1 INDÚSTRIA DA ENGENHARIA CIVIL	21
2.1.1 Problemas na construção	22
2.1.2 Pintura	24
2.2 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO	28
2.3 AUTOMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO	33
2.3.1 Modelagem	38
2.3.2 Prototipagem	42
2.3.3 Impressão 3D	43
2.3.3.1 Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)	44
2.4 PATENTE	45
3 MÉTODO DA PESQUISA	54
3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO	54
3.2 FASE DE DESENVOLVIMENTO	56
3.2.1 Fase 1: Delineamento Metodológico	57
3.2.1.1 Pesquisa Bibliográfica	57
3.2.2 Fase 2: Etapas do Processo	58
3.2.3 Fase 3: Produção do Componente	59
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1 MODELAGEM	61
4.2 IMPRESSÃO 3D	64
4.3 MONTAGEM	68
4.3.1 Chassi	68
4.3.2 Estrutura de locomoção	70
4.3.3 Componentes eletrônicos e programação	74
4.4 TESTE DO PROTÓTIPO	77
5 CONCLUSÃO	81
REFERÊNCIAS	83

Lista de Figuras

Figura 1 - Resumo das etapas da pesquisa	21
Figura 2 - Evolução da produtividade por hora trabalhada para o agregado.....	21
Figura 3 - Ilustração da composição da tinta	25
Figura 4 - Resumo das Revoluções Industriais	29
Figura 5 - Palácio de Cristal projetado em ferro e vidro pelo arquiteto Sir Joseph Paxton	30
Figura 6 - Unidade de Habitação.....	32
Figura 7 - Protótipo de sola ortopédica	39
Figura 8 - Interface do programa Autodesk Fusion 360.....	40
Figura 9 - Interface do programa Ultimaker Cura.....	41
Figura 10 - Esquema do processo de extrusão	44
Figura 11 - Braço robótico feito na impressora 3D	45
Figura 12 - Exemplos de diferença entre Patente de invenção e Patente de Modelos de Utilidades.....	46
Figura 13 - Comparação entre uma PI e Prototipo desta pesquisa	47
Figura 14 - Etapas do processo de revisão bibliográfica	57
Figura 15 - Modelo idealizado com rolo de tinta	62
Figura 16 - Modelo com uso de lata de tinta e plataforma elevatória	63
Figura 17 - Modelo final.....	64
Figura 18 - Chassi impresso em oito partes.....	66
Figura 19 - Defeitos de impressão.....	67
Figura 20 - Eixo em PLA	67
Figura 21 - Dano na parede por uso de rebite.....	68
Figura 22 - União das peças pelo fundo	69
Figura 23 - União das partes superior e inferior.....	70
Figura 24 - Conjunto roda motor com eixo de madeira	71
Figura 25 - Eixo de parafuso	71
Figura 26 - Motor DC com caixa de redução 12V 10RPM, modelo JGY-370	72
Figura 27 - Novo conjunto motor-roda.....	73
Figura 28 - Roda rodizio, boba ou central	74
Figura 29 - Lista de componentes eletrônicos e suas indicações	75
Figura 30 - Estrutura do programa	76
Figura 31 - Croqui das áreas de testes	78

Lista de Quadros

Quadro 1 - Exemplos de pistolas de pintura.....	27
Quadro 2 - Exemplos de aplicação de tecnologias	35
Quadro 3 - Patentes relacionadas a robô de pintura na base de dados da Espacenet	48
Quadro 4 - Patentes relacionadas a robô de pintura na base de dados da Google	50
Quadro 5 – Etapas da DSR	54
Quadro 6 - Tipos de artefatos	55
Quadro 7 - Resumo de características da DSR	55
Quadro 8 - Fases da pesquisa	56
Quadro 9 - Teste do protótipo.....	78

Lista de Abreviaturas e Siglas

Neste item são apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta tese. Aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicado assim que mencionados ao longo do texto desta pesquisa.

ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
ABSi	ABS esterilizável
BIM	Modelo de Informação da Construção (<i>Building Information Modeling</i>)
CAD	Modelo auxiliado por computador (<i>Computer aided design</i>)
	Sistema de engenharia auxiliada por computador (<i>Computer aided engineering</i>)
CAE	
CAM	Manufatura auxiliada por computador (<i>Computer aided manufacturing</i>)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento do Ensino Superior
DSR	Design Science Research
HV	Alto Volume (<i>High Volume</i>)
HVLP	Alto Volume, Baixa Pressão (<i>High Volume, Low pressure</i>)
I4	Indústria 4.0
IC	Indústria da Construção
IFMA	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Intelectual
LP	Baixa Pressão (<i>Low Pressure</i>)
LVL	Baixo Volume, Baixa Pressão (<i>Low Volume, Low Pressure</i>)
MU	Modelo de Utilidade
ONU	Organização das Nações Unidas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBI	Produto Interno Bruto
PC	Polycarbonato
PCB	Placas de circuito interno (<i>Printed Circuit Board</i>)
PDP	Processo de Desenvolvimento do Produto
PI	Propriedade Intelectual
PLA	Ácido Poliático

PNB	Produto Nacional Bruto
PPFS	Polifenilsulfona
PSI	Libra por polegada quadrada (<i>Pound by square inch</i>)
R&A	robótica e automação
RAC	Robótica e automação na construção
ROS	Robot operation System
RP	Rápida prototipagem
RPA	Automação de processo robótico (<i>Rapid Prototype Automation</i>)
SC	Setor da Construção
UFMA	Universidade Federal do Maranhão
VU	Vida útil

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia deixou de ser algo apenas visto em filmes de ficção científica e passa a entregar a vida cotidiana. O uso de robôs é algo que está tomando forma, podendo ser visto no uso de robô aspirador autônomo podendo ser usado tanto na casa quanto em empresas (Kalyani Radha; Ashok Chakravarthy, 2023), sensores de aproximação para economia de energia (Riyanto *et al.*, 2018), inteligência artificial (IA) como a Alexa e Google Home em vista a controlar partes da residência com função autônoma, como lâmpadas, ar-condicionado, etc (Guo *et al.*, 2019). Este crescimento da automação vem do avanço tecnológico devido a ambição da indústria em buscar meios diminuir custo, aumentar a produtividade e menor tempo de ciclo do produtivo, sendo estes benefícios buscados melhor visualizados nos “pulos” proporcionados pelos marcos das Revoluções Industriais.

A 3ª Revolução Industrial tem como pontos principais avanços da eletrônica, novas tecnologias, sistema CAD e CAM, consistindo em suma, a Revolução com foco na automação (Santos *et al.*, 2018). Partindo da 3ª Revolução Industrial, dando continuidade ao que foi alcançado, a indústria está em meio a outra revolução, chamada de 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (I4). Dentre diversas definições, destaca-se a de Frank, Dalenogare e Ayala (2019), em que a I4 é um conjunto de tecnologias que se busca com sua integração a melhoria na eficiência e produtividade de sistema de produção. Em outras palavras, é o uso em conjunto de tecnologias, de forma não taxativa, como inteligência artificial, Modelagem de Informação da Construção (BIM), Internet das Coisas, entre outras, na integração das diversas etapas horizontais e verticais da produção de um produto ou serviço almejando alto grau de eficiência e produtividade. Portanto, a 3ª revolução Industrial tratou de automação, que inclui robótica em sua área, e através da I4 eleva o grau de conectividade, isto é, a cooperação tanto para etapas de produção quanto os aparatos em si, como robôs. Contudo, a indústria não usufrui destes avanços como um todo.

A indústria automobilística implementou uma linha autônoma de fabricação, assim como, implementou em seus carros um sistema de direção autônomo, encontrado nas marcas GM, Volvo, Ford, BMW, sendo melhor reconhecido nos carros da empresa Tesla (Elliott, 2019). Na indústria têxtil, tem-se o uso do braço robótico divisor de fios, em que faz emendas aonde há quebra de fios (Jindal; Kaur, 2021). Na indústria alimentícia, Delta Robô para empacotamento de pretzels (Iqbal; Khan;

Khalid, 2017). Desta forma, o ambiente de manufatura apresenta ser lugar propício para adoção de robótica e automação, devido ao grau de controle possível em fábricas, em contraposição a indústria da construção (IC), que é um ambiente volátil, girando em torno de ações de multitarefa e manuseio de diversos materiais, tornando-o desafiador para adoção de tecnologias robóticas (Chu *et al.*, 2013).

A indústria da Construção é um forte setor da economia de um país, podendo vir a representar de 10% a 20% do produto nacional bruto (PNB) de muitos países (Kamath; Sharma, 2019), assim como 6% do produto interno bruto (PIB) global (World Economic Forum, 2017). Diante dessa importância econômica, é reconhecível o sentimento de incitação a implementação de robótica e automação na construção (RAC) que busca-se a melhoria do setor pela diminuição da mão-de-obra, aumento de produtividade, aumento de segurança, diminuição de riscos (Chen; Soto; Adey, 2018), diminuição de desperdício e maior controle de qualidade, entre outros. Contudo, as características do setor constituem barreiras, como a forte dependência de mão-de-obra e o fácil acesso a mesma (Delgado *et al.*, 2019), dificulta a adoção de tecnologias. Apesar dessas barreiras, há um número de pesquisas em RAC considerável.

O robô Brokk é utilizado na demolição de estruturas, evitando assim o risco a trabalhadores, porém, ainda apresenta problemas como rachaduras em suas peças durante uso (Cieslak *et al.*, 2015). Saindo da parte de demolição, o robô de confecção de peças de madeira laminadas, TIM, que foi utilizado na construção do teto do anfiteatro BUGA Wood Pavillion, mas precisa de ajuda humana tanto para locomoção (robô estacionário) e alimentação do material necessário (Wagner *et al.*, 2020). Há outras que propõe uso de robótica e automação, como a área de manutenção, com o robô de manutenção e pintura de pontes metálicas (Anderson; Wadsworth, 2001) e as inspeções de fachadas feitas por veículos aéreos não tripulados (VANT) (Ballesteros; Lordsleem Junior, 2021; Sousa, 2023).

Diante das aplicações de RAC, é possível ver espaço para desenvolvimento e também aplicação a outras áreas relacionadas ao setor da construção (SC). Um dos pontos principais para funcionamento do robô, é o sistema de locomoção. Isto posto, a pesquisa em questão visou tratar da locomoção de um protótipo dentro de um processo construtivo no canteiro de obra. Portanto, como deve ser construído o sistema de locomoção?

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Elaborar sistema de movimentação automático por meio de programação de um protótipo de robô de tarefa única para execução de pintura interna.

1.1.2 Objetivos Específicos

São considerados neste trabalho os seguintes objetivos específicos:

- Construir a modelagem inicial do protótipo;
- Escrever o código de programação;
- Imprimir o protótipo em impressora 3D;
- Conduzir teste de movimentação;

1.2 LIMITAÇÕES

Devido à natureza da aplicação da robótica, são geradas as seguintes limitações neste trabalho:

- O material termoplástico ABS ou PLA de impressão 3D apesar de ter um grande mercado, garantindo a fácil aquisição, uma vez sólido após processo de impressão, sua trabalhabilidade é limitada, não sendo maleável após impressão mesmo o aquecendo, não apresenta boa resistência a torção e força de impacto;
- Um protótipo é uma obrigação no teste de ideias, no entanto, pode tornar-se dispendioso visto que o projeto será inevitavelmente modificado e a versão anterior torna-se obsoleta (descartável);
- A disponibilidade de materiais varia com o local, tornando a aquisição de componentes escasso ou inexistente na localidade, restando a compra online, que pode levar demasiado tempo para chegar.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa é dividida em 5 seções, além das referências e apêndices apresentados no final. As seções seguem da seguinte sequência.

A seção 1 introduz o tema a partir de uma contextualização, assim como a justificativa da pesquisa em conjunto com o objetivo geral e objetivos específicos, pressuposto e limitações.

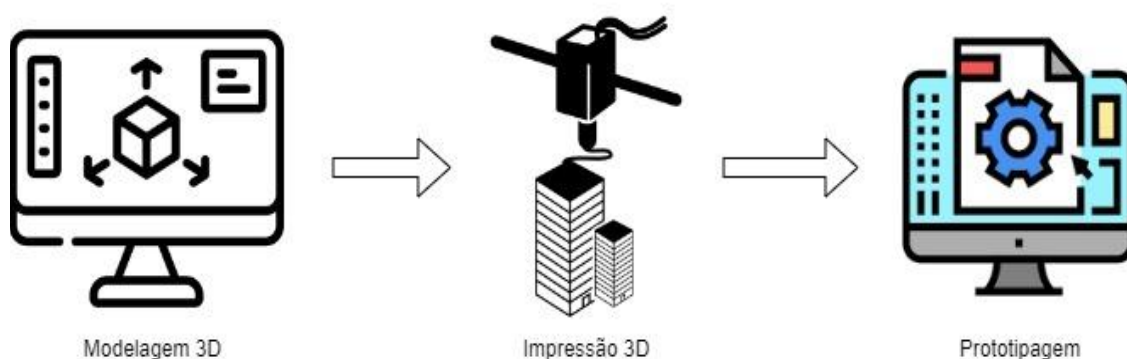
A seção 2 aborda o referencial teórico utilizado na construção deste trabalho. Traz características da indústria da construção e da automação.

A seção 3 trata do método adotado para esta pesquisa, explicando o porquê de ter sido escolhido assim como traz o caminho seguido para a construção do protótipo. Resultados e discussões fazem parte da seção 4, dissertando sobre as limitações e escolhas no processo de criação. A Seção 5, por fim, é a conclusão da pesquisa, na qual trata dos objetivos alcançados.

2 REFERÊNCIA TEÓRICO

Os tópicos tratados neste capítulo têm como objetivo embasar as hipóteses, argumentos, interpretações, discussões e resultados nesta pesquisa, assim situando-a dentro de um contexto acadêmico e científico. Desta forma, a automação na construção visa a melhoria no processo de execução de serviços. Para alcançar tal objetivo, esta pesquisa trata de uma parte da área de automação, a prototipagem, sendo esta, nada mais que o teste de uma ideia. Assim, propõe-se a melhoria de um serviço da construção utilizando-se da prototipagem. A figura 1 resume as etapas principais.

Figura 1- Resumo das etapas da pesquisa



Fonte: Acervo do autor (2023)

Portanto, o referencial teórico tratará da proposta de vincular prototipagem e construção civil. Os conceitos anteriormente citados serão aprofundados nas suas respectivas seções.

2.1 INDÚSTRIA DA ENGENHARIA CIVIL

A construção civil já existia desde os primórdios da humanidade, buscando soluções para problemas de infraestrutura da cidade, porém, só muito tempo depois foi-se denominar aqueles que hoje são conhecidos como engenheiros civis (Wood, 2012). Conforme a raça humana foi deixando de ser um povo nômade com sua subsistência assentada em caça e coleta, e adentrando na área de cultivo e agricultura, criando os assentamentos, e posteriormente as cidades, surge a

necessidade de melhorar as condições de habitação, para proteção de predadores e fenômenos climáticos (Queiroz, 2019). Nesse contexto, como forma de delimitar partes históricas, caracteriza-se a engenharia antiga, aquela em que a alteração do ambiente eram mínima, como as habitações rudimentares deste tempo eram construídas com materiais próximos ao ambientes em que o povo vivia; contrapondo com a engenharia moderna, em que baseava-se na técnica e empirismo, modificando o ambiente a sua volta, com a criação de armamentos, fortificações, estradas, túneis, aquedutos, etc (Bazzo, 2006). Nessa mesma linha, o acréscimo da palavra civil veio a diferenciar os engenheiros que trabalhavam na área militar, criando duas áreas: engenharia civil, voltada para infraestrutura civil e a engenharia militar, voltada para defesa das cidades.

A engenharia moderna evoluiu de tal forma que faz parte essencial da economia de um país. Por exemplo, no Reino Unido, a indústria da construção emprega mais de dois milhões de pessoas, assim como também é um grande consumidor de matérias com um mercado estimado em cinquenta milhões de libras, contribuindo 7% para o PIB do país (GITNEX, 2023). Nos Estados Unidos, empregou 7,7 milhões de pessoas constatados em agosto de 2022, assim como contribuiu 4.2% para o PIB do país (R\$ 959 bilhões USD) em 2021 (AGC, 2022). No Brasil, por sua vez, empregou no final do 2º trimestre de 2022 mais de 7,487 milhões de pessoas (CBIC, 2022b). Apesar de movimentar a economia em diversos setores, enfrenta problemas diversos como falta de mão-de-obra e produtividade, abordados na seção adiante.

2.1.1 Problemas na construção

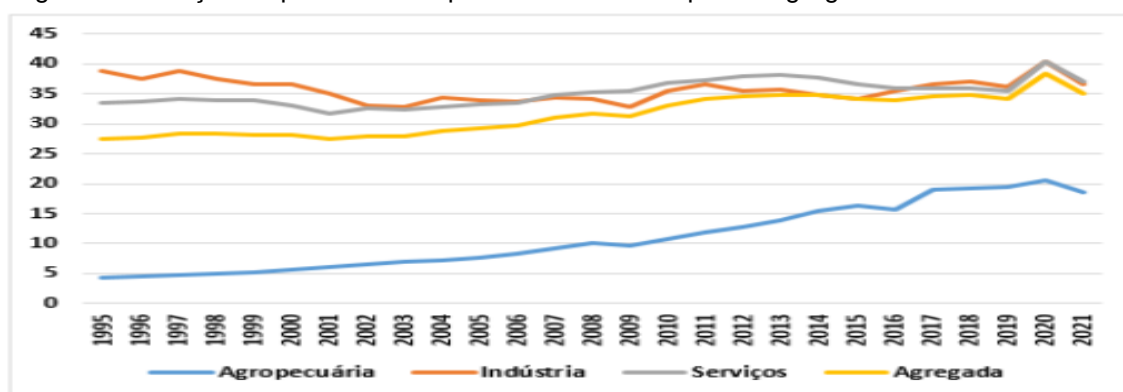
O setor da construção não só tem como característica o uso intensivo de mão-de-obra, mas também, a forte dependência desta. Consequentemente, fica suscetível à mudanças demográficas, acarretando na falta de mão de obra devido ao envelhecimento da população (Wong Chong *et al.*, 2022). O Brasil pode vir a sofrer do mesmo problema pois a taxa de fecundidade, que é o número médio de filhos por mulher no período fértil, decaiu ao longo dos anos de 2,39 em 2000 para 1,6 em 2016 (IBGE, 2023).

Por outro lado, Melenbrink, Werfel e Menges (2020) reconhecem a falta de mão-de-obra como um problema, porém se referem a mão-de-obra qualificada. Os

oficiais dos Empreiteiros Gerais Associados da América (Estados Unidos) afirmam que há uma dificuldade em preencher vagas de aposentados, devido à falta de mão-de-obra qualificada, apesar de quase alcançar recorde de vagas de emprego em 2022 (AGC, 2023). No Brasil, no levantamento realizado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção, também é encontrado dificuldade na contratação de mão-de-obra qualificada, para empresas de pequeno porte, sendo a maior dificuldade em achar pedreiro e carpinteiros, assim como mão-de-obra terceirizada (CBIC, 2022a). Portanto, há um envelhecimento da população que não coincide com a geração de mão-de-obra para preenchimento posterior.

No que diz respeito a produtividade, Veloso et al. (2022) mostra que a indústria brasileira como um todo sofreu decréscimo anual de 0,2 % de 1951 a 2021, podendo ser visto na figura 2.

Figura 2- Evolução da produtividade por hora trabalhada para o agregado – Em Reais de 2019



Fonte: <https://blogdoibre.fgv.br/posts/produtividade-do-trabalho-no-brasil-uma-analise-dos-resultados-setoriais-desde-meados-da>

O Brasil peca na questão de produtividade da mão-de-obra, em que Feldmann (2023) e Lima e Silva (2015) trazem como pontos a falta de qualidade de educação básica e superior (técnica), barreiras burocráticas, falta de investimento e péssima gestão governamental. Estes problemas acarretam em um efeito bola de neve, no que diz respeito a pesquisa e desenvolvimento.

Cai et al. (2019) mencionam o custo elevado e baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), o que compõe uma barreira ao desenvolvimento de novas tecnologias. O fato de grande parte da indústria civil ser formada por empresas de pequeno e médio porte, não tendo sido planejadas adequadamente desde sua criação (Oesterreich; Teuteberg, 2016), ocasiona em um efeito cascata, na qual a dificuldade de realocar capital para área de P&D devido ao alto custo da mesma e falta de certeza

de retorno, agrava a dificuldade de criação de novas tecnologias para o setor, assim como, a adaptação de outras.

Os problemas expostos afetam a indústria como um todo, mantendo os processos construtivos para execução de estruturas estagnados ou com dificuldade em adotar melhorias. Um desses processos é a execução de pintura.

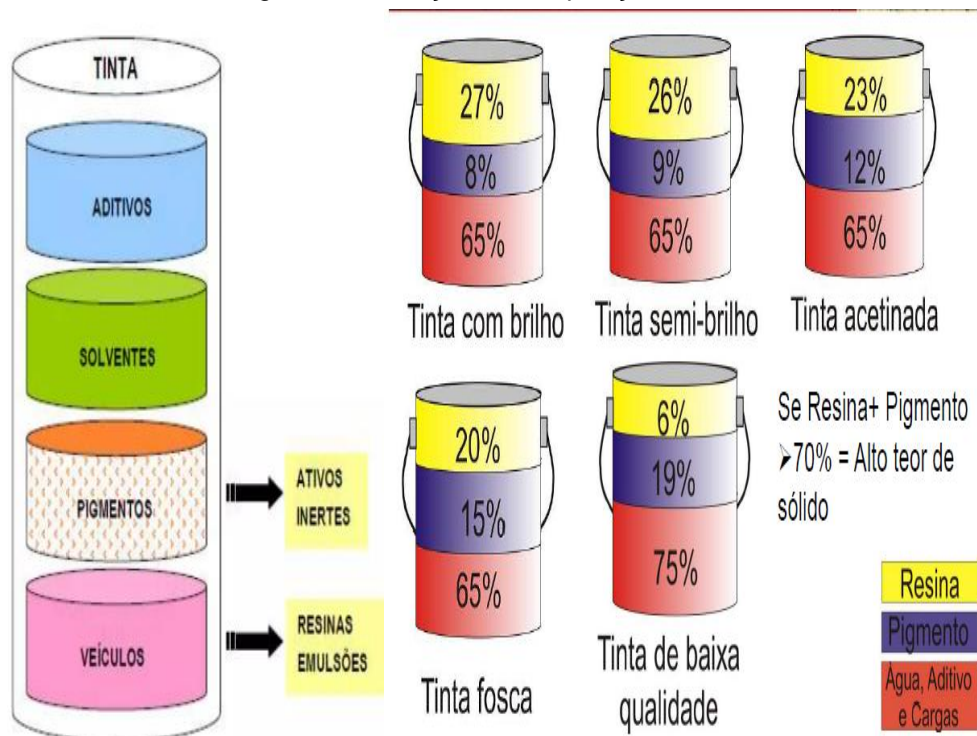
2.1.2 Pintura

A pintura não somente agrega valor estético, mas ajuda no combate ao intemperismo sendo um dos serviços que auxilia a alcançar o tempo de vida útil (VU) previsto da habitação (ABNT, 2021). Para tal proteção e aumento da longevidade do sistema em que faz parte, a tinta atua como uma película protetora, ou também, de elemento de sacrifício (Bauer, 2016). A composição da tinta, pode ser dividida em:

- a) Resina ou Emulsão: Veículo, no caso, um material ligante ou aglomerante, não volátil, que fixa, junta e faz aderir as partículas do pigmento, dando integridade a película de pintura (Polito, 2009);
- b) Pigmento: São pequenas partículas que devem ser insolúveis nos demais componentes de tinta, como óleo e solventes, e tem por fim principal, dar cor e opacidade a película útil (Bauer, 2016). Em outras palavras, são materiais orgânicos (como toluidina, ftalocianina) ou inorgânicos (como cromato de chumbo e de bário) que são encontrados misturados no veículo, não sendo possível dissolvê-los, pois é a partir deles que se dá a coloração da tinta.
- c) Solvente: Facilita a aplicação da tinta por meio da diminuição da viscosidade do veículo (Bauer, 2016), isto é, atua como diluidor, podendo ser água ou ésteres (para tintas acrílicas e vinílicas);
- d) Aditivos: São substâncias adicionadas a tinta que proporcionam características, como reduzir o ataque da película de tinta pelos fungos (fungicida) (Universidade Federal de Ouro Preto, 2020).

Assim, a tinta é composta por estas quatro partes, variando a porcentagem da sua composição para assumir uma especificidade. A figura 3 ilustra a composição da tinta, assim como um exemplo das porcentagens.

Figura 3 - Ilustração da composição da tinta



Fonte: Polito (2009), Universidade Federal de Ouro Preto (2020)

A execução do serviço de pintura ainda é realizada de forma manual, estando sujeito a falhas devido estar suscetível à performance do operário, e este, a fadiga. As ferramentas usuais no ramo de pintura são os pinceis de pintura e os rolos de pintura, com cerdas sintéticas ou naturais e rolo de lã sintética, respectivamente. A pistola de pintura é outra ferramenta a ser considerada, já que pode aumentar a eficiência da execução da pintura. Ao utilizar tal ferramenta, deve ser considerado três características (Dominik, 2021; FG, 2022; RML, 2012; Tornado Máquinas, 2023):

- a) Tipo de pistola: Dividida em pistola tipo sucção ou pistola tipo gravidade. A posição do recipiente de tinta, também conhecida como caneca plástica, determina o tipo de alimentação da pistola de pintura, em que caso se encontre na parte inferior da pistola é o tipo sucção, no dado momento que aciona-se o gatilho gera uma pressão devido a entrada de ar que puxa a tinta (sucção) do recipiente e pulverizada na superfície. Enquanto que, caso o recipiente de tinta encontra-se na parte superior da pistola, este é do tipo gravidade, em que a gravidade ajuda no impulsionamento da tinta, ainda sim, utilizando-se da pressão do ar

comprimido que puxa a tinta do recipiente. A diferença dois tipos diz respeito a potência do compressor, pois caso seja de sucção é necessário um compressor mais potente, enquanto que o tipo gravidade não compartilha essa necessidade, contudo, como as potências são diferentes, o uso também diferencia, como o de sucção é ideal para projetos maiores como paredes, enquanto que o de gravidade seria para projetos menores, como decoração e pintura de móveis;

- b) Tipo de pulverização: A pulverização trata de aspergir a tinta, dispersar em gotículas o material. Os tipos de pulverização têm suas diferenças na pressão de ar usada, conhecida como libra por polegada quadrada (*Pound by square inch – PSI*), considerando que as pistolas podem regular a pressão, devendo atender as orientações do fabricante. São divididos em três tipos:
- a. Convencional: Pressão entre 40 a 60 psi, que faz com que a maior parte da tinta vire nevoa, conseqüentemente com pouco aproveitamento e maior consumo de tinta. Mesmo com esse ponto negativo, é de fácil uso e traz agilidade;
 - b. Alto volume, baixa pressão (*High Volume Low Pressure – HVLP*): Pressão varia entre 15 a 45 psi, com o uso de uma pistola similar a convencional. Em outras palavras, usa uma alta taxa de volume de ar (HV) e uma baixa taxa de pressão (LP) para pulverizar a tinta. Para seu uso, é necessário a ferramenta constar em suas características esse tipo de sistema;
 - c. Baixo volume, baixa pressão (*Low Volume Low Pressure – LVLP*): Sistema que usa baixa taxa de volume de ar (cerca de 10 psi) e baixa taxa de pressão. Há uma maior quantidade depositada de tinta na superfície, oferecendo um melhor acabamento. Assim como no sistema HVLP, é preciso constar nas características da ferramenta o sistema LVLP.
- c) Tipo de alimentação: Os tipos de alimentação não excluem o uso de compressor de ar, mas dependendo do tipo de alimentação é possível que o compressor esteja adaptado a pistola, não sendo dois componentes separados, mas uma peça única. São considerados três tipos de alimentação:

- a. Bateria: Utilização de bateria, podendo ser removível ou recarregável, diminuindo a necessidade de pontos de conexão;
- b. Ponto elétrico: Uso de cabo de fonte de energia para funcionamento, necessitando de pontos de ligação elétrica;
- c. Pneumática: Não precisa de uma bateria ou ponto elétrico, mas precisa de um compressor de ar para funcionamento.

Em relação ao uso de qual tipo de tinta na pistola de pintura, vai de cada fabricante da ferramenta, assim como a viscosidade da tinta, isto é, o grau de diluição dita quão potente o compressor de ar deve ser para poder projetar a tinta na superfície. O quadro 1 traz exemplos de pistolas de pintura.

Quadro 1 - Exemplos de pistolas de pintura

Item	Exemplo
Pistola por gravidade, acompanha de regulador de pressão. Possui sistema HVLP. Tipo pneumática, pois é necessário compressor de ar para funcionamento.	
Pistola por sucção com bateria removível e intercambiável, com compressor embutido. Possui jato com 3 opções de ajuste (redondo, vertical e horizontal), chave de ajuste do volume de tinta e sistema HVLP (alto volume e baixa pressão). Aceita até 60 DIN/S.	
Pistola de sucção com ponto elétrico, com compressor embutido. Possui jato com 3 opções de ajuste (vertical, horizontal e circular), chave de ajuste do volume de tinta e sistema HVLP (alto volume e baixa pressão). Aceita até 40 DIN/S, e acompanha medidor de viscosidade.	
Pistola tipo sucção com caneca de pintura metálica. Sistema convencional, pois não consta sistema HVLP ou LVLP na descrição do fabricante.	

Outro ponto a ser considerado, seria o perigo da execução de pintura, por exemplo, nos serviços realizados nas fachadas e suas devidas manutenções representam um perigo ao pintor, já que se encontram pendurados por cabos, em “cadeirinhas” ou andaimes metálicos, vulneráveis a mudanças climáticas e intemperismo. Outro perigo, seria a tinta conter chumbo na sua composição. Apesar do Brasil fazer parte dos países que proíbem a adição de chumbo na tinta, é constatado que novecentas mil pessoas morrem todo ano devido a exposição ao chumbo (ONU, 2022).

Desta forma, a pintura deve ser feita por um profissional capacitado, e ainda assim, corre riscos inerentes a profissão. Busca-se, então, melhorar o processo de execução de pintura através do uso de automação e robótica visando benefícios como melhores condições de trabalho devido a diminuição de tarefas físicas, aumento de produtividade e eficiência com custos reduzidos, qualidade do produto e consistência devido à alta precisão (Shareef, 2023). Para um entendimento holístico, adentra-se, em seguida, a industrialização da construção civil e posteriormente a automação na indústria da construção.

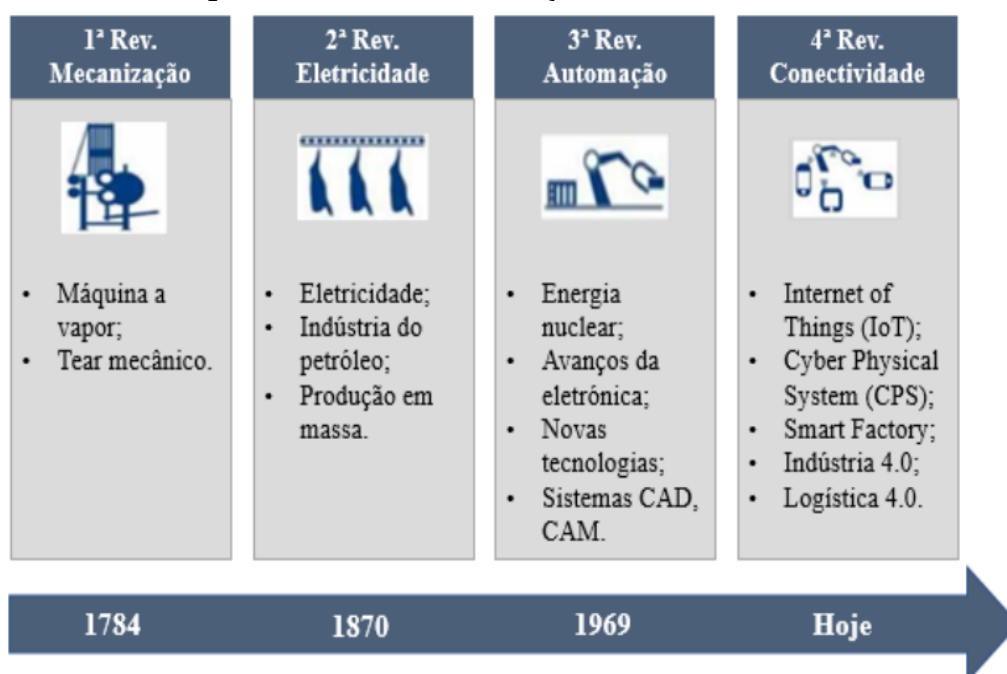
2.2 INDUSTRIALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

A Revolução Industrial foi um marco das mudanças da produção humana, podendo ser uma busca, além da curiosidade latente de um indivíduo, a sustentação da raça humana. A Revolução Industrial pode ser dividida nas seguintes etapas, de acordo com (Santos; Araújo, [s. d.]):

- a) 1º Etapa (1760-1850): Caracterizado pela produção de bens de consumo, em especial, a indústria têxtil com a aplicação de maquinários a vapor;
- b) 2º Etapa (1850-1900): O diferencial baseia-se no uso da energia hidroelétrica e de derivados fósseis (petróleo), a diminuição das distâncias entre os pontos comerciais em decorrência a invenção da locomotiva e do barco a vapor;
- c) 3º Etapa (1900-1980): Marcada pela abertura de empresas multinacionais, com automatização de processos produtivos, produção em série, o avanço de diversas industrias como eletrônica e o uso do robô;
- d) 4º Etapa (1980-atual): Identificada pelo uso intensivo da informática.

De outra maneira, as etapas podem ser entendidas como é conhecido comumente as revoluções, como 1º Revolução Industrial (1º Etapa), 2ª Revolução Industrial (2º Etapa), etc. Os períodos históricos não são vistos de forma homogênea pelos pesquisadores, podendo variar de autor para autor. Em contraposição a Santos e Araújo ([s.d.]), Santos (2018) traz um resumo das revoluções visto na figura 4.

Figura 4 - Resumo das Revoluções Industriais



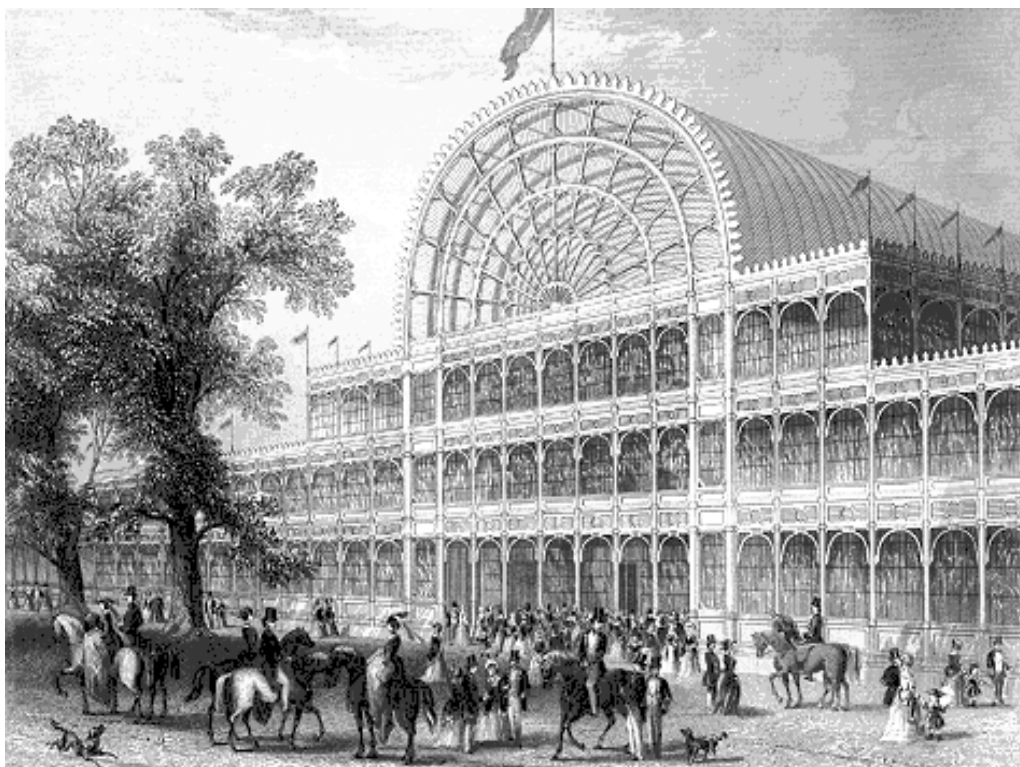
Fonte: Santos (2018)

Antes de adentrar as revoluções, é prudente conceituar industrialização de forma clara. Desta forma, Brizolara (1979 apud Alves, 2016) disserta que a industrialização é um conceito mais amplo, não vinculado somente a um aspecto de processo construtivo, e sim, engloba tanto um processo em suas diversas formas, assim como outros processos construtivos como a construção de pontes ou túneis ou aqueles processos que aproveitam-se as soluções parciais dando uma ampla gama de soluções mistas.

De início, a 1ª Revolução Industrial ficou marcada pela passagem da produção artesanal para a de maquinário (maquinofatura). A engenharia, neste período, num todo, passou por grandes transformações, não somente houve uma mudança de tipo de produção, mas como foi criado em 1856 o processo bessemer de produção, que o engenheiro Henry Bessemer desenvolveu para a produção de aço (composto basicamente de ferro e carbono), já que o aço era muito caro e sua produção artesanal

era limitada a ferramentas e equipamentos que precisam de resistência elevada (Queiroz, 2019). Queiroz (2019) pontua que devido a produção de aço ter adquirido grau de larga escala, além de outras descobertas como a invenção da máquina a vapor do engenheiro James Watt, proporcionaram a construção de ferrovias, grandes vãos de pontes e coberturas metálicas. Desta forma, na primeira metade do século XIX, houve exigências por construções melhores e mais resistentes, o que levaram ao uso de materiais diferentes, como o ferro e o vidro que foram amplamente difundidos neste período, a exemplo do Palácio de Crystal (figura 5), surgindo desta linha, a construção de pré-fabricado; contudo, esta linha foi deixada de lado, e só retomada um século depois (Marco, 2015).

Figura 5 - Palácio de Cristal projetado em ferro e vidro pelo arquiteto Sir Joseph Paxton



Fonte: Merin (2013)

O próximo marco no desenvolvimento da construção toma corpo pós Segunda Guerra Mundial, onde a Europa encontrava-se devastada, com escassez de recursos, mão-de-obra qualificada e habitações. Em busca de reerguer os países europeus, a industrialização da construção foi considerada como única alternativa de solução operativa diante da complexidade dos problemas na qual a racionalização e mecanização de processos são focos importantes para aumento de produtividade e a redução de custos (Marco, 2015). Íria Doniak (2021), Presidente Executiva da

Associação Brasileira da Construção Industrializada de Concreto (ABCIC), acata o mesmo período de industrialização da construção que Marco (2015), em que o movimento de industrialização da construção civil foi iniciado logo após a Segunda Guerra Mundial, em que a Europa se encontrava em uma situação de baixos recursos, baixa quantidade de mão-de-obra e grande déficit habitacional acarretado pelos anos de guerra. Contudo, a Autora destaca o uso do sistema de pré-fabricados de concreto de painéis autoportantes como uma das soluções diante dos problemas acarretados pela guerra.

O período de pós Segunda Guerra Mundial diz respeito a década de 90, contudo, no Brasil, no final da década de 80, foi iniciado um processo de racionalização de processos construtivos, iniciados por grandes empresas e com auxílio de universidades que reproduziam práticas em ambientes controlados (laboratórios), assim como outros setores industriais, na qual buscavam o aumento da produtividade (Ceotto, 2005 apud Marcos 2015). Contudo, o foco deste processo não era a criação de novas técnicas, mas sim, o aprimoramento das técnicas existentes. Assim, enquanto o Brasil enxugava suas técnicas construtivas, nos meados da década de 90 a Europa entrava em momento de industrialização.

Ademais, Moreira (2012 apud Marcos, 2015) reitera que é no contexto do pós-guerra que priorizam o sistema de pré-fabricado devido as características do sistema: racionalização de custos, prazos e rapidez. Portanto, no processo de industrialização o sistema de pré-fabricado assume papel de destaque devido suas características se aliam com o que se buscava. Vale ressaltar que apesar do foco em pré-fabricados, outras frentes também tiveram avanço, como o uso e reciclagem de resíduos de construção e demolição, na qual Alberte e Handro (2021) pontuam que as pesquisas e aplicações de reciclagem de resíduos de construção e demolição tanto evoluíram quanto aumentaram no período de pós-Segunda Guerra Mundial, como um dos meios de solucionar o problema de resíduos resultantes da guerra.

O arcabouço, até então, construído, com base em seus autores, faz crer-se que a recuperação de países devastados, no caso de habitações, foi por meio de pré-fabricados. A Universidade da Inglaterra Do Oeste (2009), em sua coletânea, menciona que apesar de ter sido construídos 156.000 (cento e cinquenta e seis mil) habitações pré-fabricadas, estas constituídas de aço e alumínio, ainda encontrava-se com um déficit habitacional, o que levou ao desenvolvimento de um novo tipo construtivo, o concreto pré-moldado (*precast concrete*), que consistia em usar uma

forma reutilizável em obra para a modelagem do concreto, não requerendo uma mão-de-obra de alta qualificação. Ainda, nesta mesma coletânea, é citado a unidade habitacional (*Unité d' Habitation*) que tem o propósito de abrigar diversas famílias, construído de concreto armado, com o estilo do brutalismo arquitetônico. Esta unidade habitacional (figura 6) foi idealizada pelo arquiteto francês Charles-Edouard (1887-1965), mais conhecido por seu apelido de Le Corbusier, e foi construído em Berlim (Foundation Le Corbusier, [s.d.]) assim também como na França e na Inglaterra, neste último, referenciado como utopia de concreto.

Figura 6 - Unidade de Habitação



Fonte: Foundation Le Corbusier, [s.d].

Portanto, os pré-fabricados tiveram um papel importante, e alavancaram sua importância e desenvolvimento na recuperação da Europa, ainda, não somente foi aplicado este tipo construtivo, como também utilizado outros tipos, o concreto pré-moldado *in loco* e o clássico concreto armado (ou concreto reforçado) pois o déficit de moradia era alto. O caminho até o momento, pode ser considerado um ponto de ramificação da indústria da construção, pois agora, pode ser dividida em construção off site (construção fora da obra) e construção in site (construção dentro do canteiro de obra). Daí, pode-se notar o crescimento difuso dentro da indústria da construção civil, pois a construção off site é realizada em locais com aspecto de fabricas, com

maior controle sobre o produto final, enquanto que a construção *in situ* é no local de trabalho, sendo suscetível a diversos fatores, somando a característica de construção no local de obra ser majoritariamente de produção artesanal. O período pós-guerra engloba tanto a 2º quanto a 3º Revolução industrial, que é marcada pela introdução de energia elétrica e divisão de trabalhos, e automação de processos com uso de automação e tecnologia da informação, respectivamente (Santos *et al.*, 2018).

A 4º Revolução industrial ou Indústria 4.0 (I4), é a atual mudança de paradigma na indústria. O termo originou-se da estratégia de aplicações de tecnologia da Alemanha em busca da manutenção de sua posição de líder global no setor de manufatura de equipamentos, assim como a melhoria dos processos de produção em resposta a outros competidores no setor como a Ásia e Estados Unidos (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013). Esta revolução abrange, não de forma limitada, o uso de tecnologias como inteligência artificial, big data, internet das coisas, tecnologias baseadas em sensores, impressão 3D, computação em nuvem e segurança cibernética (Newman *et al.*, 2021). A seção a seguir exemplifica alguns pontos na qual a indústria da construção se encontra, salientando que a 3º Revolução Industrial e a 4º Revolução Industrial não estão desconexas, mas o contrário, com os benefícios alcançados na 3º Revolução busca-se, através da Indústria 4.0, um alto grau de automação (como autoconfiguração, auto monitoramento e auto cura), um alto grau de eficiência e produtividade (Lu, 2017; Thames; Schaefer, 2016).

2.3 AUTOMAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

Automação e robótica na construção não são palavras sinônimas, mas estão interligadas. Automação é uma área grande na qual engloba a mecanização, maquinário, software e designs para realizar atividades feitas por humanos, assim, a área de robótica acaba integrando o campo de automação (Universal Robots, 2019), sendo sua unidade um robô, que pode ser definido como dispositivos mecânicos, elétricos ou eletrônicos programáveis usados para executar tarefas com alguma autonomia ou semiautônoma (Craig; Prentice; Hall, 2005). Portanto, robótica é um pilar essencial na área de automação da construção dado que é através da robótica que a aplicação de automação é feita, assim sendo robótica e automação (R&A).

Deslocando da conceituação geral para a IC, Bock (2015) traz uma definição ampla, que é um novo conjunto de tecnologias e processos que irá mudar o rumo e a

ideia fundamental de construção. Por outro lado, Siciliano e Khatib (2008), propõe uma definição mais fechada, que automação na construção é a aplicação dos princípios da automação industrial no campo da construção, independente da subárea em foco (edificações ou infraestrutura). De forma sintetizada, a automação e robótica na construção é a aplicação de máquinas autônomas que fazem serviços, buscando uma melhoria do tempo de ciclo, de custo e de produtividade (Bademosi; Tayeh; Issa, 2018; Hewitt; Gambatese, 2002).

O começo das pesquisas de robótica destinadas a área da construção civil, tiveram início na década de 1960 de acordo com Davila Delgado et al. (2019), contudo para Bock (2015) iniciaram em 1970 e para Siciliano e Khatib (2008) em 1980. Partindo da consideração que o primeiro robô industrial (Unimate) foi usado em 1961 (Gasparetto; Scalera, 2019), e para tal, foi necessário um avanço na área de computadores (capacidade de processamento), logo, é plausível considerar que as pesquisas sobre robótica na construção iniciarem na década de 1970 mas devido à grande complexidade da indústria da construção, ficaram limitadas a tarefas simples, também denominados de robôs de tarefa única pois eram economicamente viáveis, como empilhamento de tijolos cerâmicos (Bock *et al.*, 1996; Heintze; Teerhuis; Weiden, 1996; Pritschow *et al.*, 1996), manutenção de máquinas, transporte de material, pintura e soldagem (Wallén, 2008).

As pesquisas iniciadas em 1970 ganharam novo corpo com o surgimento da tecnologia digital para a indústria, que pode ser definida pelo termo Indústria 4.0 ou 4ª Revolução Industrial (Newman *et al.*, 2021). Esta nova etapa na industrialização tem como ponto principal a mudança do sistema físico para o sistema físico-digital, baseado na integração de dados e conhecimento entre todas as partes interessadas da cadeia de valor (Bock, 2015; Lu, 2017; Xu; Duan, 2019). Isto abre uma nova janela de opções, isto é, tecnologias, para aplicação no ramo da construção.

A pesquisa de Bademosi, Tayeh e Issa (2018) identificou tendências de tecnologias aplicadas na construção na parte de automação que são: a manufatura aditiva, veículos autônomos, pré-fabricação e modularização e sistemas robóticos. Além da parte de automação, existem as tecnologias de simulação, realidade computacional e smart que abordam outros campos como realidade aumentada e inteligência artificial, porém estão fora do escopo desta pesquisa. Contudo, vale ressaltar que essas tecnologias são usadas em conjunto pois um pode complementar

a outra. Em vista disso, o quadro 2 mostra pesquisas com aplicações de automação na construção junto ao tipo de tecnologia usada.

Quadro 2 - Exemplos de aplicação de tecnologias

Autores	Tecnologia	Aplicação na Construção
Yamazaki e Maeda (1998) Ikeda e Harada (2004)	Sistema robótico autônomo Montagem autônoma de estruturas de aço	Montagem autônoma de estruturas de aço no local de obra. As peças são fabricadas em fábricas e entregues no canteiro de obra.
Chu et al (2013) – Parte 1 Jung, Chu e Hong (2013) – Parte 2	Sistema robótico autônomo Montagem autônoma de estrutura	Montagem de estrutura de aço com ajuda de guindaste feito de forma autônoma.
Dörfler et al. (2016)	Robô autônomo Sistema de braço robótico Montagem autônoma de estrutura	Posicionamento de tijolos cerâmico sem aplicação de argamassa
Willmann et al. (2016)	Robôs autônomos Fabricação Digital Pré-fabricação e modularização	Fabricação de treliças de madeira para composição de telhado
Wang, Li e Zhang (2019)	Sistema de braço robótico Robô rastejante	Reciclagem de pregos e parafusos
Wagner et al. (2020)	Robôs autônomos Fabricação Digital Montagem autônoma Sistema de braços robóticos	Montagem de peças de madeira laminadas em formato de hexágono para construção de telhado
Ryu et al. (2020)	Sistema robótico	Aplicação de sistemas robóticos semiautônomos
Falorca e Lanzinha (2021)	Sistema robótico Veículo autônomo	Uso de VANT na inspeção dos arredores da construção
Franguez, Salido-Monzú e Wieser (2021)	Veículo autônomo Sistema robótico	Robô de inspeção de acabamento de parede com classificação
Kayhani et al. (2022)	Veículo autônomo Sistema robótico	Sistema guia para robô autônomos
Falaschetti et al. (2022)	Sistema robótico	Sistema para inspeção de fissuras em estruturas de concreto armado
Wong Chong et al. (2022)	Sistema robótico Sistema de braço robótico Simulação digital	Simulação de sistemas robóticos usando BIM para ajudar na tomada de decisão em automação off-site.
Halder et al. (2023)	Sistema robótico Veículo não tripulado Robô quadrupede	Inspeção da obra.
Nnaji et al. (2023)	Equipamento robótico	Uso de exoesqueleto para levantamento e transporte de material.
Sousa (2023)	Sistema robótico Veículo não tripulado	Uso de VANT na manutenção de fachadas prediais.

Fonte: Acervo do autor (2023)

A pesquisa de Aghimien et al. (2020) conclui que há poucas publicações de pesquisas na área de R&A, com maioria das pesquisas são cunho experimental e estudo de caso. Isso demonstra uma lacuna de conhecimento na área de automação

como um todo, já que há diversas maneiras de aplicar R&A na construção civil. Esta conclusão confirma a afirmação de Bock (2015) que a área de robótica e automação na construção (RAC) ainda se encontrava em estágio inicial e que futuramente desenvolveria mais pesquisas, contudo Delgado e Oyedele (2022) afirmam que não houve uma mudança significativa nas últimas três décadas. É importante ressaltar que o foco das pesquisas está tendendo para aplicações mais digitalizadas de R&A em especial a manufatura 3D (Aghimien *et al.*, 2020) e desenvolvimento de software envolvendo a tecnologia Modelagem de Informação da Construção (BIM) e inteligência artificial (IA). Esta tendência já adentrou outras áreas, como a de TI (Shanmugalingam *et al.*, 2019), educação (Herbert, 2017) e bancária (Willcocks; Lacity; Craig, 2017), usufruindo dos benefícios da aplicação de R&A.

Hatoum e Nassereddine (2020) afirmam que a aplicação da R&A tem a capacidade de aumentar a velocidade de produção, eliminar limitações humanas e reduzir a variabilidade de operações, que reflete na qualidade do produto final, ocasionando no aumento de competitividade entre empresas e, por conseguinte, reduzindo custos e melhorando resultados financeiros (Siderska, 2021). Ainda, os autores constatarem a diminuição da dependência de mão-de-obra e aumento de economia de custos, pois tem o potencial de diminuir problemas relacionados a qualidade e retrabalho do produto. Essa diminuição de sujeição a mão-de-obra pode representar uma economia devido a parte de recursos humanos de um projeto representar de 30% a 50% do valor de um projeto (Dabirian; Khanzadi; Moussazadeh, 2016). De outra forma, empreiteiros classificaram como maiores benefícios de tecnologias de R&A menor uso de mão-de-obra, economia financeira, maior estabilidade do setor e maior produtividade (tempo poupado) (Struková; Líška, 2012).

Embora há diversos benefícios atrelados a aplicação de RAC, há barreiras que dificultam sua adoção. Delgado et al. (2019) investigou os desafios relacionados a implementação de robótica. Através da literatura, dividiu os temas em onze fatores e através de questionários para empresas e profissionais, foram classificados com grau de importância. Assim, o autor dividiu em quatro grupos de fatores:

a) Fatores econômicos do lado do contratador

O elevado capital necessário para a adoção de soluções que visam a substituição de mão-de-obra é um problema. Isso ocorre devido a maioria das empresas no setor da construção serem compostas de pequeno e médio porte

trabalhando como terceirizadas, em contraste com empresas de grande porte, que dificilmente direcionam recursos para o teste de novas tecnologias. Além disso, o fácil acesso a mão-de-obra reduz a progressão de adoção a automação. Ademais, o grupo ainda enfrenta outros fatores, considerados limitadores, como a falta de incentivos do governo e baixo orçamento em P&D na indústria da construção. A característica de indústria fragmentada não desempenha papel importante na adoção de R&A;

b) Fatores econômicos do lado do cliente

O principal fator neste grupo é o custo que o cliente vai arcar. A prática de priorizar o menor preço de projetos e obras desvaloriza a busca por inovação, e com um mercado competitivo como o da IC, as empresas tendem a baixar suas margens de lucro agressivamente acabando por restringir o uso de novas tecnologias e uma visão limitada para resolução de problemas;

c) Fatores técnicos e culturais

A cultura da indústria tem como característica a notável resistência a mudanças. Em adição a essa resistência, a falta de mão-de-obra treinada para lidar com a colaboração humano-robô e a falta de pesquisas que comprovem a eficácia de robótica, assim como tecnologias imaturas não facilitam a transição da indústria;

d) Área de negócio fraco

A ausência de estudos que comprovem a relação de custo-benefício na adoção de R&A somada ao baixo retorno em investimento e à demanda insuficiente representa um obstáculo significativo. Isso decorre em razão da IC ser um setor de alto risco e baixo lucro.

Vale ressaltar que o medo da mão-de-obra em perder trabalhos para os robôs é uma barreira a ser considerada, pois dificulta a aceitação tanto da aplicação de R&A quanto a colaboração humano-robô por parte dos trabalhadores do setor (Akinradewo *et al.*, 2018). Carra *et al.* (2018) cita barreiras como a fragmentação da cadeia de abastecimento que implica uma forte inercia em relação a inovação devido à variedade de interesses e necessidades; o tipo de estrutura pode ser considerada única

devido as características aplicadas a sua forma, material, componentes usados e localização; a diferença entre mercados regionais que carregam diferenças de regulação, custo de material, mão-de-obra, requerimentos de qualidade por produtos entre outros.

Desta maneira, a área de automação apresenta espaço para exploração, isto é, a realização de pesquisas dentro do âmbito em busca de comprovações dos benefícios supracitados assim como sua eficácia. Para tanto, são requeridas etapas bem definidas, incluindo a modelagem e uso de protótipo. Além disso, buscando uma abordagem ágil em relação a tempo, pensa-se no uso da tecnologia de impressão 3D. Para a utilização da impressão 3D, o modelo tem de ser projetado, que é alcançado pelo uso de modelagem.

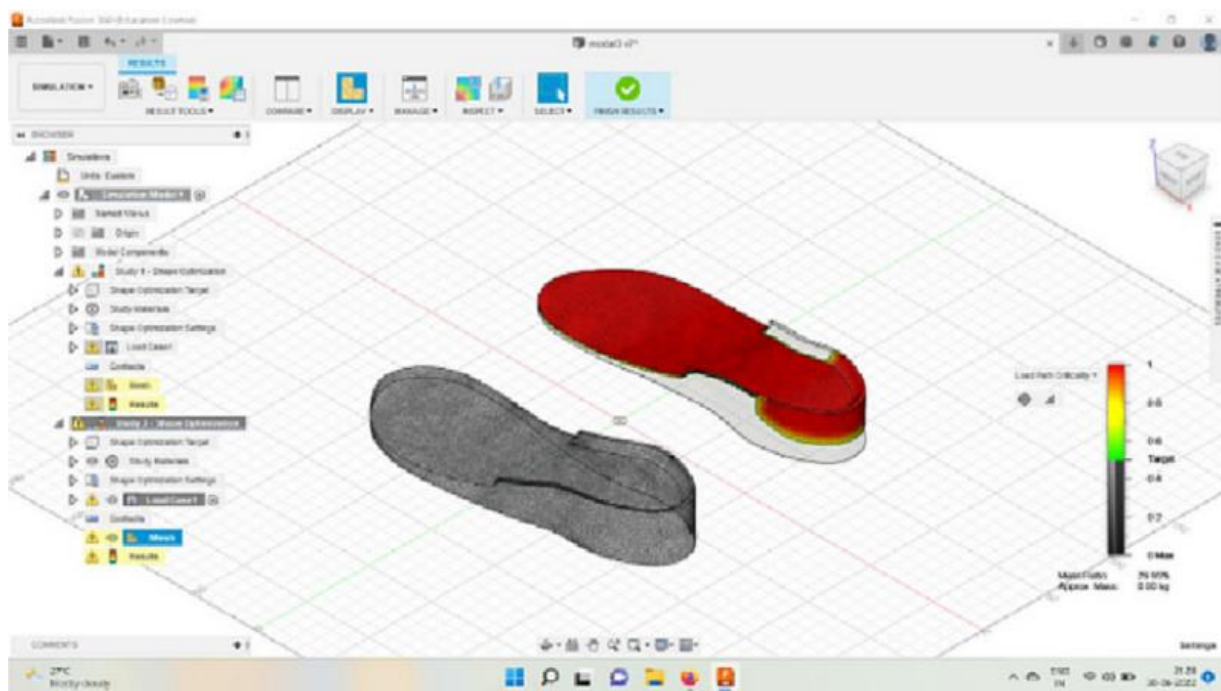
2.3.1 Modelagem

Autodesk Fusion 360 é um programa (software) desenvolvido pela empresa Autodesk lançado em 2013 sendo uma plataforma para modelagem 3D (três dimensões), desenho assistido por computador (*Computer aided design* - CAD), sistema de manufatura auxiliada por computador (*Computer aided manufacturing* - CAM), sistema de engenharia auxiliada por computador (CAE) e placas de circuito interno (*Printed Circuit board* – PCB) (Autodesk, 2023). De forma simples, os sistemas são destinados para fins específicos, o CAD tem fim para o desenho de um produto, CAM para a manufatura de produtos, e o CAE voltado para a área de engenharia, com foco em simulações e análises de produto (temperatura, tração, fadiga, etc), sendo estes sistemas não excludentes entre si (Dias, 2015). Como exemplo diante dos conceitos expostos, o trabalho de Mugilan et al. (2022) teve como etapas a modelagem da peça de freio de um carro em três diferentes tipos de material (CAD) e a análise de temperatura (CAE), tudo isso realizado no programa Fusion 360.

Foi o primeiro programa do tipo a ter 3D, CAD, CAM e CAE, assim combinando modelagem industrial e mecânica, colaboração, simulação e manufatura em um único programa (Verma; Weber, 2018). No uso do programa, por exemplo, na área de saúde, tem-se a modelagem de uma sola ortopédica (Vemuri; Kandula; Bobbilla, 2023) e a modelagem com otimização do modelo para produção de uma pinça crocodilo (Naeem; Asim Pasha; Muneeb, 2022). No setor de automóvel, otimização

por teste de esforço de um pedal de freio (Dongre *et al.*, 2023) e a modelagem de um pistão (Soni *et al.*, 2023).

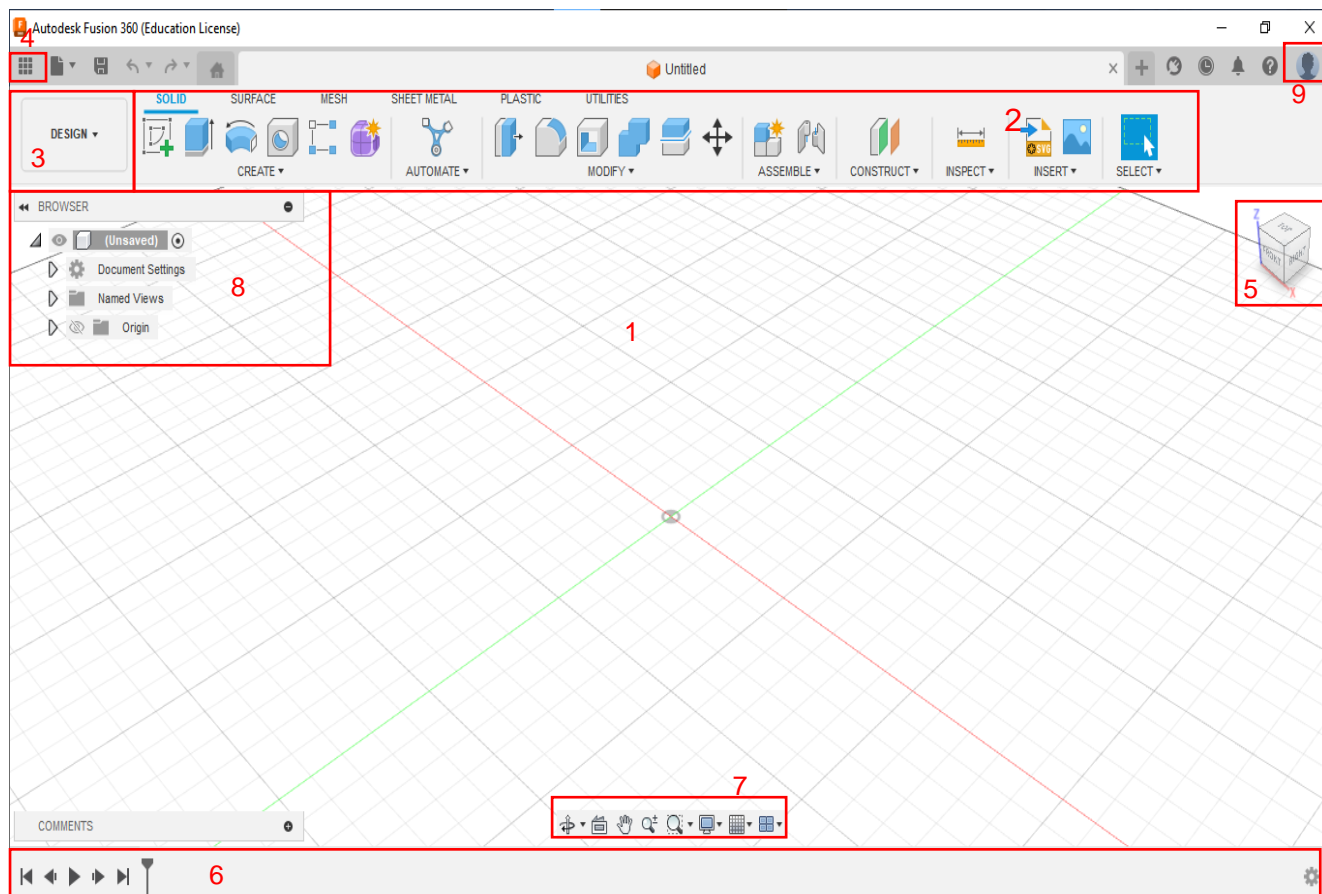
Figura 7 - Protótipo de sola ortopédica



Fonte: Vemuri, Kandula e Bobbilla (2023)

Em respeito as vantagens do Fusion 360, Kochetov (2018) cita o alto desempenho em computadores medianos, uma curva de aprendizagem clara, uma editável linha do tempo de operações, sincronização na nuvem e edição de estudante gratuita. Vale ressaltar, a sincronização em nuvem permite salvar seu trabalho na nuvem (servidor) aonde pode ser acessado de qualquer lugar, assim como também tem opção de colaboração podendo dar acesso a outras pessoas ao projeto que está trabalhando. A figura 7 mostra a interface e um sumário da funcionalidade, com base no guia de Coward (2019).

Figura 8 - Interface do programa Autodesk Fusion 360



Fonte: Acervo do autor (2023)

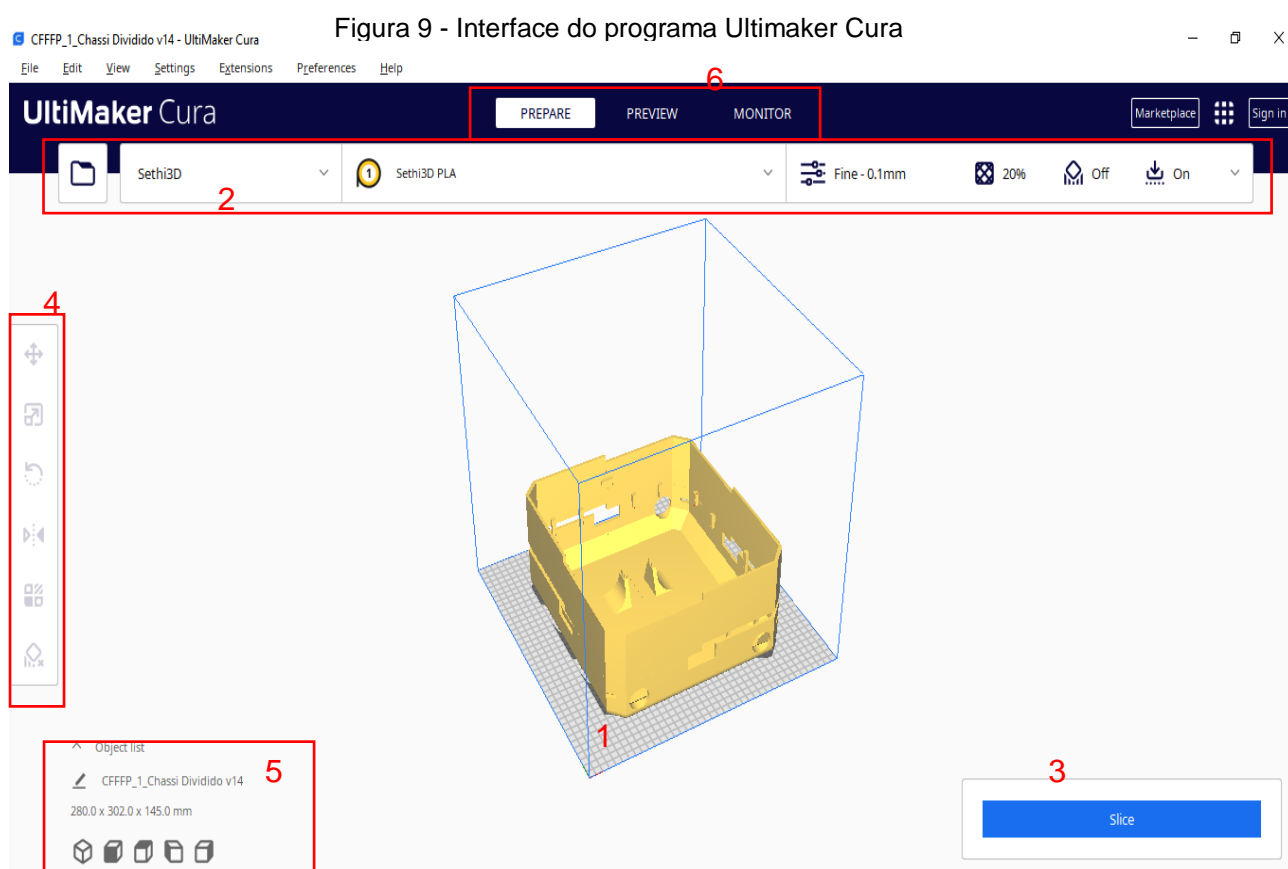
Aonde:

- 1 – Espaço de trabalho;
- 2 – Barra de ferramentas;
- 3 – Escolha da estação de trabalho: Modelagem, trecho (patch), metal laminado, renderização, animação, simulação, CAM e Desenho;
- 4 – Navegador de Projetos;
- 5 – Cubo de visualização;
- 6 – Linha do tempo de operações;
- 7 – Barra de que contém mais opções de visualização;
- 8 – Navegador de componentes;
- 9 – Conta e preferencias;

O acesso ao programa pode ser feito através do endereço eletrônico da empresa Autodesk: <https://www.autodesk.com.br/products/fusion-360/>. Contudo, para poder usá-lo, é necessário comprar a licença do produto variando de mensalmente

(R\$ 298,00), anualmente (R\$ 1810,00) e a cada três anos (R\$ 5430,00) ou ter acesso através da versão de estudante, que disponibiliza o uso por um ano se a universidade fizer parte do plano da Autodesk.

Após feito o desenho no Fusion 360, é preciso usar outro programa para fazer a impressão do protótipo na impressora 3D. O UltiMaker Cura é um programa de fatiamento, isto é, irá fatiar o modelo 3D em inúmeras camadas e definir as coordenadas que a impressora deve seguir. A figura 8 mostra a interface do programa.



Fonte: Acervo do autor (2023)

Aonde:

- 1 – Área de impressão;
- 2 – Barra de ferramentas, respectivamente: Explorador de arquivos, opção para selecionar ou adicionar impressora, escolha do tipo de material, opções de parâmetros de impressão;
- 3 – Botão para iniciar o fatiamento, assim como a simulação de como será construído (preview);

- 4 – Barra de manuseio do arquivo (projeto) na área de impressão;
- 5 – De cima para baixo: Nome do arquivo, dimensões do projeto e opções de visualização como cube view;
- 6 – Fase de preparo(prepare), pré-visualização do projeto impresso e monitoramento da impressão em tempo real.

2.3.2 Prototipagem

Partindo de uma conceituação simples, prototipagem é a atividade de fazer projetos básicos ou modelos para uma máquina ou produto industrial, enquanto que protótipo é o primeiro exemplo de algo, como uma máquina ou produto, na qual suas formas subsequentes são desenvolvidas (Cambridge Dictionary, 2023). Palhais (2015) entende que prototipagem é um conjunto de técnicas usadas para fabricar rapidamente um modelo, ao mesmo tempo que protótipo são todas as representações seja de forma abstrata ou virtual que simulam alguns aspectos do produto ou uma ideia. Para Kelley (2001), prototipagem é resolução de problemas, podendo “prototipar” qualquer coisa, seja um produto ou serviço. Diferente de Palhais (2015), este não considera um passo a passo, mas foca na resolução de problemas na prática e em movimento. Hallgrimsson (2012) traz um conceito diferente dos anteriores, separando entre modelagem e prototipagem. Para este autor, prototipagem é um método na qual usa-se protótipos físicos para estudo e teste como será usado, enquanto que modelagem, por outro lado, é o método passo-a-passo de produção do protótipo.

Cada conceito abordado pelos autores anteriores provem de suas respectivas áreas, tais como administração, design de produtos e engenharia de produtos. Trazendo para a construção civil, prototipagem pode ser entendida como o ato de testar uma ideia ou protótipo, utilizando materiais à disposição, como madeira, aço, concreto e mais sofisticados como termoplásticos e resinas (Impressão 3D). O fato de ser algo físico ou não, apontado por Halgrimsson (2012), está relacionado ao contexto do momento, pois o mundo encontra-se em processo de migração para o meio digital, o que pode levar a uma dissociação do meio físico ou uma integração do meio físico e digital.

A aplicação de prototipagem na construção civil trata de vários processos usando a robótica, como de transporte de materiais (Yang *et al.*, 2021), acabamento

de parede (Wang *et al.*, 2022), impressão 3D (Alabbasi; Agkathidis; Chen, 2023; Ali *et al.*, 2021; Grigoryan; Semenova, 2019), estrutura de madeira (Qiao *et al.*, 2021), reciclagem de materiais (Chen *et al.*, 2022), escavação (Guan *et al.*, 2021), execução de furos (Ortner; Kromoser, 2023), estrutura de concreto (Oval *et al.*, 2023), . Embora os exemplos anteriores sejam de testes de protótipos físicos, é sensato considerar as pesquisas de software da área da robótica (Anane; Iordanova; Ouellet-Plamondon, 2023; Lachmayer; Recker; Raatz, 2022; Mirbod; Shoar, 2023; Watfa; Bykovski; Jafar, 2022) pois a programação assim como o uso de tecnologias como BIM e inteligência artificial (redes neurais, deep learning) são essenciais para dar vida a automação de uma tarefa.

Logo, a utilização de protótipos, proporciona a experimentação de conceitos, feedback, previsão de possíveis falhas, assim como uma ferramenta de comunicação poderosa entre as partes interessadas (Girão, 2015 apud Palhais, 2015). Desta forma, o uso de protótipos na automação traz uma rede de segurança, pois ao criar algo, este não consta como produto final, não precisando ser colocado em prática imediatamente evitando riscos ao utilizar algo antes nunca comprovado.

Os protótipos podem tomar forma utilizando-se de vários tipos de materiais como madeira e alumínio, outra alternativa de material são os termoplásticos usados na impressão 3D.

2.2.3 Impressão 3D

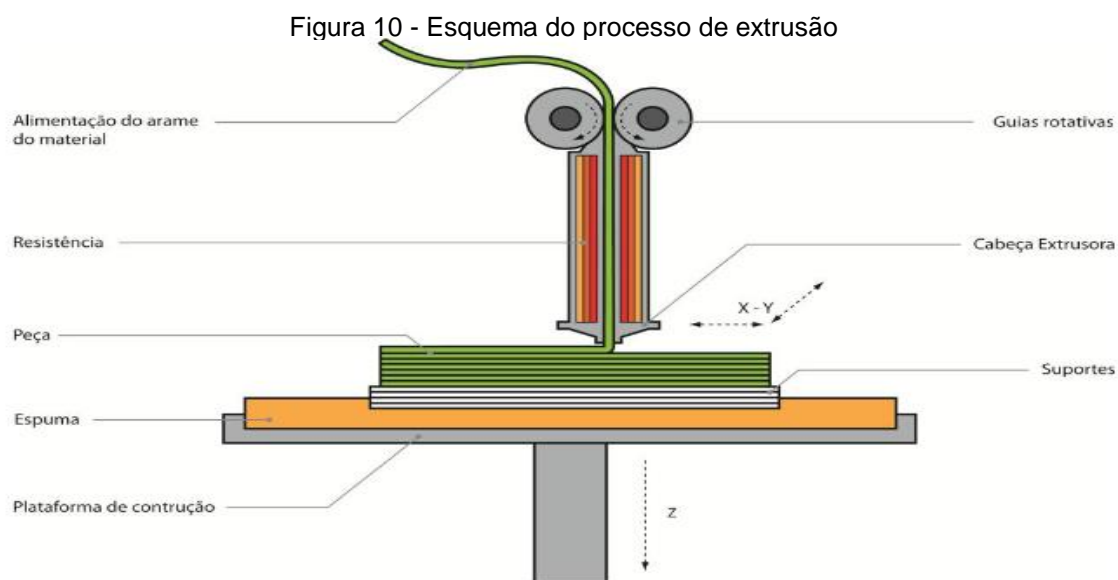
A alta competitividade do mercado faz com que seja necessário a rápida compreensão do produto e sua fabricação, motivando o surgimento da rápida prototipagem (RP), na qual traz consigo uma melhoria no processo de desenvolvimento de produto (PDP), como redução do tempo de desenvolvimento, custos, erros de projeto e riscos de inovação (Votapo, 2007 apud Cunico, 2008).

Os processos de RP apresentam algo em comum, a construção de camadas a partir de um ficheiro design que é auxiliado por computador (CAD) (Palhais, 2015). Assim, Felício (2012) divide a RP em categorias: processos de bases líquidas (estereolitografia, sistema de jato e processamento por luz direta), processos com base em pó (Sinterização Seletiva a Laser, impressão 3D, deposição de metal fundido, etc) e processos da base sólida (modelagem por fusão e deposição e fabricação de objetos laminados). Em vista da diversidade de processos, somente o processo da

base sólida - por modelagem por fusão e deposição será tratado nesta pesquisa, pois assim como foi usada neste trabalho, tem relevância importante no setor da construção.

2.3.3.1 Modelagem por Fusão e Deposição (FDM)

O método FDM consiste na extrusão de um material termoplástico, que é aquecido tornando-se semilíquido, sendo assim construído camada sob camada sob uma base, tudo isto seguindo o arquivo modelado tridimensional (Ahn *et al.*, 2002; Cunico, 2008; Felício, 2012; Qiu; Langrana, 2002). Como a máquina “imprime” de forma bidimensional, há momentos na necessidade de construção de um suporte, que é realizada pelo programa fatiador escolhido (Felício, 2012). Para melhor ilustrar esta parte, a figura 9 mostra um cabeçote de extrusão genérico.



Fonte: Felício (2012)

Este processo de impressão 3D ajuda os profissionais a testarem a confiabilidade e propósito de seus modelos almejados, como um braço articulado (ver figura 10) bastante usado na área de automação e robótica.

Figura 11 - Braço robótico feito na impressora 3D



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=e3TNalyTAnYeab_channel=3DprintedLife

Os materiais disponibilizados comercialmente para este processo são: cera, poliéster, ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), ABSi (ABS Esterilizável), policarbonato (PC), polifenilsulfona (PPFS) (VOLTPO, 2007 apud CUNICO, 2008) e PLA (ácido poliático). Ainda, há outro tipo de FDM criado em paralelo a esse, que utiliza de outro tipo de material, concreto, que foi desenvolvido especialmente para o setor da construção (Alabbasi; Agkathidis; Chen, 2023).

2.4 PATENTE

Patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção outorgado pelo Estado na qual dá o direito ao autor ou autores de impedir terceiros, sem seu consentimento, de produzir, usar, colocar à venda, vender ou importar produto objeto de sua patente, podendo ser um processo ou produto (Brasil, 2023.). O Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) divide patente em três tipos:

- a) Patente de invenção (PI): Produtos ou serviços que atendam aos requisitos de atividade inventiva, novidade e aplicação industrial. Sua validade é de 20 anos a partir da data de depósito;
- b) Patente de Modelo de Utilidade (MU): Objeto de uso prático, ou parte deste, suscetível de aplicação industrial, que apresente nova forma ou disposição, envolvendo ato inventivo, que resulte em melhoria funcional no seu uso ou em sua fabricação. Tem validade é de 15 anos a partir da data de depósito;

- c) Certificado de Adição de Invenção: Adição de aperfeiçoamento ou desenvolvimento no objeto da invenção, podendo ou não ser dentro da atividade inventiva, porém necessário ser dentro do mesmo conceito inventivo. O certificado está ligado a patente, como acessório, assim possuindo a mesma data de vigência.

De outra perspectiva, a PI pode ser definida como um processo ou produto que soluciona um problema de cunho técnico, dentro de um campo tecnológico e que seja possível sua fabricação (Brasil, 2021). A MU, por sua vez, tem uma definição mais fechada, que é preciso ser físico, tridimensional e estável, assim como está submetido aos requisitos de novidade e ato inventivo (Brasil, 2021). O Manual desenvolvido pelo Ministério da Economia sobre patentes, traz o seguinte exemplo para diferenciação entre PI e MU, na figura 11.

Figura 12 - Exemplos de diferença entre Patente de invenção e Patente de Modelos de Utilidades

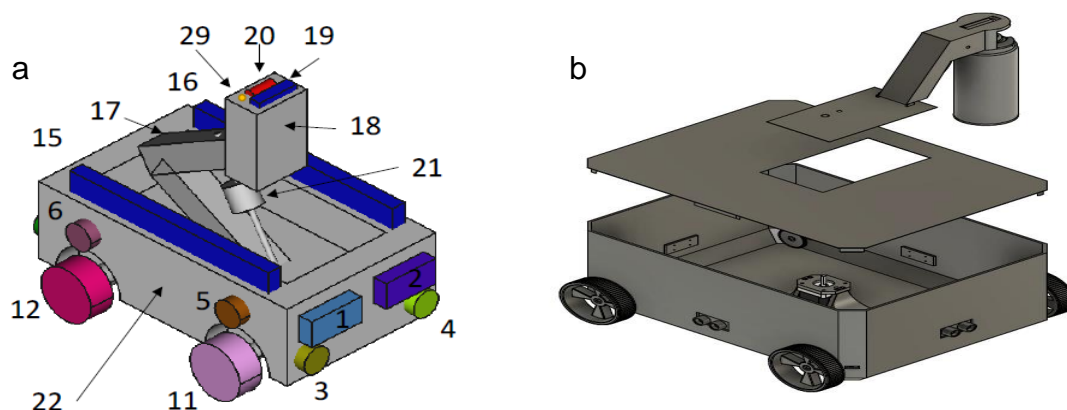
Exemplo de invenções		Exemplos de modelos de utilidade	
Estado da Técnica	Invenção	Estado da Técnica	Modelo de Utilidade
Computador pessoal (PC)	Notebook	Tesoura de poda semiprofissional	Tesoura de poda com cabo giratório
Telefone sem fio	Celular	Porta sabão em pó	Porta sabão em pó com dosador

Fonte: Manual Básico para proteção por Patentes de Invenções, Modelos de Utilidade e Certificados de Adição (2021).

Com base na explicação exposta, o protótipo desta pesquisa enquadra-se melhor no tipo de patente de invenção à primeiro momento. No entanto, como existem outras pesquisas já realizadas, o protótipo em questão pode acabar sofrendo uma mudança de natureza (invés de PI será MU, vice-versa) no decorrer de seu processo de patenteação, pois as funções desenvolvidas podem já estarem patenteadas. Na descrição do documento de patente, que consta uma explicação resumida, devendo ser analisado os casos para uma melhor distinção. Por exemplo, o robô de pintura autônomo, com identificação de publicação BR 102021019970-9 A2, tem como função identificar e monitorar a corrosão, tratar a superfície e pintar, além de formar uma maquete virtual do espaço onde foi colocado e identificar nesta maquete os pontos de

corrosão, tudo isso voltado para pintura metálica. A figura 12 (a) mostra o modelo apresentado, e a figura 12 (b) mostra o modelo do protótipo nesta pesquisa.

Figura 13 - Comparação entre uma PI e Protótipo desta pesquisa



Fonte: Patente BR 102021019970-9 A2 (2021) e Acervo do Autor (2023).

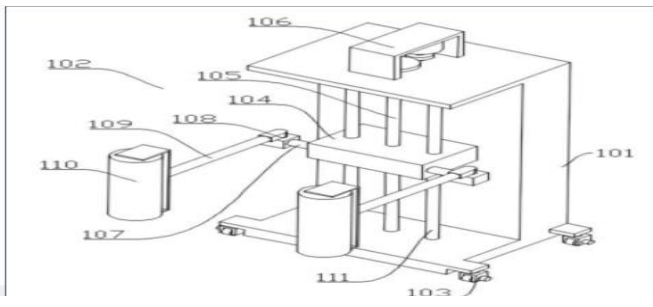
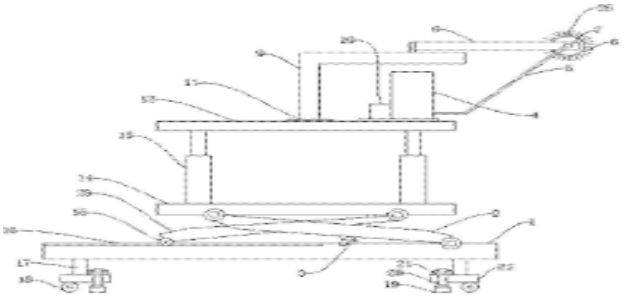
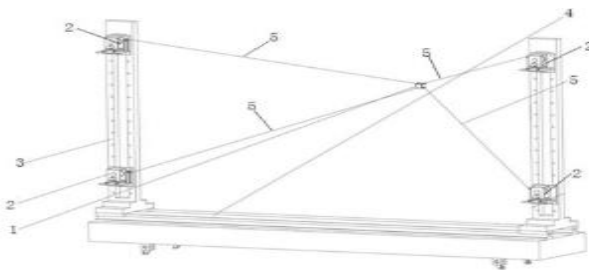
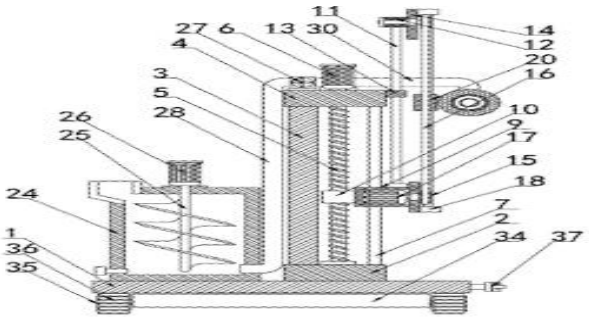

Desta forma, conforme a figura a e b, é possível ver uma semelhança entre modelos, podendo entender-se de uma adaptação de uma invenção mesmo que seja para finalidades distintas. Ainda, na busca do banco de dados da INPI, com os termos “pintura e robô”, ainda foram encontradas três resultados relacionados, o robô de pintura que usa uma trajetória de pêndulo (BR 10 2013 018561-2 A2) para pintura ou jateamento sob alta pressão em superfícies metálicas, os outros dois resultados fogem da área de engenharia civil, sendo um voltado para a pintura industrial e o outro, fixação de gotículas de pintura em peças de trabalho, como chassis de veículo, através da atomização por eletrodos.

Em outra base de dados de patente, o Espacenet, que compõe dados internacionais, apontou diversas patentes com relação a robô de pintura. O quadro 3, mostra algumas patentes junto com uma representação da PI e o anexo A, consta os respectivos dados destas PIs encontradas na base de dados Espacenet.

Quadro 3 - Patentes relacionadas a robô de pintura na base de dados da Espacenet

Nº	Descrição/Abstract	Modelo
1	Uma instalação robótica para pinturas de objetos dentro de uma cabine, constituída de paredes para isolamento do objeto a ser pintado.	
2	Robô de pintura que escala superfícies metálicas de altíssimas alturas e curvas, curvas e altas como moinhos de energia eólicas, grandes tanques, navios, entre outros.	
3	Robô de pintura multifuncional que escala paredes, composta de um dispositivo de pintura e rodas elásticas.	
4	Robô de pintura que escala paredes, contendo um braço, frasco giratório, cilindro telescópico, segundo frasco rotatório e o bico que pulveriza a tinta.	
5	Obter um simples sistema de desenho para pintura em uma superfície de paredes através da movimentação de um robô, de forma a mover o corpo principal do robô na direção vertical, e a pistola de pintura na direção horizontal.	

Quadro 3 - Patentes relacionadas a robô de pintura na base de dados da Espacenet (continuação)

6	Robô de pintura aplicado para decorações, na qual funciona usando rolos de pintura.	
7	Robô de pintura de superfícies de parede, composta de pincel de pintura, uma plataforma de suporte, uma polia e um disco inferior.	
8	Robo de pintura de parede, composta de colunas de suporte dispostas em duas extremidades da base, em que cada coluna é ligada a mecanismos de acionamento de cabos.	
9	Robô de pintura de parede que tem uma barra roscada para movimentação tanto na vertical quanto na horizontal, com o uso de rolo de pintura para execução.	
10	Robô de pintura com um sistema com base estacionária montada para ser uma parede de uma câmara de pintura, estilo cantilever.	

Fonte: <https://worldwide.espacenet.com/patent/>

O item 1 e 10 do Quadro 3 são destinados a área de manufatura de veículo, com a estrutura dos robôs de forma estacionária. O item 5, diz respeito ao

desenvolvimento do sistema de pintura em si, não somente do robô, sendo possível deduzir baseado na descrição dada na PI assim como ilustração do modelo, que o sistema usa trilhos ou cabos suspensos para garantir a mobilidade horizontal e vertical explanada.

Os itens 3 e 4 são da mesma empresa, mas com números de identificações diferentes, não ficando claro o que foi mudado no conceito do item 3 para necessidade de dar entrada no item 4. Além disso, o objetivo desse PI segue o foco desta pesquisa, utilizando-se da ideia de usar a pressão para realizar a pintura com uma pistola de usa o compressor de ar, contudo, o foco da locomoção difere o uso específico dos dois projetos, pois este tem características de escalada apesar de possuir estrutura semelhante ao da pesquisa.

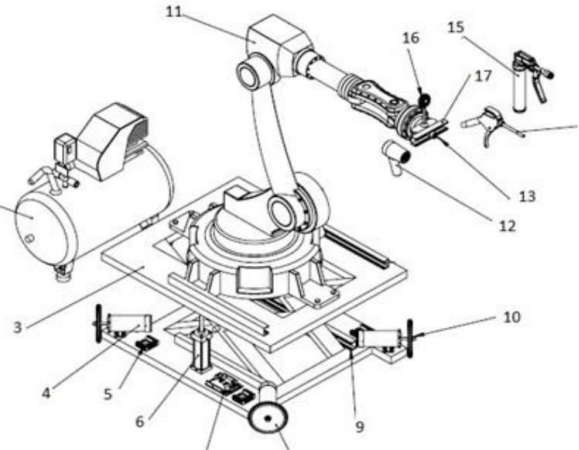
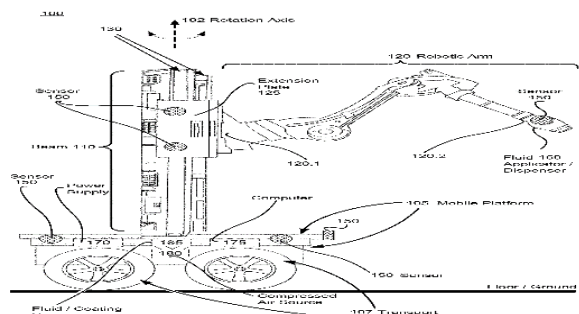
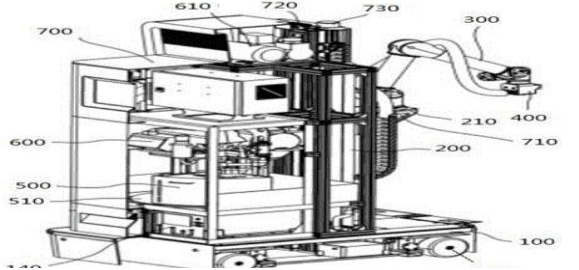
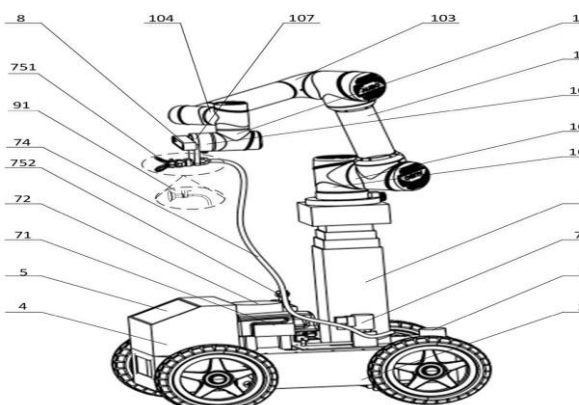
Os itens 6 e 9 partem da mesma ideia de projeto inicial desta pesquisa, com a utilização de um rolo de pintura para execução de serviço e um tipo de plataforma para controle da elevação. Entretanto, estes têm limitações já que precisam sempre estar em contato direto com a superfície da parede para execução da pintura, ademais, existe a questão de “recarga” do rolo, que não fica clara no PI como seria feito pois constitui um problema. O item 8 tem uma ilustração não usual, com base nas patentes já vistas, pois os robôs tendem a se assemelhar com pequenos carros com braços robóticos anexados em seu topo.

A Google, como empresa de tecnologia e serviço, também possui base de dados sobre patentes. Diferente do buscado anteriormente, foram procuradas patentes com relação com “robô de pintura de parede interna” (*indoor wall painting robot*), um termo mais específico. O Quadro 4 mostra exemplos que foram encontrados e o anexo B, consta os respectivos dados destas PIs encontradas na base de dados Google.

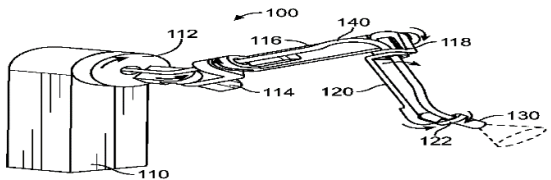
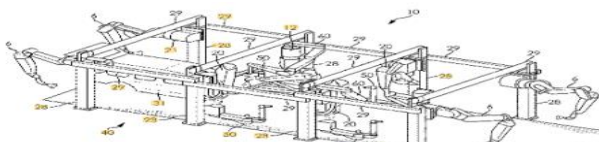
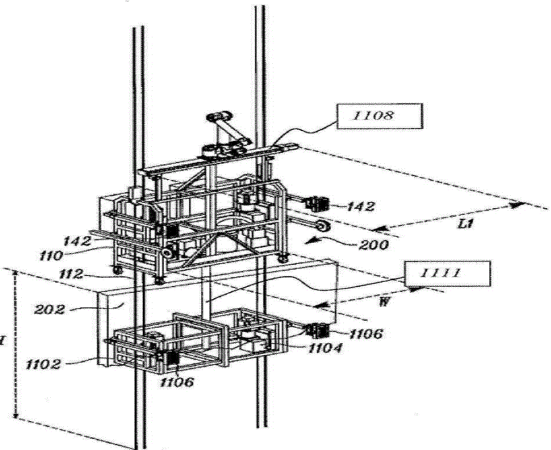
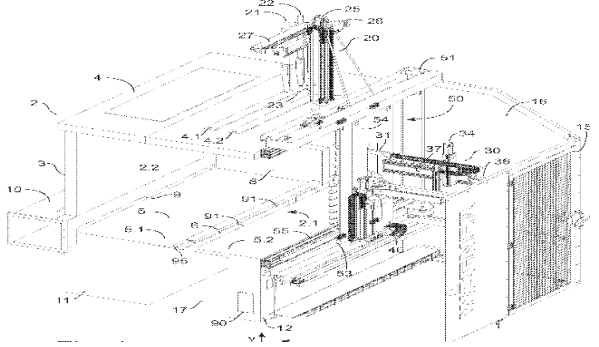
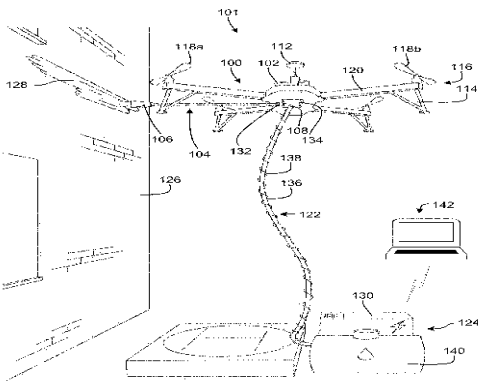
Quadro 4 - Patentes relacionadas a robô de pintura na base de dados da Google

Nº	Descrição/ Abstract	Ilustração do Modelo
1	Sistema de pintura de cabine para produção de veículos.	

Quadro 4 - Patentes relacionadas a robô de pintura na base de dados da Google (continuação)

2	<p>robô de pintura que é capaz de realizar todas as fases de pintura de uma parede, incluindo aplicação de primer, alisamento, pintura e secagem. Funciona automaticamente e tem a mais alta precisão. Com câmera, medidor de distância e processador, esse robô é capaz de detectar as partes da parede que não devem ser pintadas.</p>	
3	<p>Um aparelho autônomo e móvel para aplicar um revestimento em uma superfície</p>	<p>FIG. 1 Exemplary Apparatus for Mobile Autonomous Application of Coating</p> 
4	<p>Robô de revestimento de superfície com base móvel para navegação autônoma no espaço de trabalho, atuador para movimento vertical e na ponta</p>	
5	<p>Robô de operação móvel multifuncional para polir e pulverizar um corpo de parede interno. Possui um dispositivo de elevação para o braço mecânico, na qual tem 5 graus de liberdade. Na ponta do braço robótico tem o cabeça de pulverização ou de polimento, que podem ser trocados por um dispositivo de troca rápida.</p>	

Quadro 4 - Patentes relacionadas a robô de pintura na base de dados da Google (continuação)

6	Sistema automático de pintura composto de pelo menos um robô para o processo de pintura de peças em cabine.	 <p>FIG. 1A</p>
7	Um aparato robótico para pintura de peças, na qual inclui eixo redundante para uso em sistema de pintura.	
8	Pintura de parede automatizado de uma edificação, composto por um suporte; um mecanismo robótico montado no carro, tendo o mecanismo robótico adicionalmente um efeito de extremidade adaptado para suportar o bocal no mesmo; um sistema de monitoramento visual configurado para escanear características estruturais e contornos de uma parede;	
9	Uma planta de revestimento em pó para revestir uma peça com pó de revestimento inclui uma cabine, que recebe a peça entregue através de um transportador de piso.	
10	O sistema modular de operações aéreas inclui um veículo aéreo capaz de decolar e pousar verticalmente, pairar e manobrar com precisão próximo a paredes e outras estruturas. Num aspecto, como o veículo aéreo pinta uma ou mais superfícies designadas utilizando braços e equipamentos destacáveis.	

O uso de patente para invenções não só garante uma proteção ao inventor, como também pode ser visto como impulsionador para criação de conhecimento científico e soluções para problemas da sociedade, pois garante aquele que fez o depósito da patente, propriedade, e, por conseguinte, escolha de comercialização ou licenciamento, no fim usufruindo do resultado da pesquisa. Este estudo serve como exemplo de um projeto voltado para a solução de um problema real da sociedade, não somente visando o entendimento em relação a um tema, assim, podendo esta pesquisa ser denominada de patente universitária, isto é, uma patente resultante de uma pesquisa universitária ou que teve participação de uma universidade (Mueller; Perucchi, 2014).

3 MÉTODO DA PESQUISA

3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

O tipo de pesquisa foi caracterizado como descritiva, pois descreve as etapas em detalhes (Oliveira, 2011). Como método de pesquisa, foi adotado o *Design Science Research* (DSR). DSR busca a produção de conhecimento científico e a solução de problemas com a produção de um artefato (Dresch *et al.*, 2015). Portanto, o diferencial desse método é o artefato, que pode vir a ser constructos, modelos, guias, arquiteturas, instanciação, princípios de design, métodos e teorias de design que visam ser aplicados podendo ser testados em relação a sua eficácia (Manson, 2006).

A abordagem de DSR no âmbito da construção pode trazer soluções para problemas enfrentados no setor, pois não necessariamente busca uma solução ótima, mas a solução satisfatória para a situação, de forma que os outros pesquisadores e profissionais possam fazer uso do conhecimento gerado para aplicação em outras situações diversas (Dresch *et al.*, 2015). Lacerda *et al.* (2013) dissertam sobre um novo foco de pesquisas direcionadas a produção de artefatos que sustentem melhorias assim como soluções para problemas existentes.

O processo de desenvolvimento do DSR pode seguir seis fases elucidados por Simon (1996): a) encontrar um problema de pesquisa e que apresente relevância prática; b) Obter compreensão acerca do tema do tratado; c) construir uma ideia da solução; provar a eficácia da solução; d) mostrar a relação entre o corpo teórico e a solução, assim, demonstrando a contribuição da pesquisa; e) examinar o escopo da aplicabilidade da solução. Vaishnavi, Kuechler e Petter (2017) propõe uma estrutura similar à de Simon (1996), que contem 5 fases: conhecimento do problema, sugestão, desenvolvimento, avaliação e conclusão. A estrutura fica melhor visualizada no quadro 5.

Quadro 5 – Etapas da DSR

Etapas dos processos	Saída
Conscientização do problema	Proposta
Sugestão	Tentativa de design
Desenvolvimento	Artefato
Avaliação	Medidas de desempenho
Conclusão	Resultados

Fonte: Adaptado de Vaishnavi et al. (2017)

No que tange a conceituação de artefato, March e Smith (1995) dividem em quatro tipos: constructo, modelos, métodos e instâncias, seguindo suas definições no quadro 6. Por outro lado, Vaishnavi, Kuechler e Petter (2017) adiciona mais quatro tipos: framework, arquiteturas, princípios de design e teorias de design. Lacerda et al. (2013) e Manson (2006) utilizam as definições de March e Smith (1995) no que diz respeito a definições de artefatos.

Quadro 6 - Tipos de artefatos

Saída	Descrição
Constructo	Vocabulário conceitual de um domínio (ou disciplina).
Modelos	Conjunto de proposições ou afirmações que expressam relações entre constructos.
Métodos	Conjunto de passos usados para realizar uma tarefa.
Instâncias	Operacionalização de constructos, modelos e métodos.

Fonte: Adaptação de March e Smith (1995)

Desta forma, Lacerda et al. (2013) resume as características da DSR (quadro 7).

Quadro 7 - Resumo de características da DSR

Características	Design Science Research
Objetivo	Desenvolver artefatos que permitam soluções satisfatórias aos problemas práticos.
Principais atividades	Conscientizar
	Sugerir
	Desenvolver
	Avaliar
	Concluir
Resultados	Artefatos (Constructos, Modelos, Instâncias)
Tipo de conhecimento	Como as coisas deveriam ser
Papel do Pesquisador	Construtor e avaliador do artefato
Base Empírica	Não obrigatória
Colaboração Pesquisador-Pesquisado	Não obrigatória
Implementação	Não obrigatória
Avaliação dos Resultados	Aplicações
	Simulações
	Experimentos

Fonte: Adaptado de Lacerda et al (2013)

Abordagem	Qualitativa e/ou Quantitativa
-----------	-------------------------------

Com a estruturação e explicação do método de pesquisa adotado, pode-se adentrar as fases que percorreram a pesquisa tratada na seção a seguir.

3.2 FASE DE DESENVOLVIMENTO

A pesquisa foi dividida em três fases: pesquisa bibliográfica, modelagem e eletrônica. O quadro 8 resume as fases da pesquisa.

Quadro 8 - Fases da pesquisa

Fases da pesquisa	Etapas
Fase 1	Pesquisa Bibliográfica
Fase 2	1º Etapa: Reunião e discussão do protótipo
	2º Etapa: Modelo inicial
	3º Etapa: Modelagem 3D
	4º Etapa: Impressão 3D
	5º Etapa: Programação em Arduino
Fase 3	1º Etapa: Montagem do chassi
	2º Etapa: Montagem dos componentes elétricos e eletrônicos
	3º Etapa: Teste do protótipo

Fonte: Acervo do autor (2023)

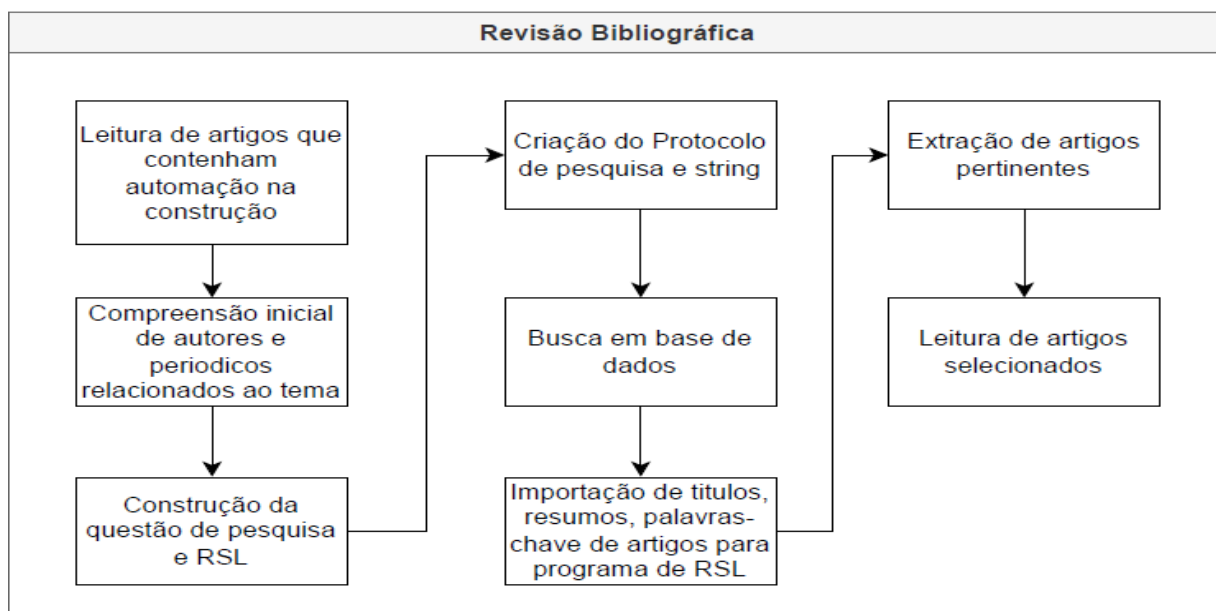
Desta forma, a primeira fase consiste na pesquisa bibliográfica que foi realizada a partir de banco de dados de artigos científicos com a ajuda de uma ferramenta para melhor sondagem. A segunda fase, que é a modelagem, foi executada em programa com tecnologia CAD 3D, sendo esta feita na Fábrica de Inovação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), polo Imperatriz. Por fim, a terceira fase é a introdução de componentes eletrônicos seguida do teste dos componentes e movimentação do protótipo. As etapas serão tratadas mais a fundo nas suas respectivas seções, seguindo o estruturado no quadro 4.

3.2.1 Fase 1: Delineamento Metodológico

3.2.1.1 Pesquisa Bibliográfica

Os passos encontram-se sintetizados na figura 13, sendo explicadas em seguida.

Figura 14 - Etapas do processo de revisão bibliográfica



Fonte: Acervo do autor (2023)

Em primeiro momento é realizado uma pesquisa exploratória afim de expandir e entender melhor a área do tema em questão. As pesquisas exploratórias buscam uma maior familiaridade com o problema, em vista torna-lo mais explícito ou a construir hipóteses (Gerhardt; Silveira, 2009). A partir dessa primeira etapa, criou-se um termo de busca a partir das palavras-chave com base no tema pesquisado. Este termo de busca serviu para dar início a revisão sistemática da literatura (RSL) na qual visa aprofundar o tema, mas de forma centrada, pois segue protocolos específicos (Galvão; Ricarte, 2019). Devido à natureza interdisciplinaridade do tema, a pesquisa proporcionou uma gama de resultados diversificado, como desenvolvimento de software aonde tinham pesquisas com relação a sistemas operacionais de robô (ROS) e junção desses ROS com tecnologias como BIM; teste de materiais com relação a impressão 3D; estudos relacionados a robótica cinemática, entre outros. Isto posto, o uso de uma ferramenta era necessário.

A ferramenta StArt foi selecionada para auxiliar no processo RSL. A ferramenta parte de um protocolo pré-estabelecido, em por meio deste, atua como um filtro para

a conteúdo pesquisado. Os critérios escolhidos para a exclusão de artigos foram os seguintes: ausência de resumo ou abstract, menor que duas páginas, resumo de conferências (ou artigos de conferencia), conteúdo editoriais, resumos de livros, artigos incompletos e inacessibilidade através da plataforma CAPES.

3.2.2 Fase 2: Etapas do Processo

a) 1º Etapa - Reunião e discussão do protótipo:

Esta etapa consistiu na reunião dos Professores Luiz Mauricio (UFPA), Daniel Duarte (UFMA e IFMA), Gean Carlos (UFMA) e o mestrando Felipe Aviz (UFPA) para decisão de qual processo visava-se melhorar e de que forma poderia ser feito através da automação. De forma sintetizada, a reunião consistiu de introdução de várias ideias entre diferentes profissionais, podendo estas serem rebatidas ou aceitas dependendo da explicação dada a cerca delas. Por fim, chegou-se a um consenso de um modelo inicial.

b) 2º Etapa - Modelo inicial:

Um esboço inicial foi criado a partir de um desenho a lápis em folha comum com as funcionalidades concebidas na primeira etapa. Após ter uma representação visual, alterações foram necessárias, refinando o esboço até chegar em um modelo preliminar. Com essa base, o processo de modelagem pode ser iniciado por um programa específico.

c) 3º Etapa - Modelagem 3D:

A modelagem 3D é algo direto, transformar o esboço desenhado a mão para um modelo 3D de computador. O programa escolhido para dar corpo a ideia foi o Autodesk Fusion 360, que possui uma grande gama de ferramentas de modelagens que proporcionam a criação de vários produtos destinados a manufatura e eletrônicos. A modelagem foi conduzida em parceria conjunta com UFMA E IFMA, pois oferecia a possibilidade de dar corpo físico ao protótipo com a utilização da impressão em 3D.

d) 4º Etapa - Impressão 3D:

Após a etapa de modelagem, o modelo computacional teve que ser adequado para a impressão 3D, isto é, devido ao tamanho da impressora disponibilizada no IFMA (Ender 3) e o tamanho do protótipo, foi necessário o recorte em partes para impressão. Para esta etapa, foi utilizado o programa UltimateMaker Cura, o qual permite a visualização do modelo em um espaço que representa a área de impressão. No mesmo programa, a escolha de parâmetros: 1) Tipo de padrão da estrutura: cúbico, devido à resistência em todos os eixos; 2) Espessura da parede: 3 milímetros, pois demasiado fino ocasiona em baixa resistência da estrutura; uma espessura grossa, consome muito material; 3) Temperatura da impressora: no caso da impressora usada, adotou-se, aconselhado pelo fabricante, 120° na bandeja e 240° no bico de extrusão. Por fim, o material usado foi o ABS, devido a ser mais barato, mais leve e durável em comparação com ácido polilático (PLA) (HUBS, 2022).

e) 5ª Etapa – Programação em Arduino:

Inicialmente, fez-se um levantamento de material para o estudo de programação com foco na linguagem Arduino. Apesar da linguagem ser fundamentada nas linguagens de programação C/C++, é válido destacar que possui linguagem própria para o funcionamento do eletrônico. Dito isso, a pesquisa abrangeu o estudo geral de linguagem de programação, utilizando recursos como e-books disponibilizados pela internet, repositórios do Github e vídeos de experimentos e projetos robóticos envolvendo o Arduino. Contando com a assistência de um Engenheiro da Computação, foi elaborado o esqueleto do programa, e refinado com ajuda do Prof. Dr. Daniel Duarte e Prof. Dr. Gean Carlos.

3.2.3 Fase 3: Produção do Componente

a) 1ª Etapa – Montagem do corpo:

Após a etapa de impressão 3D, fez-se o polimento da peça usando uma lixa de papel fina para remoção de fiapos, restos de suporte e linhas muito

acentuadas. Em seguida, une-se todas as peças com o uso de parafuso, como explicado melhor na seção de resultados e discussões. Assim que terminar de unir todas as peças, checou-se a estabilidade e firmeza do corpo como um todo, tentando diminuir o máximo de torção entre as peças.

b) 2º Etapa – Montagem dos eletrônicos (hardware)

Os componentes eletrônicos usados foram: Placa Arduino Mega 2560 como componente de controle principal, placa Ponte H L298N para controle de dois motores de 12V DC com caixa de redução de marcha que proporcionam alto torque e baixa velocidade em conjunto com duas rodas de carros “monster truck” miniatura e uma roda “boba ou rodízio central na frente, quatro sensores ultrassônicos para detecção de objetos e medição de distância, fonte de alimentação de 9V para a placa Arduino Mega e outra fonte de 8,4V (duas pilhas de lítio de 4,2V cada) para a placa Ponte H. A disposição dos componentes eletrônicos assim como a descrição de suas funções foram melhor tratadas na seção 4.

c) 3º Etapa – Teste do protótipo:

Com as devidas etapas finalizadas, posiciona-se o protótipo no centro de um espaço desobstruído de obstáculos. Liga-se o protótipo, testa-se os estágios construídos na programação: inicialização, procura, rotação e pintura. Conforme foi-se realizando o teste, a posição e os sensores em si foram avaliados, se performara de acordo com as diretrizes do programa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção será tratado os resultados obtidos na produção de um protótipo de robô movido por rodas, com reação ativa (por sensores). Não somente será tratado o resultado, como o início que levou a este modelo final.

4.1 MODELAGEM

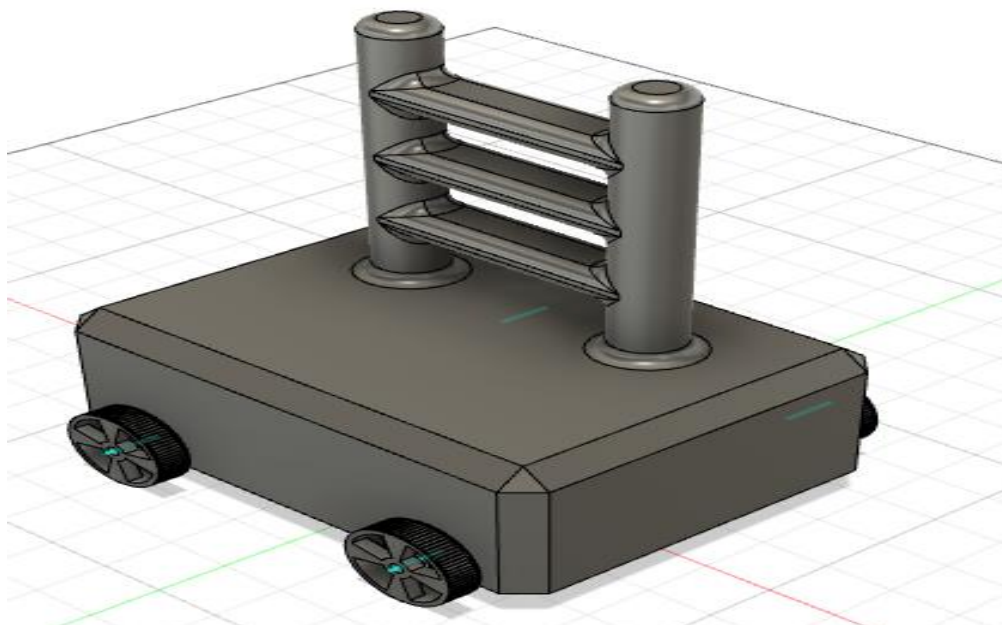
Um protótipo pode assumir diversas representações, como foi tratado na sua própria seção. Desta forma, foi feito um esboço à lápis que serviu como base para a modelagem no programa Fusion 3D. O programa foi escolhido pois o autor já tinha experiência em modelagem pelos programas AutoCAD 2020 e Revit 2020 que são da mesma empresa, fazendo o processo de aprendizagem não caracterizar uma curva acentuada. Outros programas que podiam ser usados como o Autodesk Inventor e Blender, porém, não foram escolhidos devido a uma alta curva de aprendizagem e tempo necessário para aprender as ferramentas.

O design do protótipo teve um modelo inicial como ponto de partida, e assim sofreu modificações ao longo da pesquisa, resultando em três modelos. Apesar de o foco da pesquisa ser o teste de movimentação, a parte do que poderia vir a ser o sistema de pintura foi considerado, pois deve-se pensar no sistema como um todo.

a) Modelo Inicial

Inicialmente, a ideia envolvia o uso de rolo de pintura, constituindo o primeiro modelo desta pesquisa, visto na figura 14. Contudo, esta ideia foi descartada devido à complexidade de mergulhar o rolo de tinta em um recipiente, o que dificultava a mensuração da quantidade de tinta no rolo, somado ao fato do recipiente adicionar um peso considerável ao protótipo. Dado que o protótipo, assim como outros robôs já citados neste trabalho, deve oferecer precisão que se traduz em um uso otimizado, evitando o desperdício, o que o uso de um rolo de pintura destoa deste benefício.

Figura 15 - Modelo idealizado com rolo de tinta



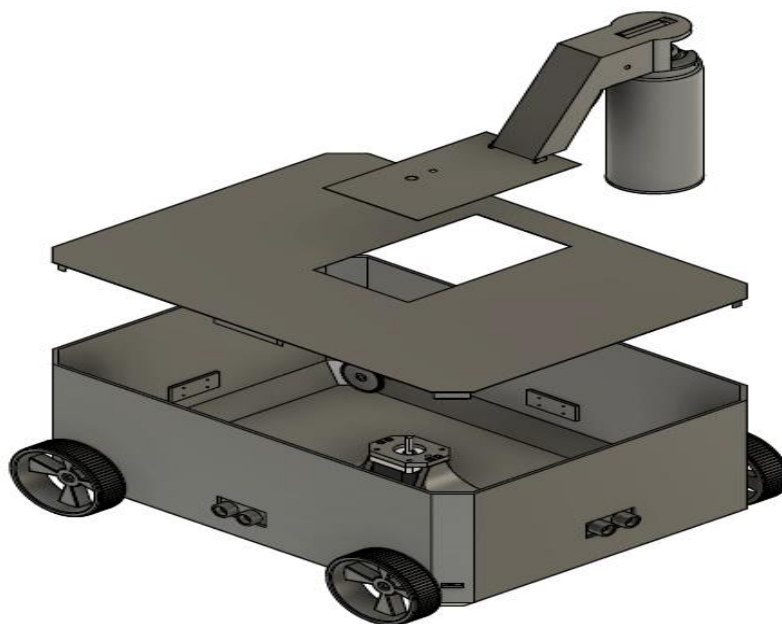
Fonte: Acervo do autor (2023).

As dimensões do chassi (caixa) em centímetros (cm) são 40cm x 30cm x 15cm (comprimento x largura x altura), sendo as dimensões pensadas na locomoção dentro de parâmetros como largura mínima do corredor de 80cm, assim como as larguras das portas de habitação que variam de 60cm à 80cm. Dai, foi criado um segundo modelo, em que a pintura seria realizada por uma lata de spray de tinta.

b) Modelo de Lata de Tinta

Optou-se para o uso de uma lata de tinta pois busca-se testar, em primeiro momento, a movimentação do robô. O sistema funcionaria através de um *step motor* (motor que tem pode rotacionar seu eixo em 180° graus ou 360°, não podendo fazer uma revolução) que acionaria uma alavanca, que pressionaria o bico da lata soltando a tinta. Como meio de alterar a altura da projeção de pintura, idealizou-se uma plataforma de elevação, estruturado com base na movimentação dos eixos de uma impressora 3D, com o uso de um motor de passo a plataforma sobe com o apoio de uma barra rosca e outra barra guia lisa, as duas de alumínio. A figura a seguir mostra o modelo em questão.

Figura 16 - Modelo com uso de lata de tinta e plataforma elevatória



Fonte: Acervo do autor (2023)

Na parte eletrônica e elétrica, há quatro sensores ultrassônicos centralizados em cada face que fazem a medição de distância do objeto, quatro sensores infravermelhos posicionados nas quinas (cantos) para reconhecimento de obstáculos, um motor NEMA para elevação da plataforma e o sistema de movimentação ainda estava sendo definido.

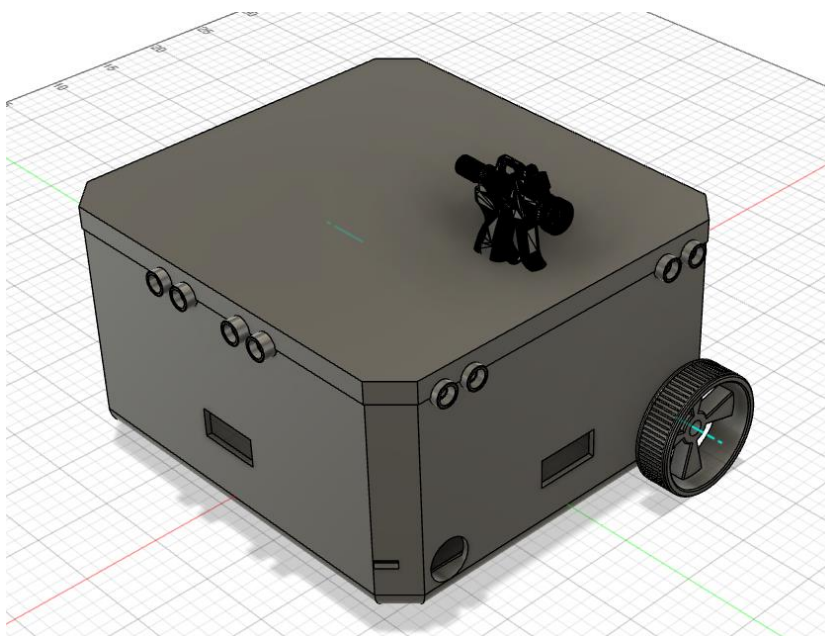
Encontrou-se dificuldade na obtenção tanto da barra guia quanto na barra roscada para a plataforma, não somente isso, como seria necessário testes de impressões 3D para conseguir chegar a um resultado satisfatório, levando um tempo considerável para a impressão do protótipo todo. Fora isso, adaptar uma pistola de spray de tinta mostrou-se tarefa difícil, pois o equipamento teria de ser desmontado, podendo prejudicar o sistema de pressão do compressor de ar, acrescentado do peso considerável do motor do compressor de ar.

O chassi tem dimensões de 35cm x 35cm 17cm. A altura de movimentação da plataforma está vinculada ao comprimento da barra guia e rosqueada. As rodas modeladas têm dimensão de 100 milímetros, mas só serviram para melhor visualização do conjunto todo. Diante dos problemas encontrados na construção deste modelo, surgiu como resultado o “modelo final”.

c) Modelo Final

O modelo final é o resultado da adaptação do modelo de lata de tinta, devido a problemas enfrentados ao longo do desenvolvimento da pesquisa. A figura 16 é uma representação em modelo 3D, após o fim da pesquisa, não tendo sido planejada a priori. Devido à complexidade de ter a parte de pintura funcional, foi optado por colocar uma pistola de pintura como representação.

Figura 17 - Modelo final



Fonte: Acervo do autor (2023)

Após o estágio de modelagem, vem a etapa de impressão 3D, que visa materializar o modelo antes pensado.

4.2 IMPRESSÃO 3D

Em colaboração com a Universidade Federal do Maranhão, polo Imperatriz, seria feito a impressão em Imperatriz com o uso da impressora Ender 3. Contudo, a impressora era simples, e não porta características necessárias para a impressão do protótipo, visto que a bandeja de impressão era pequena demais, necessitando o corte do chassi em diversos pedaços dificultando a montagem e comprometendo a estabilidade, além disso, o tempo de impressão era demasiado alto, superando 3 dias para cada peça.

Em vista deste problema, procurou-se na Universidade Federal do Pará algum curso na qual disponha de uma impressora 3D. Nisso, surgiu o Prof. Dr. Manoel do curso de Engenharia Naval com uma impressora 3D a base de termoplástico. A impressora 3D que usa a resina como material, não é aconselhável para projetos de engenharia pois se saem melhor em questão de detalhe e precisão em detrimento de durabilidade ou resistência, ademais, a resina é um material caro em comparação com o filamento termoplástico. Assim, optou-se pelo uso da impressora 3D com o uso de filamento termoplástico, podendo ser ABS ou PLA.

A impressora em que o chassi foi impresso, foi a SEITH3D modelo S4X, na qual possui uma bandeja de quarenta por quarenta centímetros (40cm x 40cm), conseguindo portar a impressão do chassi, contudo, foi aconselhado pelo Coordenador em diminuir o tamanho do chassi para não ficar rente à margem da bandeja, pois pode resultar em problemas de impressão. No que diz respeito ao tempo de impressão e o material, a velocidade de impressão foi alta, pois o que custava vários dias na Ender 3, custava o tempo de um (1) dia na SEITH3D e o material dependia de quem operava a máquina, resultando em partes de ABS e outras de PLA.

Devido a preocupação de faltas de energias constantes, foi necessário a divisão do corpo em oito partes (figura 16), pois é necessário o aquecimento do material, neste caso, a 180° Celsius para modelagem, a instabilidade da energia elétrica ocasiona na parada da impressora, assim esfriando o material, não podendo continuar de onde parou e tornando a peça que estava sendo impressa como resíduo descartável. Junto a esse problema, foram implementadas modificações conforme trabalhou-se no modelo, resultando em um tempo de um mês e meio para finalização da impressão do chassi. Assim, tendo como dimensões finais 30cm x 28cm x 13cm (Comprimento, largura e altura).

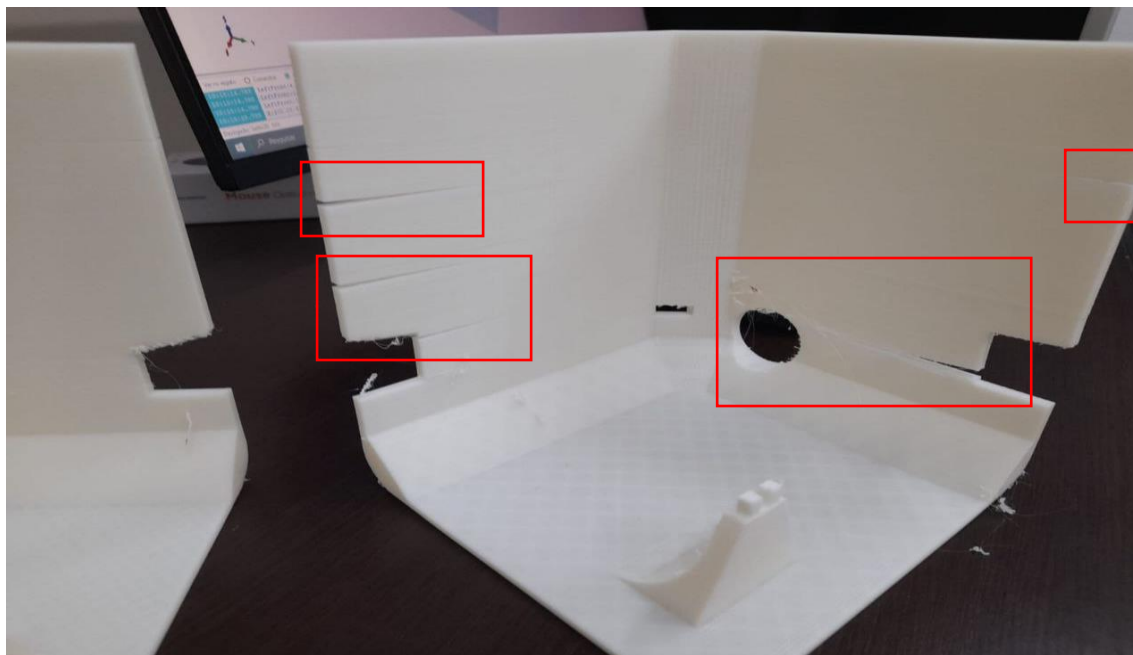
Figura 18 - Chassi impresso em oito partes



Fonte: Acervo do autor (2023)

Outros problemas surgiram durante a impressão, a altura do chassi teve que ser modificada pois era alta demais para a impressora conseguir imprimir, apresentando imperfeições. Não há certeza de o porquê disso acontecer, tanto é que as configurações de impressão foram verificadas várias vezes e modificadas, mas sem razão concreta do porquê ocorrer. O suporte da empresa que fabricou a impressora foi acionado, mas não se teve êxito pelas instruções por chamada telefônica e não houve visita técnica. As imperfeições podem ser vistas na figura 17.

Figura 19 - Defeitos de impressão



Fonte: Acervo do autor (2023)

O eixo do conjunto roda-motor foi impresso em PLA, figura 18, mas lhe faltava resistência, quebrando nas partes que começam a diferença de diâmetro mostrando a fragilidade de pontos específicos do eixo.

Figura 20 - Eixo em PLA



Fonte: Acervo do autor (2023)

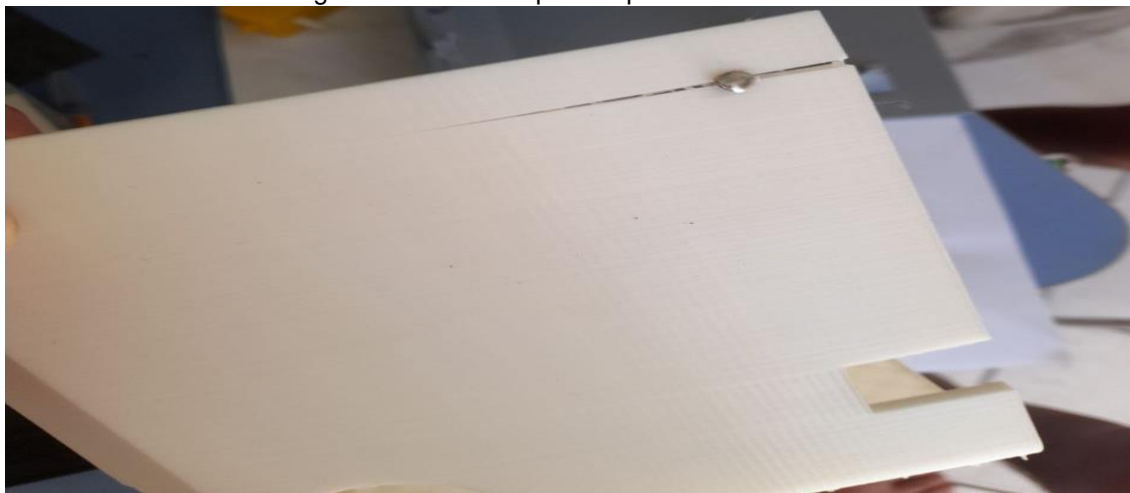
Após a impressão dos componentes necessários, a próxima etapa é a montagem.

4.3 MONTAGEM

4.3.1 Chassi

O protótipo foi idealizado como peça única, não sendo antecipado o que poderia acontecer ao dividir em tantas partes. Dito isso, para unir as partes do chassi, foi recortado uma chapa de alumínio de espessura de 4 milímetros. Para unir a placa e o chassi, pensou-se no uso de ferramenta de rebite na peça de impressão 3D, contudo, ao testar em peças sobressalentes, houve quebra da parede, podendo ser o material que apresenta baixa resistência ou a ferramenta não é apropriada para este material, visto na figura 19.

Figura 21 - Dano na parede por uso de rebite



Fonte: Acervo do autor (2023)

Isto posto, invés de usar o rebite como ancora para a união pela placa de alumínio, foram escolhidos parafusos phillips com diâmetro pequeno para não fazer buracos grandes no chassi, deixando zonas frágeis. Assim, a união das peças foi composta de dezesseis parafusos de cinco milímetros de diâmetro, com dez milímetros de comprimento com rosca cada um. A figura 20 mostra a união das bases com o uso de chapa de alumínio.

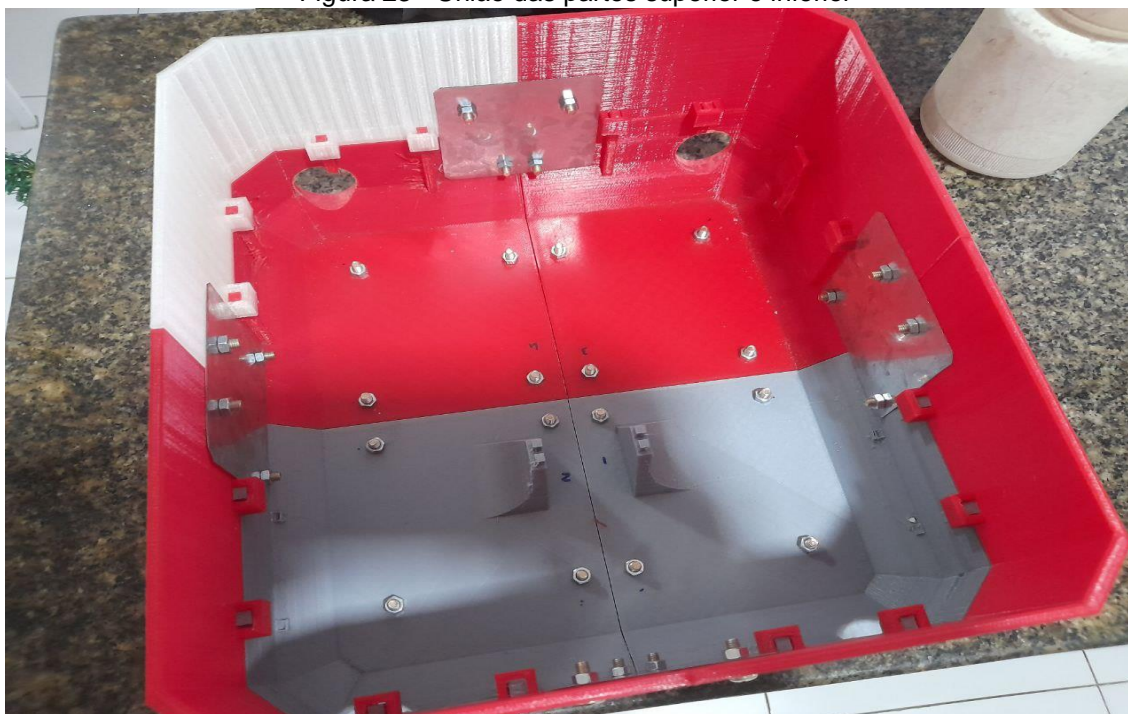
Figura 22 - União das peças pelo fundo



Fonte: Acervo do autor (2023)

As bases das quatro partes foram unidas satisfatoriamente, para a união da parte inferior e superior, foi usado a mesma chapa de alumínio utilizada no fundo. Em primeiro momento, foi pensando em um formato de “U” para que evitasse tampar o buraco do meio aonde seria encaixado os sensores ultrassônicos, mas conforme foi escrito o código do programa, foi pensado em usar dois sensores ultrassônicos na face, tornando o buraco pensando anteriormente inútil. A figura 21 mostra o resultado da união entre as partes superior e inferior.

Figura 23 - União das partes superior e inferior



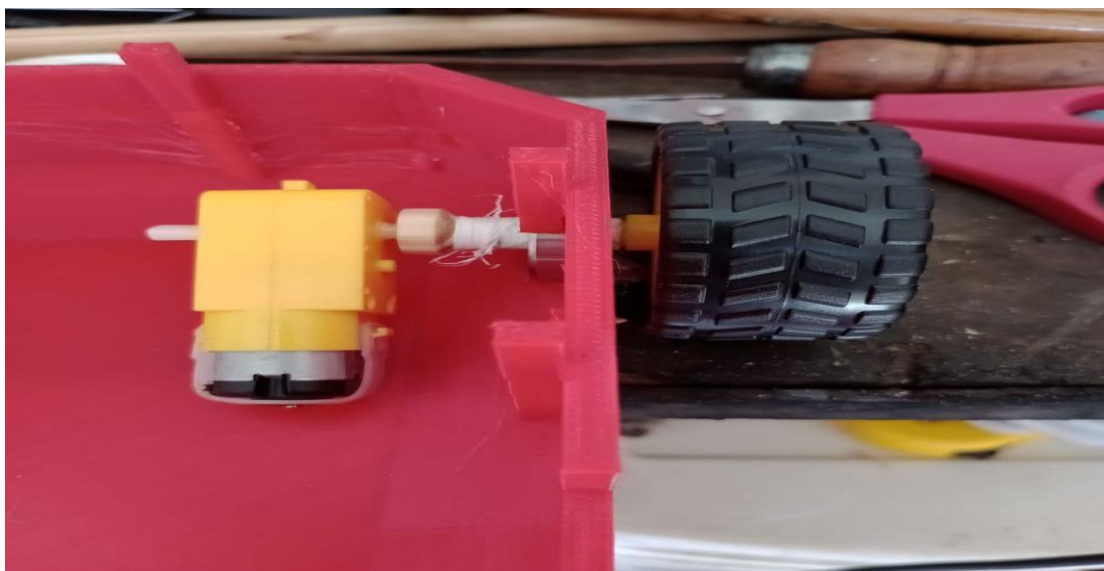
Fonte: Acervo do autor (2023)

Assim que o chassi, com os testes realizados, apresentou grau satisfatório de rigidez, isto é, um paralelo como se fosse um elemento, deu-se início a parte de movimentação.

4.3.2 Estrutura de locomoção

De início, a parte de locomoção foi imaginado com quatro rodas movidas por um motor de DC 6 Volts, usual em projetos envolvendo a placa Arduino. Contudo, o conjunto roda motor usual tem eixo muito curto para vencer o vão e também falta de suporte para o motor. Fora o eixo curto, o peso total do protótipo ficaria no eixo do motor, que é curto, fino, de plástico e rente a parede, optando por um alongamento do eixo. Desta forma, foi criado um eixo para esse problema, em primeiro momento, de madeira branca (figura 22) sendo esta esculpida, porém, não é um material viável pois cede sob pressão. Depois, foi modelado e impresso um eixo em PLA, tendo problemas como mencionado na seção anterior.

Figura 24 - Conjunto roda motor com eixo de madeira



Fonte: Acervo do autor (2023)

Por fim, buscou-se os serviços de um profissional de mecânica, um torneiro mecânico, para confeccionar um eixo dentre as opções: nylon, vergalhão ou outro material metálico. Diante da requisição de serviço, o torneiro aconselhou, assim como fez, o eixo de material mais leve, diferente do vergalhão e mais barato em comparação ao material nylon. Foi escolhido um parafuso de 10mm de diâmetro e 7cm de comprimento para servir de eixo (figura 23).

Figura 25 - Eixo de parafuso



Fonte: Acervo do autor (2023)

Com o eixo confeccionado, foram construídos os suportes para os motores para teste, porém, devido à falta de uma ponte de fixação entre o eixo do motor amarelo e o eixo-extensão metálico, quando ligado o motor, seu eixo girava livremente, não formando um único eixo. Assim, foi descartado o motor amarelo devido a não existência de parte fixa, além disso, o material de plástico poderia sofrer desgaste devido a diferença entre materiais. Em vista deste problema, foi pesquisado nas lojas locais outro motor, mas os que eram vendidos e recomendados para este projeto foram os mesmos motores amarelos tipicamente usados em projetos de robóticas ou automação envolvendo arduino. Assim, a procura por motores abrangeu também as lojas online voltadas para robótica, em que foi encontrado um motor de 12V com caixa de redução resultante em 10RPM tanto a caixa quanto o motor eram feitos de aço (figura 24). Ao acessar o suporte da loja, o vendedor não sabia dizer ao certo se funcionaria para o projeto em questão, resultando em mais um teste. Dois motores deste tipo foram comprados com tempo de chegada de uma semana, e necessária a adaptação dos eixos metálicos para poderem ser usados, o que levou mais alguns dias de ajuste, porém, diferente dos motores amarelos, os eixos metálicos e os eixos das rodas encaixaram de forma satisfatória.

Figura 26 - Motor DC com caixa de redução 12V 10RPM, modelo JGY-370



Fonte: <https://www.eletrogate.com/motor-dc-com-caixa-de-reducao-12v-10rpm-jgy-370>

Com esta parte de conjunto motor-eixo resolvido, passou-se para as rodas. As rodas que vieram junto com os motores amarelos são de 68mm de diâmetro, que deixam a desejar, não proporcionando uma altura boa para evitar que o fundo do chassi arraste no chão. Foram substituídas por um par de rodas de 100mm de diâmetro, doadas de um colecionador de carros monstros de miniatura. Com as devidas adaptações, o conjunto roda-motor foi montado, mostrado na figura 25.

Figura 27 - Novo conjunto motor-roda



Fonte: Acervo do Autor (2023)

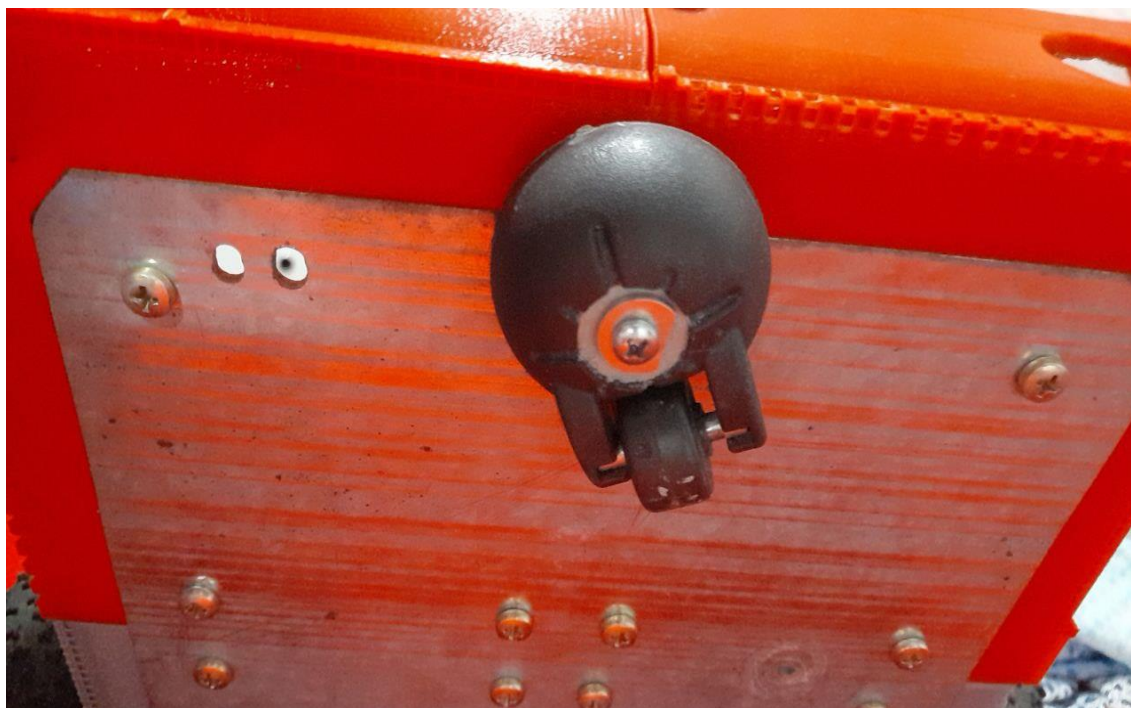
Com as rodas de tração finalizadas, foi colocada uma roda central na frente, invés de mais duas rodas, por dois motivos:

- a) A placa de controle (Ponte h L298) só funciona com 2 motores, segundo sua página de especificação (datasheet);
- b) As rodas frontais não possuem liberdade de rotação, ocasionando em derrapagem e ou resistência no momento de rotacionar.

A roda central, também chamada de roda rodizio ou roda “maluca” ou roda “boba”, foi retirada de um aspirador de pó NEO da Eletrolux considerada resíduo (reciclagem) pela loja de manutenção autorizada. Com o uso de massa epóxi,

parafuso para fixação e lubrificante, conseguiu imitar a função que esta roda possui no aspirador. Devido aos parafusos que unem as partes da base, a roda central teve que ser movida para frente, pois estava sendo travada por parafusos. A figura 26 mostra a posição e a fixação da roda.

Figura 28 - Roda rodizio, boba ou central



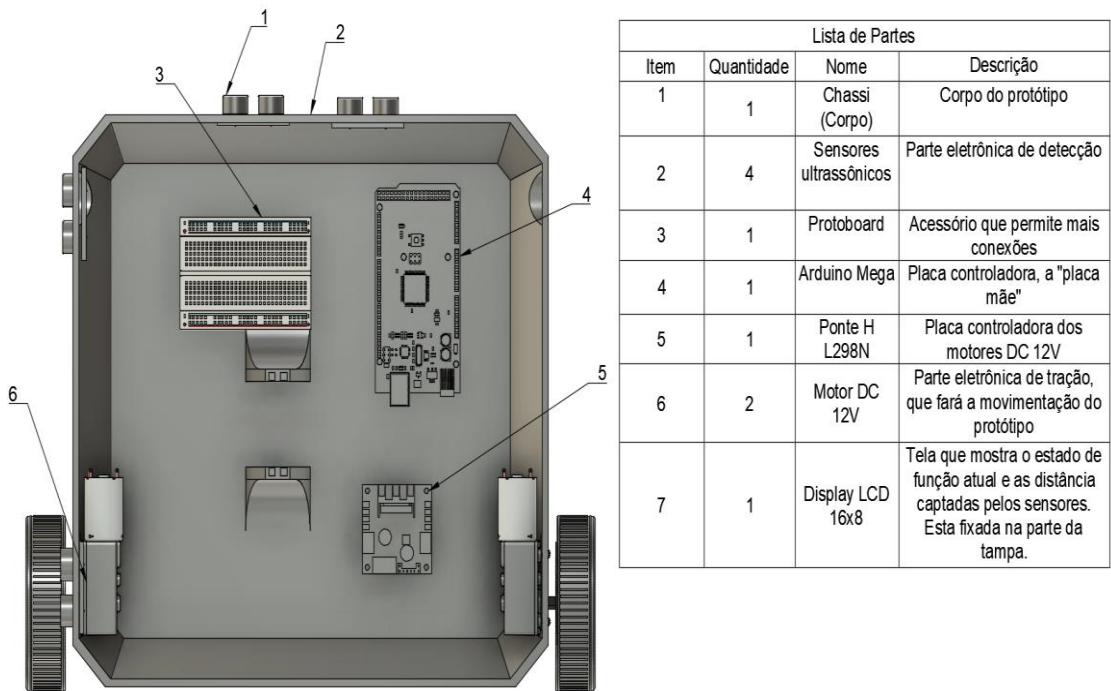
Fonte: Acervo do autor (2023)

Com a montagem do corpo finalizada, passa-se para a fase de componentes eletrônicos e programação.

4.3.3 Componentes eletrônicos e programação

Esta fase constitui a junção da montagem do chassi e conjunto motor-roda com a parte eletrônica na qual controla os motores e sensores com a programação previamente construído. Os componentes escolhidos encontram-se na figura 27.

Figura 29 - Lista de componentes eletrônicos e suas indicações



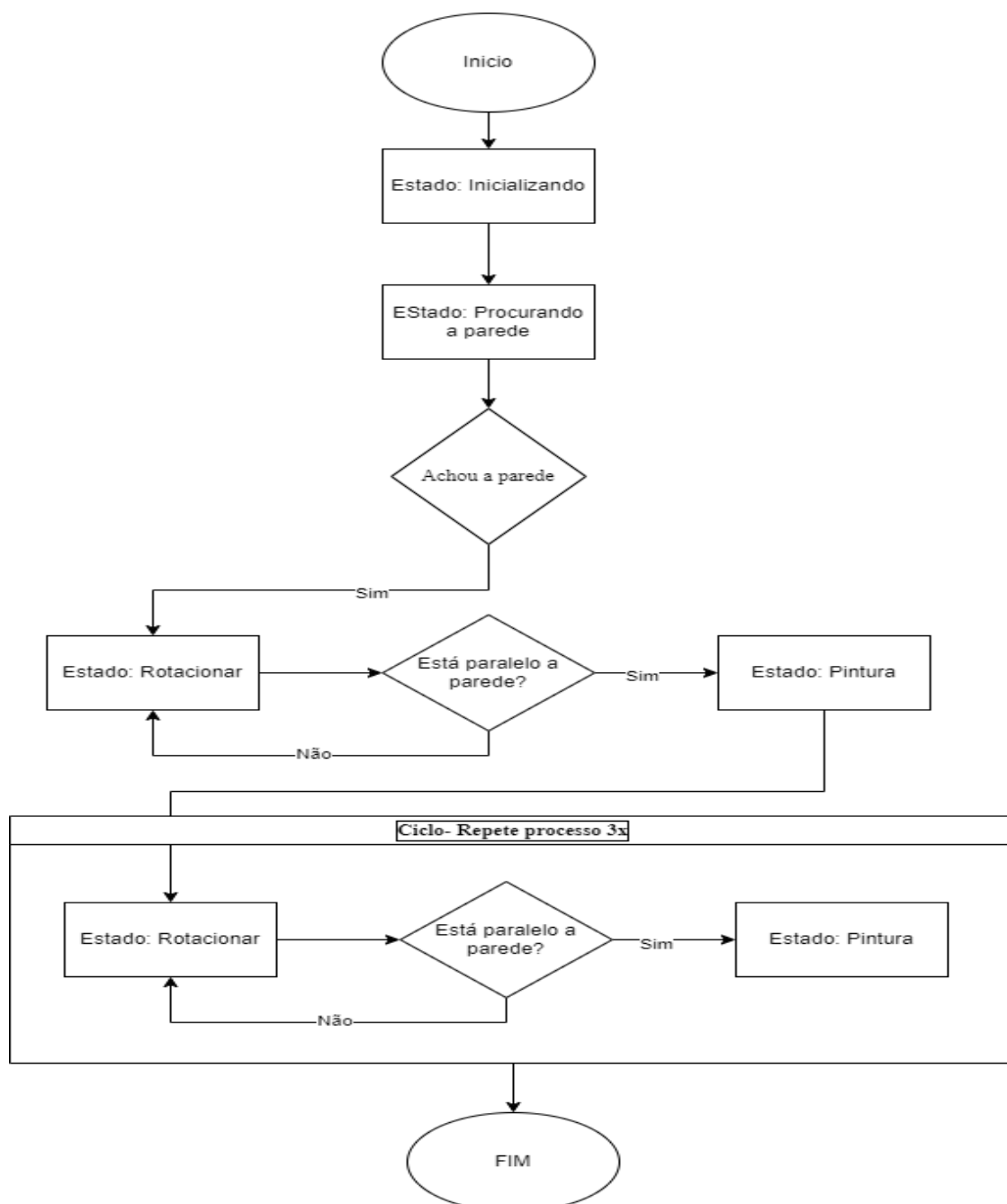
Fonte: Acervo do autor (2023)

Os sensores ultrassônicos foram distribuídos na face frontal e na esquerda, sendo dois sensores por face. O propósito deles é encontrar a parede através de ondas, em que podem dar a distância em metros ou centímetros. A placa Arduino Mega tem propósito de controlar todos os eletrônicos sendo alimentada por uma fonte de 9 Volts alcalina, enquanto que a placa Ponte H L298N controla os dois motores DC 12 Volts de acordo com a programação na placa Arduino Mega. A Placa Ponte H é alimentada por duas pilhas de lítio de 4,2 Volts com 8000mAH (miliampêre-Hora).

Diferente do modelo de lata de tinta pensando antes, os sensores infravermelhos não agregaram um propósito, pois tem um alcance de 2cm a 40cm, sendo acionados quando encontravam um obstáculo. Porém, como o sensor infravermelho não consegue medir a distância, o obstáculo poderia estar a 40cm de distância, podendo dar uma falsa ideia de colisão, assim dificultando a decisão de manobras para evitar obstáculos. O motor NEMA antes citado para acionar a elevação, foi desconsiderado assim como a plataforma em si, devido a problemas explicados na parte de modelagem.

No que diz respeito a programação, para melhor entendimento invés de simplesmente copiar o código e colar, o processo de funcionamento está ilustrado na figura 28.

Figura 30 - Estrutura do programa



Fonte: Acervo do autor (2023)

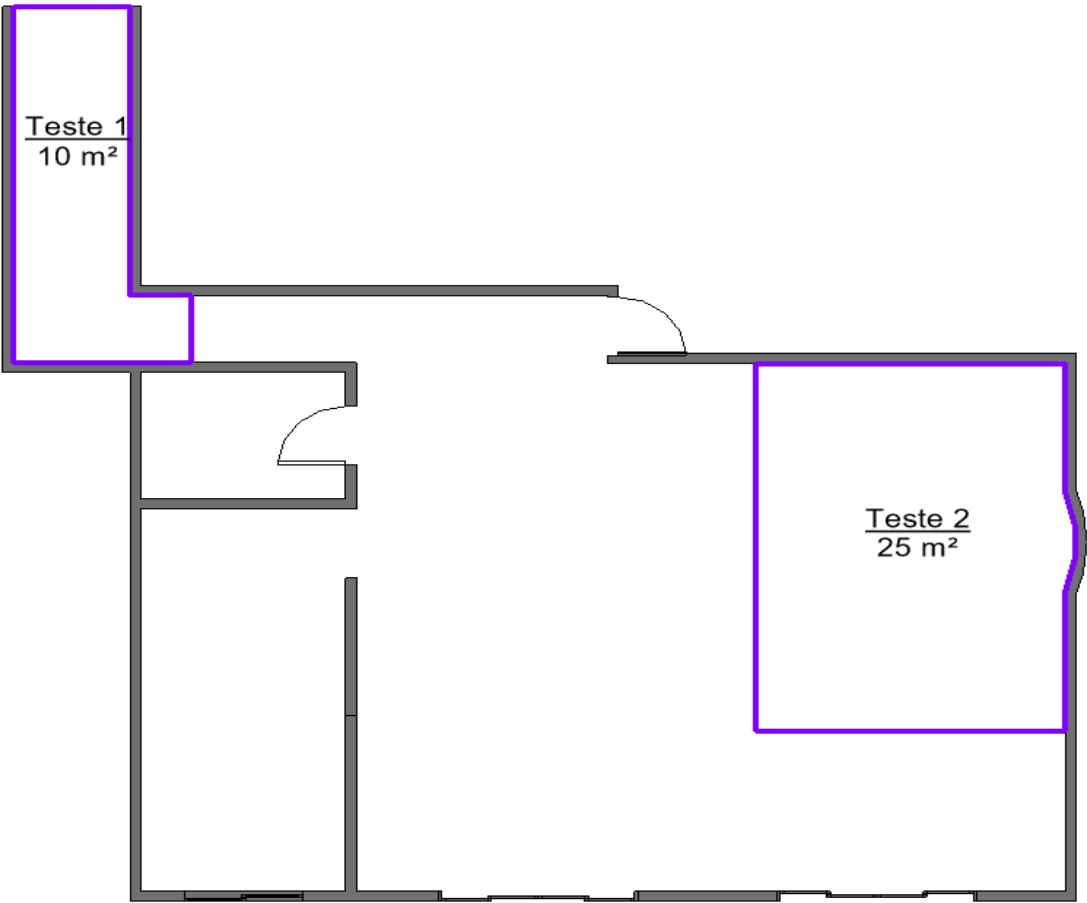
A definição de cada estado está descrita nos itens a seguir:

- a) Estado Inicializado (Bootling): Inicialização do programa, que considera o tempo da ativação da placa e outros componentes;
- b) Estado Procurando (Searching): Estado na qual o protótipo aciona as duas trações para um movimento frontal, procurando por meio dos sensores ultrassônicos frontais uma parede ou objeto. O critério de localização ficou determinado a uma distância de 20cm do sensor para a parede, assim entrando no próximo estado;
- c) Estado Rotacionar (Rotating): Após a identificação da parede na face frontal, o protótipo dá o comando de tracionar as rodas em sentidos opostos, seguindo o sentido para a direita no momento de realizar a rotação. O mecanismo de parada funciona semelhante ao usado no estado de procurando, com o uso de dois sensores ultrassônicos, faz-se a localização da parede, contudo, para saber se a face esta paralela a parede é imposto uma condição de que a diferença entre as medições dos sensores deve ser igual ou menor que 2cm, para então finalizar o estado de rotação;
- d) Estado Pintura (Painting): O protótipo movimenta-se ao longo da parede da sua face esquerda por alguns segundos, movimentação cessa brevemente, movimenta-se por alguns segundos... até achar uma parede através do sensor ultrassônicos frontal. A parada caracteriza a parte do acionamento da pistola de pintura que ejeta a tinta na parede em forma de leque, proporcionando uma maior área. Ao encontrar uma parede, entra no estado de rotação e segue essa sequência de Rotação e pintura mais três vezes, desligando em seguida.

4.4 TESTE DO PROTÓTIPO

O local do teste 1 foi feito em um corredor, com tamanho de circulação de 0,80 metros, paredes de com acabamento de gesso e pintura e o piso cerâmico, enquanto que o teste 2 foi em um cômodo aberto, sendo o chão e as paredes compostas dos mesmos materiais do teste 1. A figura 30 mostra um croqui representativo das áreas de teste.

Figura 31 - Croqui das áreas de testes



Fonte: Acervo do autor (2023)

As etapas abordadas estão descritas no quadro 10 com imagens ilustrativas.

Quadro 9 - Teste do protótipo

Estado	Descrição	Figura
Inicialização	Tempo de inicialização do sistema, levando alguns segundos parado para mudar de estado.	

Procurando	Estado em que se move na direção da seta vermelha, a procura de uma parede.	
Rotacionando	Rotaciona para a direita, para ficar paralelo a parede assim começando a pintura.	
Pintura	Modo de pintura, na qual movimenta-se em linha reta por 3s, para o movimento para o spray de tinta poder fazer a pintura, e movimenta-se de novo por 3 segundos, até encontrar outra parede a sua frente.	

Fonte: Acervo do autor (2024)

O teste 1 saiu como planejado, com alguns pontos importantes a considerar. Às vezes, o protótipo tinha dificuldade em sair do Estado de Rotação, devido a distância da parede e o protótipo não estarem dentro da condição estabelecida. Dito isso, é necessário diminuir a distância do protótipo em relação a parede, ou aumentar a tolerância da verificação se está paralelo a parede. Para ambos os casos, o sistema

de pintura deve ser considerado para um melhor proveito do leque (área de ação da pistola) de tinta, evitando tanto a correção quanto maior número de demãos de pintura.

O teste 2 envolveu o funcionamento em paredes com curvas, como visto na figura 30. Ao entrar em Estado de Rotação, com a face esquerda em paralelo a parte da parede curvada, em primeiro momento, conseguiu entrar no Estado de Pintura, porém, sua posição estava inclinada em relação a parede. A profundidade da parede foi um problema para os sensores, dando um falso positivo para estar paralelo a parede. Uma solução para este problema, pode ser um sistema de localização, como implementado no protótipo de robô de reciclagem de resíduo da construção (Wang; Li; Zhang, 2019).

5 CONCLUSÃO

A presente pesquisa teve como foco principal o sistema de movimentação de um protótipo de robô de pintura de alvenaria interna de habitações, com o intuito de melhorar um serviço no setor da Construção Civil, para tal, criou-se um artefato que enquadrou a pesquisa no método de Design Science Research. Ao termino do teste do protótipo, discorre-se as principais conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

O objetivo principal dessa pesquisa foi alcançado, pois foi construído um artefato na qual pode movimentar-se e se posicionar através de sensores. No que tange os objetivos específicos, todos foram atingidos, pois no fim da pesquisa foram cumpridos:

- a) Construir a modelagem inicial do protótipo, que foi executada com êxito através do programa Fusion 3D, tendo até 2 versões, sendo o resultado desta pesquisa as adaptações necessárias para alcançar o objetivo principal proposto. O sistema de pintura não consta no produto final mesmo modelado um mecanismo de acionamento da lata de spray de tinta, mas devido a problemas de outra área não foi possível sua adição;
- b) Escrever o código de programação, que foi utilizado uma combinação das linguagens Arduino e C++. A estrutura do programa foi descrita como forma de fluxograma (ver figura 28) para melhor visualização das funções e como se sucedem;
- c) Imprimir protótipo em impressão 3D com uso de termoplástico, sendo ABS e PLA e com necessárias adaptações devido a problemas de impressão da impressora SEITH3D modelo S4X;
- d) Conduzir teste de movimentação em duas áreas (ver figura 30), o primeiro teste em um corredor com paredes com dimensões longitudinais sem deformações ou curvas, enquanto que segunda área de teste possui um arco ao longo da parede.

Importante destacar que esta pesquisa não tem hipóteses, sendo do tipo descritiva, que se preocupa em delinear de forma detalhada a produção do protótipo. Esta característica proporciona para outros pesquisadores a reprodução assim como a adição de melhorias com base nas dificuldades descritas ao longo do

desenvolvimento do protótipo. Desta forma, a pesquisa contribui para o desenvolvimento da RAC através da demonstração dos problemas encontrados durante o teste e o código construído que serve como base para melhorias no sistema movimentação, em vista a executar a pintura de fato.

Com os problemas elencados, há avanços que podem ser investigados em futuras pesquisas em há diversas frentes a serem solucionadas. Destacam-se:

- a) Troca de material da estrutura, de PLA ou ABS para outra mais resistente e leve;
- b) Sensores com maior qualidade;
- c) Melhorar o sistema de movimentação com uso de outras tecnologias como BIM;

Esta dissertação explorou de maneira o papel da automação e robótica na indústria da construção civil, analisando os impactos, desafios e benefícios dessa transformação tecnológica. Ao longo da pesquisa, evidenciou-se que a incorporação de sistemas automatizados e robóticos na construção civil representa não apenas uma tendência, mas uma necessidade premente para impulsionar a eficiência, a segurança e a sustentabilidade no setor. No entanto, para que a indústria da construção possa colher plenamente os benefícios da robótica e automação, é crucial que haja um esforço colaborativo entre stakeholders, governos, instituições de ensino e empresas.

REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 15575- Edificações habitacionais-Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. **2013**: 2021. Disponível em: www.abnt.org.br.

AGC. **Construction Sector Sheds 9,000 Jobs In March As Low Unemployment Rates And High Number Of Job Openings Indicate A Lack Of Workers, Not Demand.** [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://www.agc.org/news/2023/04/07/construction-sector-sheds-9000-jobs-march-low-unemployment-rates-and-high-number-job-openings>. Acesso em: 6 abr. 2023.

AGC. **The Economic Impact of Construction in the United States and California_AGC.** [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.agc.org/sites/default/files/Files/Construction%20Data/CA.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2023.

AGHIMIEN, Douglas Omoregie *et al.* Mapping out research focus for robotics and automation research in construction-related studies: A bibliometric approach. **Journal of Engineering, Design and Technology**, [s. l.], v. 18, n. 5, p. 1063–1079, 2020.

AHN, Sung Hoon *et al.* Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. **Rapid Prototyping Journal**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 248–257, 2002.

AKINRADEWO, Opeoluwa *et al.* Willingness to Adopt Robotics and Construction Automation in the South African Construction Industry. [s. l.], 2018.

ALABBASI, Mohammad; AGKATHIDIS, Asterios; CHEN, Hanmei. Robotic 3D printing of concrete building components for residential buildings in Saudi Arabia. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 148, 2023.

ALBERTE, Elaine Pinto Varela; HANDRO, Julia Barretto. Estado do conhecimento acerca de especificações técnicas e normativas para agregados reciclados de RCD. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 21, n. 3, p. 305–320, 2021.

ALI, Md Hazrat *et al.* Design of a 6-DOF robot manipulator for 3D printed construction. *In:* , 2021. **Materials Today: Proceedings**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2021. p. 1462–1468.

ALVES, Maurício Kaminski. **INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ANÁLISE DA POSSIBILIDADE DE ADOÇÃO DE AÇÕES DE UM PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO EUROPEU NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA.** 2016. 1–60 f. - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ANANE, Walid; IORDANOVA, Ivanka; OUELLET-PLAMONDON, Claudiane. BIM-driven computational design for robotic manufacturing in off-site construction: an integrated Design-to-Manufacturing (DtM) approach. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 150, p. 104782, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926580523000420>.

ANDERSON, M O; WADSWORTH, D E. **THE MODIFIED BROKK DEMOLITION MACHINE WITH REMOTE CONSOLE.** [S. l.: s. n.], 2001.

AUTODESK. **Fusion 360 | Software CAD 3D, CAM, CAE e PCB na nuvem | Autodesk.** [S. l.], 2023.

BADEMOSI, Fopefoluwa M; TAYEH, Ralph; ISSA, R A. Skills Assessment for Robotics in Construction Education. *In:* , 2018, Johannesburg. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Pretoria.** Johannesburg: [s. n.], 2018.

BALLESTEROS, Ramiro Daniel; LORDSLEEM JUNIOR, Alberto Casado. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 119–137, 2021.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção.** 5. ed. [S. l.]: LTC, 2016. v. 1

BAZZO, Walter Antônio. **INTRODUÇÃO À ENGENHARIA CONCEITOS, FERRAMENTAS E COMPORTAMENTOS.** 1. ed. Florianópolis: UFSC, 2006.

BOCK, T *et al.* **Automatic generation of the controlling-system for a wall construction robot 'Automation in Construction.** [S. l.: s. n.], 1996.

BOCK, Thomas. The future of construction automation: Technological disruption and the upcoming ubiquity of robotics. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 59, p. 113–121, 2015.

BRASIL, Ministério da Economia. **Manual Básico para Proteção por Patentes de Invenções, Modelos de Utilidade e Certificados de Adição.** [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/guia-basico/ManualdePatentes20210706.pdf>. Acesso em: 14 set. 2023.

BRASIL. INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INTELECTUAL. **G.** [S. l.], [s. d.].

CAI, Shiyao *et al.* **Construction automation and robotics for high-rise buildings over the past decades: A comprehensive review.** [S. l.]: Elsevier Ltd, 2019.

CAMBRIDGE DICTIONARY. **Prototyping - Cambrigde definition.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/prototyping>. Acesso em: 2 ago. 2023.

CARRA, Guglielmo *et al.* Robotics in the construction industry: state of the art and future opportunities. *In:* , 2018. **35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2018).** [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.arup.com/>.

CBIC. **Cresce dificuldade para contratar mão de obra qualificada na construção civil - CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção.** [S. l.: s. n.], 2022a. Disponível em: <https://cbic.org.br/cresce-dificuldade-para-contratar-mao-de-obra-qualificada-da-construcao/>. Acesso em: 6 abr. 2023.

CBIC. **Informativo Econômico.** [S. l.: s. n.], 2022b.

CHEN, Xinxing *et al.* Robot for automatic waste sorting on construction sites. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 141, 2022.

CHEN, Qian; SOTO, Borja García de; ADEY, Bryan T. Construction automation: Research areas, industry concerns and suggestions for advancement. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 94, p. 22–38, 2018.

CHU, Baeksuk *et al.* Robot-based construction automation: An application to steel beam assembly (Part I). **Automation in Construction**, [s. l.], v. 32, p. 46–61, 2013.

CIESLAK, Maciej *et al.* **Determining the causes of the arm member fractures of the brokk 90 demolition machine with use of high speed camera and finite element method.** [S. l.: s. n.], 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282247554>. .

COWARD, Cameron. **A Beginner's Guide to 3D Modeling - A Guide to Autodesk Fusion 360.** 1. ed. San Francisco: William Pollock, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=PVv6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=autodesk+fusion+360&ots=iKEQRg11pO&sig=zfNKtuR6IP0JXsl5PgiOTp0BuC0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 6 jun. 2023.

CRAIG, John J; PRENTICE, Pearson; HALL, Pearson Prentice. **Introduction to Robotics Mechanics and Control Third Edition.** [S. l.: s. n.], 2005.

CUNICO, Marlon Wesley Machado. **ESTUDO DE VIABILIDADE DE TECNOLOGIA DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA BASEADA EM MATERIAIS FOTOPOLIMÉRICOS EXTRUDADOS.** 2008. 1–207 f. - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp129192.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.

DABIRIAN, Sh; KHANZADI, M; MOUSSAZADEH, M. **Predicting labor costs in construction projects using agent-based modeling and simulation** Scientia Iranica A. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: www.scientiairanica.com. .

DELGADO, Juan Manuel Davila *et al.* Robotics and automated systems in construction: Understanding industry-specific challenges for adoption. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 26, 2019.

DIAS, Altamir. **Introdução ao sistemas CAE/CAD/CAM.** UFSC, 2015. Disponível em: <https://emc6633.paginas.ufsc.br/files/2015/03/introducao.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2023.

DOMINIK. **Pistola Pintura Gravidade: conheça os tipos e aplicações.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.lojadorominik.com.br/noticia/categoria-todos/pistola-pintura-gravidade-conheca-os-tipos-e-aplicacoes>. Acesso em: 23 out. 2023.

DONGRE, Ganesh *et al.* Topology optimization of brake pad. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], 2023.

DONIAK, Íria Lícia Oliva. **A industrialização da construção, a história e o concreto.** [S. l.], 2021.

DÖRFLER, Kathrin *et al.* Mobile Robotic Brickwork. **Robotic Fabrication in Architecture, Art and Design 2016**, [s. l.], p. 204–217, 2016.

DRESCH, Aline *et al.* **Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia**. [S. l.: s. n.], 2015. v. 1

ELLIOTT, Anthony. Automated mobilities: From weaponized drones to killer bots. **Journal of Sociology**, [s. l.], v. 55, n. 1, p. 20–36, 2019.

FALASCHETTI, Laura *et al.* A Lightweight CNN-Based Vision System for Concrete Crack Detection on a Low-Power Embedded Microcontroller Platform. *In:* , 2022. **Procedia Computer Science**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2022. p. 3948–3956.

FALORCA, Jorge Furtado; LANZINHA, João Carlos Gonçalves. Facade inspections with drones—theoretical analysis and exploratory tests. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, [s. l.], v. 39, n. 2, p. 235–258, 2021.

FELDMANN, Paulo. Por que a produtividade do Brasil é tão baixa. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://jornal.usp.br/articulas/paulo-feldmann/por-que-a-produtividade-do-brasil-e-tao-baixa/>. Acesso em: 26 fev. 2024.

FELÍCIO, Fernando José Silva. **FABRICAÇÃO RÁPIDA NO DESIGN Uma abordagem na concepção de produto**. Lisboa: [s. n.], 2012.

FG. **Pistolas de pintura: saiba sua importância e tipos de modelos que existem**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/especial-publicitario/ferramentas-gerais/pensou-ferramentas-ferramentas-gerais/noticia/2022/05/26/pistolas-de-pintura-saiba-sua-importancia-e-tipos-de-modelos-que-existem.ghtml>. Acesso em: 23 out. 2023.

FOUNDANTION LE CORBUSIER. **Housing Unit, Berlin, Germany, 1955-1958**. [S. l.: s. n.], [s. d.].

FRANGEZ, Valens; SALIDO-MONZÚ, David; WIESER, Andreas. Surface finish classification using depth camera data. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 129, 2021.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 210, p. 15–26, 2019.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa; RICARTE, Ivan Luiz Marques. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: CONCEITUAÇÃO, PRODUÇÃO E PUBLICAÇÃO. **Logeion: Filosofia da Informação**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.

GASPARETTO, A; SCALERA, L. A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century. **Advances in Historical Studies**, [s. l.], v. 8, p. 24–35, 2019. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/ahs>.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Metod. Cientif. Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GITNEX. **Construction Industry in the UK: Important Statistics**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://blog.gitnux.com>. Acesso em: 11 jun. 2023.

GRIGORYAN, E. A.; SEMENOVA, M. D. Automation of the construction process by using a hinged robot with interchangeable nozzles. *In:* , 2019. **Materials Today: Proceedings**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2019. p. 380–387.

GUAN, Dong *et al.* Kinematic modeling and constraint analysis for robotic excavator operations in piling construction. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 126, 2021.

GUO, Xiao *et al.* **Review on the application of artificial intelligence in smart homes**. [S. l.]: MDPI, 2019.

HALDER, Srijeet *et al.* Construction inspection & monitoring with quadruped robots in future human-robot teaming: A preliminary study. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 65, 2023.

HALLGRIMSSON, Bjarki. **Prototyping and modelmaking for product design**. [S. l.]: Laurence King Pub, 2012.

HATOUM, Makram Bou; NASSEREDDINE, Hala. Developing a Framework for the Implementation of Robotics in Construction Enterprises. [s. l.], 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/342814823>.

HEINTZE, J; TEERHUIS, P C; WEIDEN, A J J V D. **Controlled hydraulics for a direct drive brick laying robot 'Automation in Construction**. [S. l.: s. n.], 1996.

HERBERT, Ian. **Earn-to-Learn (EtoL) How students can combine earning with learning through flexible business process sourcing: a proposition Loughborough University**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: www.lboro.ac.uk. .

HEWITT, Matt M; GAMBATESE, John A. **AUTOMATION CONSIDERATION DURING PROJECT DESIGN**. Washington: [s. n.], 2002. Disponível em: www.new-technologies.org/ECT/Index.html. Acesso em: 14 jun. 2023.

HUBS. **3D printing with PLA vs. ABS: What's the difference?** [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.hubs.com/knowledge-base/pla-vs-abs-whats-difference/>. Acesso em: 28 maio 2023.

IBGE. **Pirâmide Etária e Taxa de Fecundidade**. [S. l.: s. n.], 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 20 jan. 2024.

IKEDA, Yuichi; HARADA, Tsunenori. **Title: The Automated Building Construction System for High-rise Steel Structure Buildings The Automated Building Construction System for High-rise Steel Structure BuildingsCTBUH**. [S. l.: s. n.], 2004.

IQBAL, Jamshed; KHAN, Zeashan Hameed; KHALID, Azfar. Prospects of robotics in food industry. **Food Science and Technology (Brazil)**, [s. l.], v. 37, n. 2, p. 159–165, 2017.

JINDAL, Harsh; KAUR, Spinder. Robotics and Automation in Textile Industry. **International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology**, [s. l.], p. 40–45, 2021.

JUNG, Kyoungmo; CHU, Baeksuk; HONG, Daehie. Robot-based construction automation: An application to steel beam assembly (Part II). **Automation in Construction**, [s. l.], v. 32, p. 62–79, 2013.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. [S. l.: s. n.], 2013.

KALYANI RADHA, K.; ASHOK CHAKRAVARTHY, M. Fabrication of solar robotic vacuum cleaner. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], 2023.

KAMATH, Akshay; SHARMA, Rahul Kumar. Robotics in construction: Opportunities and challenges. **International Journal of Recent Technology and Engineering**, [s. l.], v. 8, n. 2 Special Issue 11, p. 2227–2230, 2019.

KAYHANI, Navid *et al.* Tag-based visual-inertial localization of unmanned aerial vehicles in indoor construction environments using an on-manifold extended Kalman filter. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 135, 2022.

KELLEY, Tom. **Prototyping is the Shorthand of Design Predicting and Evaluating Design Outcomes** *Design Management Journal*. [S. l.: s. n.], 2001. Disponível em: www.dmi.org. .

KOCHETOV, Kirill. **Modern approach to hard-surface modeling for games**. 2018. - South-Eastern Finland UNiversity of Applied Sciences, Finland, 2018. Disponível em: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/155459/Kochetov_Kirill.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 6 jun. 2023.

LACERDA, Daniel Pacheco *et al.* Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. São Carlos, p. 741–761, 2013.

LACHMAYER, Lukas; RECKER, Tobias; RAATZ, Annika. Contour Tracking Control for Mobile Robots applicable to Large-scale Assembly and Additive Manufacturing in Construction. *In: , 2022. Procedia CIRP*. [S. l.]: Elsevier B.V., 2022. p. 108–113.

LIMA, Johnny Souza de; SILVA, Thiago Gerlani da. **A BAIXA PRODUTIVIDADE DE MÃO DE OBRA NO BRASIL E COMO ISSO AFETA O CUSTO UNITÁRIO DE SERVIÇO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2015. - Universidade do Grande Rio, Duque de Caxias, 2015. Disponível em: https://unigranrio.com.br/_docs/biblioteca-virtual/pdfs/cursos/engenharia-de-producao/A-BAIXA-PRODUTIVIDADE-DE-M%C3%83O-DE-OBRA-NO-BRASIL-E-COMO-ISSO-AFETA-O-CUSTO-UNIT%C3%81RIO-DE-SERVI%C3%87O-NA-CONSTRU%C3%87%C3%83O-CIVIL.pdf. Acesso em: 26 fev. 2024.

LU, Yang. **Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2017.

MANSON, N J. **Is operations research really research?** [S. l.: s. n.], 2006. Disponível em: <http://www.orssa.org.za>. .

MANUEL DAVILA DELGADO, Juan; OYEDELE, Lukumon. Robotics in construction: A critical review of the reinforcement learning and imitation learning paradigms. **Advanced Engineering Informatics**, [s. l.], v. 54, 2022.

MARCH, Salvatore T; SMITH, Gerald F. **Design and natural science research on information technology** **Decision Support Systems**. [S. l.: s. n.], 1995.

MARCO, Marina Drummond de. **INDUSTRIALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO ARMADO**. 2015. - Faculdade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MELENBRINK, Nathan; WERFEL, Justin; MENGES, Achim. **On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2020.

MIRBOD, Majid; SHOAR, Maryam. Intelligent Concrete Surface Cracks Detection using Computer Vision, Pattern Recognition, and Artificial Neural Networks. **Procedia Computer Science**, [s. l.], v. 217, p. 52–61, 2023.

MUELLER, Suzana Pinheiro Machado; PERUCCHI, Valmira. Universities and patent production: Issues for the study of technological information. **Perspectivas em Ciencia da Informacao**, [s. l.], v. 19, n. 2, p. 15–36, 2014.

MUGILAN, M. *et al.* Investigation on thermal analysis of disc brake using Autodesk Fusion 360. **Materials Today: Proceedings**, [s. l.], v. 65, p. 3707–3713, 2022.

NAEEM, Armghan; ASIM PASHA, Riffat; MUNEEB, Muhammad. A novel milling fixture pallet system for production growth of alligator forceps: Design, manufacturing, and testing. **Results in Engineering**, [s. l.], v. 16, 2022.

NEWMAN, Chris *et al.* Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. **Smart and Sustainable Built Environment**, [s. l.], v. 10, n. 4, p. 557–580, 2021.

NNAJI, Chukwuma *et al.* Controlling safety and health challenges intrinsic in exoskeleton use in construction. **Safety Science**, [s. l.], v. 157, 2023.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 83, p. 121–139, 2016.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. **METODOLOGIA CIENTÍFICA: um manual para a realização de pesquisas em administração**. Catalão: Universidade Federal de Goiás, 2011. v. 1

ONU. **Exposição ao chumbo mata 900 mil pessoas por ano**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2022/07/1794492#:~:text=Apesar%20de%20controle%20por%20lei,pessoas%20e%20o%20meio%20ambiente>. Acesso em: 19 set. 2023.

ORTNER, Maximilian; KROMOSER, Benjamin. Influence of different parameters on drilling forces in automated drilling of concrete with industrial robots. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 150, 2023.

OVAL, Robin *et al.* A prototype low-carbon segmented concrete shell building floor system. **Structures**, [s. l.], v. 49, p. 124–138, 2023.

PALHAIS, Catarina Bela Cardoso. **PROTOTIPAGEM Uma abordagem ao processo de desenvolvimento de um produto**. 2015. 01–153 f. - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

POLITO, Giuliano. **SISTEMAS DE PINTURA NA CONSTRUÇÃO CIVIL SISTEMAS DE PINTURA NA PINTURA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. [S. l.: s. n.], 2009.

PRITSCHOW, G *et al.* Technological aspects in the development of a mobile bricklaying robot 'Automation in Construction'. [S. l.: s. n.], 1996.

QIAO, Wentao *et al.* A new mortise and tenon timber structure and its automatic construction system. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 44, 2021.

QIU, Dan; LANGRANA, Noshir A. Void eliminating toolpath for extrusion-based multi-material layered manufacturing. **Rapid Prototyping Journal**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 38–45, 2002.

QUEIROZ, Rudney C. **Introdução à engenharia civil: história, principais áreas e atribuições da profissão**. São Paulo: Blucher, 2019.

RIYANTO, Indra *et al.* Motion sensor application on building lighting installation for energy saving and carbon reduction joint crediting mechanism. **Applied System Innovation**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 1–7, 2018.

RML. **13 COISAS QUE VOCÊ PRECISA SABER ANTES DE USAR UMA PISTOLA DE PINTURA PNEUMÁTICA**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://www.rmlmaquinas.com.br/loja/noticia.php?loja=762235&id=187>. Acesso em: 23 out. 2023.

RYU, Ju Hyeong *et al.* Health and productivity impact of semi-automated work systems in construction. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 120, 2020.

SANTOS, B P *et al.* INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES. **Revista Produção e Desenvolvimento**, [s. l.], n. 1, p. 111–124, 2018. Disponível em: <http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento>.

SANTOS, Lourival Santana; ARAÚJO, Ruy Belém de. A REVOLUÇÃO INDUSTRIAL. In: [S. l.: s. n.], [s. d.]. Disponível em: <http://www.coljxxiii.com.br>.

SHANMUGALINGAM, Kuruparan *et al.* Corporate IT-support Help-Desk Process Hybrid-Automation Solution with Machine Learning Approach. [s. l.], 2019. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/1909.09018>.

SHAREEF, Muffakham. A Review on Automation and Robotic Technology in Construction Industry. **International Journal of Science and Research**, [s. l.], 2023. Disponível em: www.ijsr.net.

SICILIANO, Bruno; KHATIB, Oussama. **Springer handbook of robotics**. [S. l.]: Springer, 2008.

SIDERSKA, Julia. The adoption of robotic process automation technology to ensure business processes during the COVID-19 pandemic. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 13, n. 14, 2021.

SIMON, Herbert Alexander. **The sciences of the artificial**. 3. ed. [S. l.: s. n.], 1996.

SONI, Amit Kumar *et al.* Modelling and thermal analysis for automobile piston using ANSYS. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, [s. l.], v. 17, n. 5, p. 2473–2487, 2023.

SOUSA, Alcineide Dutra Pessoa de. **Identificação e Quantificação de Deslocamento Cerâmico em Fachadas de Edifícios no Contexto da Indústria 4.0**. Belém: [s. n.], 2023.

STRUKOVÁ, Zuzana; LÍŠKA, Matej. APPLICATION OF AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION WORK EXECUTION a. **Interdisciplinary Research**, [s. l.], v. 2, p. 122–125, 2012.

THAMES, Lane; SCHAEFER, Dirk. Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *In:* , 2016. **Procedia CIRP**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2016. p. 12–17.

TORNADO MÁQUINAS. **Tipos de pistola de pintura: saiba suas diferenças e qual é a opção ideal para o seu projeto!**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://tornado.com.br/tipos-de-pistola-de-pintura/>. Acesso em: 23 out. 2023.

UNIVERSAL ROBOTS. **Understanding the differences between robotics and automation**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/blog/understanding-the-differences-between-robotics-and-automation/>. Acesso em: 26 mar. 2023.

UNIVERSIDADE DA INGLATERRA DO OESTE. **Domestic Architecture 1700 to 1960**. [S. l.], 2009. Disponível em: https://fet.uwe.ac.uk/conweb/house_ages/flypast/section11.htm. .

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. **Pintura e Vernizes**. 2020: [s. n.], 2020. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/MARCOSBESPALOFFJUNIO/tintas-e-vernizes-254602710>. Acesso em: 19 out. 2023.

VAISHNAVI, Vijay; KUECHLER, Bill; PETTER, Stacie. **DESIGN SCIENCE RESEARCH IN INFORMATION SYSTEMS**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://pdf4pro.com/cdn/design-science-research-in-information-systems-49ec1a.pdf>. Acesso em: 9 maio 2023.

VELOSO, Fernando *et al.* **Produtividade do trabalho no Brasil: uma análise dos resultados setoriais desde meados da década de 1990**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: https://ibre.fgv.br/sites/ibre.fgv.br/files/arquivos/u65/nota_de_construcao_dos_dados_de_emplo_e_horas_trabalhadas_-. .

VEMURI, Rajasrivalli; KANDULA, Shashidhar Reddy; BOBBILLA, Anil Kumar. Development of customized orthotic insole for leg length discrepancy using 3D printing. *In: , 2023. **Materials Today: Proceedings**. [S. l.]: Elsevier Ltd, 2023. p. 1652–1658.*

VERMA, Gaurav; WEBER, Matt. **Autodesk Fusion 360 Black Book**. [S. l.]: BPB Publications, 2018. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BYxjDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=autodesk+fusion+360&ots=KXZ4N05rTi&sig=dO69PrZSJ3vXkXTEsrVGOSGCs2Q#v=onepage&q=autodesk%20fusio n%20360&f=false>. Acesso em: 6 jun. 2023.

WAGNER, Hans Jakob *et al.* Flexible and transportable robotic timber construction platform – TIM. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 120, 2020.

WALLÉN, Johanna. **Technical report from Automatic Control at Linköpings universitet The history of the industrial robot**. [S. l.: s. n.], 2008.

WANG, Yue *et al.* Intelligent spraying robot for building walls with mobility and perception. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 139, 2022.

WANG, Zeli; LI, Heng; ZHANG, Xiaoling. Construction waste recycling robot for nails and screws: Computer vision technology and neural network approach. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 97, p. 220–228, 2019.

WATFA, Mohamed; BYKOVSKI, Alexander; JAFAR, Kamal. Testing automation adoption influencers in construction using light deep learning. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 141, 2022.

WILLCOCKS, Leslie; LACITY, Mary; CRAIG, Andrew. Robotic process automation: Strategic transformation lever for global business services?. **Journal of Information Technology Teaching Cases**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 17–28, 2017.

WILLMANN, Jan *et al.* Robotic timber construction - Expanding additive fabrication to new dimensions. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 61, p. 16–23, 2016.

WONG CHONG, Oscar *et al.* BIM-based simulation of construction robotics in the assembly process of wood frames. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 137, 2022.

WOOD, David Muir. **Civil engineering : a very short introduction**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2012. v. 1

WORLD ECONOMIC FORUM. **Shaping the Future of ConstructionInspiring innovators redefine the industry**. [S. l.: s. n.], 2017.

XU, Li Da; DUAN, Lian. Big data for cyber physical systems in industry 4.0: a survey. **Enterprise Information Systems**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 148–169, 2019.

YAMAZAKI, Yusuke; MAEDA, Junichiro. **The SMART system: an integrated application of automation and information technology in production processComputers in Industry**. [S. l.: s. n.], 1998.

YANG, Guang *et al.* Hallway exploration-inspired guidance: applications in autonomous material transportation in construction sites. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 128, 2021.

**APÊNDICE A – QUADRO DE INFORMAÇÕES DE PATENTES DA BASE DE
DADOS ESPACENET**

Nº	Título	Inventores	Aplicantes	Número de registro
1	Wall Integrated Robot Painter	EKENBERG TOR [NO]	TRALLFA ROBOT AS [NO]	CA2165665A1 CA2165665C
2	Wall-climbing painting robot	FANG HAITAO HUANG SHUGUANG WANG YINGLONG ZHAO TAO	SHANGHAI KUKU ROBOT CO LTD	CN219168732U
3	Multifunctional climbing wall painting robot	ZHANG QINGHUA JI WANLU SUN LIXIN SUN LINGYU LI MANHONG	LUOYANG SHENGRUI INTELLIGENT ROBOT CO LTD	CN106807575A CN106807575B
4	Multi -functional wall painting robot that climbs	ZHANG QINGHUA JI WANLU SUN LIXIN SUN LINGYU LI MANHONG	LUOYANG SHENGRUI INTELLIGENT ROBOT CO LTD	CN206701575U
5	Wall rotary sprayer structure for painting robot climbs	ZHANG QINGHUA JI WANLU LI MANHONG SUN LIXIN LI HAO	LUOYANG SHENGRUI INTELLIGENT ROBOT CO LTD	CN206701558U
6	Wall surface painting robot system	FUKUDA SUMIO GOKYU TAKUYA SUZUKI TOSHIAKI MIURA YUICHI	TOKYU KENSETSU KK ISHIKAWAJIMA HARIMA HEAVY IND	JP3600905B2 JPH08118263A
7	Wall painting robot	LI GEN YANG YI HU XINGXIN LI ZELUN ZHU RUIXIANG	SUZHOU XUNDONG GAS TECH CO LTD	CN217782747U
8	Wall surface painting robot	WANG QINGYUN JIAO ZHENZHEN DAI YANCHEN	WUHU CHAOYUANLI IND DESIGN CO LTD	CN107338948A
9	Wall painting robot	TANG AOFEI YANG GUIGENG YUAN ZHENYI GUO WEICHAO ZHANG BEN	UNIV XIAN TECHNOLOGY	CN211447648U
10	Wall painting robot	CHEN JIE	GUANGDONG HONGHUIJING TECH SERVICE CO LTD	CN109025197A

**APÊNDICE B - QUADRO DE INFORMAÇÕES DE PATENTES DA BASE DE
DADOS DA GOOGLE**

Nº	Título	Inventor(es)	Aplicante	Número de registro
1	Painting system	Shingi Takahashi, Fukuoka (JP)	Kabushiki Kaisha Yaskawa Denki, Kitakyushu-Shi (JP)	US 8,939,106 B2
2	Smart robot for preparation and painting buildings walls	Tavakolian, Amirhossein [IR/IR]	Tavakolian, Amirhossein [IR/IR]	WO 2021/191662 A1
3	Autonomous mobile coating applicator	Michael T. HARGADON	Hope Robotics LLC	US11673156B2
4	Surface-coating robot operating system and method thereof	Ehsan Asadil, Ming Chen	Transforma Robotics Pte Ltd	CN109261407B
5	Robotic painting booth and operating method	Scott J. Clifford	Fanuc America Corp	US11383258B2
6	Robotic apparatus for painting	Andrzej Grzegorz Bania Michael G. Beem James Bryon Gerds Marcin Gora Stan Henry McClosky David Michael Moore Matthew Ray Sikowski	Fanuc America Corp	US11529644B2
7	Robotic system for automated construction	Behrokh Khoshnevis	ATeT Delaware Intellectual Property Inc University of Southern California USC	US7641461B2
8	System for spraying a wall surface of a building and method thereof	Hui Eng LIM	Elid Technology International Pte Ltd	US11724275B2
9	Powder coating plant for coating a work piece with coating powder	Patrik STUDER USReinhard HALLER Eugen LOOS Ruslan SCHMIDT	Wagner International AG	US11577266B2
10	Indoor and outdoor aerial vehicles for painting and related applications	Robert L. Dahlstrom	Working Drones Inc	US10399676B2

