

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DANIEL DE SOUZA CAROLINO

AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DE ETIQUETAS DE QUALIDADE  
EM UNIDADES CONDENSADORAS DE AR

Manaus

2022

DANIEL DE SOUZA CAROLINO

AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DE ETIQUETAS DE QUALIDADE  
EM UNIDADES CONDENSADORAS DE AR

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação  
em Engenharia Mecânica da Universidade do  
Estado do Amazonas como requisito para a  
obtenção do título de Bacharel em Engenharia  
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Almir Kimura Jr.

Manaus

2022

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
**Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.**

C292aa Carolino, Daniel de Souza  
AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DE  
ETIQUETAS DE QUALIDADE EM UNIDADES  
CONDENSADORAS DE AR / Daniel de Souza Carolino.  
Manaus : [s.n], 2022.  
103 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022.  
Inclui bibliografia  
Orientador: Almir Kimura Junior

1. Automação. 2. Garra Robótica. 3. Sistema de Visão  
Computacional. 4. Protótipo. 5. Polo Industrial. I. Almir  
Kimura Junior (Orient.). II. Universidade do Estado do  
Amazonas. III. AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE  
APLICAÇÃO DE ETIQUETAS DE QUALIDADE EM  
UNIDADES CONDENSADORAS DE AR

**Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463**

DANIEL DE SOUZA CAROLINO

AUTOMAÇÃO DO PROCESSO DE APLICAÇÃO DE ETIQUETAS DE QUALIDADE  
EM UNIDADES CONDENSADORAS DE AR

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Mecânica e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Mecânica

Manaus, 21 de outubro de 2022.

Nota obtida: 10,0 ( Dez pontos )

**Banca Examinadora:**



Almir Kimura Junior  
Orientador(a)

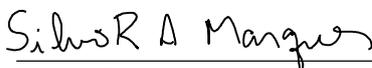
Instituição: Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Antonio Claudio Kieling  
Matrícula P205911 - EST/UEA  
CREA/AM: 24794 - CRA/AM: 1-11264

Prof. Antônio Cláudio Kieling, Dr.  
Avaliador

Instituição: Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Silvio Romero Adjar Marques, Me.  
Avaliador

Instituição: Universidade do Estado do Amazonas

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, por ter me dado saúde e forças para superar cada etapa da minha caminhada.

Agradeço a minha pessoa, Daniel de Souza Carolino por suportar todos os momentos de tensão durante o curso de graduação em Engenharia Mecânica, por ter superado todas as dificuldades desta caminhada e me tornado o profissional que sou hoje em constante evolução.

Agradeço aos meus pais, Edvaldo e Áurea, por me proporcionarem educação, humildade, caráter e por todo apoio e ajuda que me forneceram com seus esforços, permitindo que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço ao meu orientador e amigo Professor Dr. Almir Kimura Junior, que acreditou em mim em 2019 para como seu aprendiz na criação dos primeiros esboços do que se tornou o Laboratório de Prototipagem do projeto Ocean 2.0, e desde então viemos trabalhando juntos, agradeço por suas orientações e parte de seus conhecimentos passados a mim, que me proporcionaram atuar profissionalmente como Desenvolvedor Mecânico da Fundação Paulo dos Anjos Feitosa.

Aproveito para agradecer todos os professores que participaram da minha caminhada, fornecendo o conhecimento e tempo necessário para que eu chegasse aonde estou hoje. Agradeço em especial o professor Otoniel da Cunha Mendes o qual acreditou na minha capacidade desde o começo da faculdade, abrindo portas para que eu me torna-se monitor de suas disciplinas.

Também agradeço em especial ao meu irmão Adriano, por suas palavras de sabedoria quando reprovei nas disciplinas de Física I e Cálculo I, no primeiro período do curso, a conversa e os conselhos ditos me proporcionaram crescer pessoalmente e academicamente.

A todos os amigos que fiz neste período dentro e fora da faculdade, os quais são exemplos de resiliência, persistência e dedicação, deixo minha gratidão por proporcionarem momentos e conversas, de evolução e de diversão. Agradeço a todos os colegas que dividi turma em algum momento dessa jornada.

Por fim, agradeço a Universidade do Estado do Amazonas por ter me possibilitado à tantas oportunidades e experiências, por sua estrutura e seus laboratórios.

## RESUMO

Com a evolução da Indústria 4.0, a automação na indústria tem se intensificado e auxiliado o homem na melhoria de processos de produção, reduzindo as atividades que envolvem esforços físicos repetitivos por parte dos colaboradores, e realocando a participação humana no monitoramento e criação soluções para problemas inesperados e tomadas decisão.

Utilizando o fundo de verba pública da Lei de Informática n.º 8.387, este projeto buscou a criação de uma solução para uma fábrica de ar-condicionado de uma empresa multinacional sul-coreana do Polo Industrial de Manaus, onde existe uma linha de produção, na qual é manufaturado um componente do produto, chamada *outdoor* ou unidade condensadora. Em um dos postos de trabalho dessa linha, o operador responsável realiza as seguintes atividades: recebe as etiquetas de identificação em rolos, separa-as manualmente e as prepara para utilização, e em paralelo as unidades condensadoras se movimentam na linha de forma automática, por meio de uma esteira, que ao chegar em posto específico, o operador aplica a etiqueta em sua lateral em movimento. Após as inspeções de qualidade de posicionamento da etiqueta, o operador julga se o produto deverá seguir no processo ou se será necessário retirar a etiqueta e reaplicá-la. Tal linha de produção possui um índice de produção por hora de 300 unidades e uma taxa de erros no processo de aplicação de etiquetas de 2%, por motivos de qualidade da etiqueta ou posicionamento, totalizando 6 erros por hora.

Nesse contexto, foi desenvolvido um protótipo funcional para automação do processo descrito, atuando no mesmo ritmo da linha de produção, destacando a implementação de uma garra robótica trabalhando em conjunto com um sistema de visão computacional para aplicação e inspeção da qualidade de impressão das etiquetas e seu posicionamento nas unidades condensadoras respectivamente, que após a sua implementação, trabalhando no mesmo ritmo da linha de produção, apresentou 1 realocação de mão de obra humana e redução na taxa de erros de aplicação de etiquetas, de 2% para 0,01% por hora, totalizando 0,03 erros por hora.

**Palavras-chave:** Automação; Garra Robótica; Sistema de Visão Computacional; Protótipo; Polo Industrial; Produção.

## ABSTRACT

With the evolution of industry 4.0 automation in the industry has intensified and assists man in improving production processes, human activities that involve repetitive physical exercises by employees, and reallocating participation in monitoring and creating solutions for unexpected problems and decision (MOURA, 2019).

Using the public funds of the Informatics Law n.º 8.387, this project sought to create a solution for an air conditioning factory of a South Korean multinational company in the Industrial Pole of Manaus, where there is a production line, in which a product component, called an outdoor or condensing unit, is manufactured. At one of the workstations on this line, the responsible operator performs the following activities: he receives the identification labels in rolls, manually separates them and prepares them for use, and in parallel the condensing units move on the line automatically, for by means of a conveyor belt, which, when arriving at a specific station, the operator applies the label on its moving side. After the label positioning quality inspections, the operator judges whether the product should continue in the process or whether it will be necessary to remove the label and reapply it. This production line has an hourly production rate of 300 units and an error rate in the label application process of 2%, for reasons of label quality or positioning, totaling 6 errors per hour.

In this context, the motivation for research and development of a functional prototype for the automation of the described process emerged, working at the same pace as the production line, highlighting the implementation of a robotic gripper working together with a computer vision system for the application and inspection of the printing quality of the labels and their positioning in the condensing units, respectively, which after its implementation, working at the same pace as the production line, showed 1 reduction in human labor and an extreme reduction in the rate of label application errors, out of 2 % to 0.01% per hour, totaling 0.03 errors per hour.

**Keywords:** Automation. Robotic Gripper. Computer Vision System. Prototype. Industrial Pole. Production.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etiquetas QUALITY e WARNING das unidades condensadoras.....	16
Figura 2 - Critérios de qualidade para o posicionamento das etiquetas no condensador .....	17
Figura 3 - Resumo da Arquitetura de um CLP .....	21
Figura 4 - Estrutura do manipulador .....	22
Figura 5 - Robô Articulado Colaborativo UR10e .....	24
Figura 6 - Representação de uma matriz M x N de uma imagem digital .....	25
Figura 7 - Eixo de coordenadas de uma imagem digital .....	26
Figura 8 - Etapas de um Sistema de Visão Artificial. ....	27
Figura 9 - Fluxograma de desenvolvimento do projeto.....	33
Figura 10 - Local atual de aplicação manual de etiquetas .....	35
Figura 11 - Primeiro local sugerido para instalação da automação .....	36
Figura 12 - Etiquetas QUALITY com falhas .....	37
Figura 13 - Etiqueta WARNING com falha.....	37
Figura 14 - Início de um esboço no <i>Creo Parametrics</i> .....	40
Figura 15 - Criação do Esboço 2D no <i>Creo Parametrics</i> .....	41
Figura 16 - Criação da geometria de referência no <i>Creo Parametrics</i> .....	41
Figura 17 - Inserção das funções auxiliares no <i>Creo Parametrics</i> .....	42
Figura 18 - Aplicação da ferramenta "ponto" no <i>Creo Parametrics</i> .....	42
Figura 19 - Uso da ferramenta "furo" no <i>Creo Parametrics</i> .....	43
Figura 20 - Peça de fixação final obtida .....	43
Figura 21 - Vista em perspectiva do primeiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.....	44
Figura 22 - Vistas do primeiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula. ....	45
Figura 23 - Segundo local sugerido para a instalação da célula.....	46
Figura 24 - Ar-condicionados na saída da sala LQC parcialmente montados.....	46
Figura 25 - Vista em perspectiva do segundo conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.....	47
Figura 26 - Vistas superior e lateral do segundo conceito da estrutura mecânica e de automação.....	48
Figura 27 - Vistas em perspectiva do terceiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.....	49

Figura 28 - Vista superior do terceiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.....	50
Figura 29 - Vistas do quarto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.....	51
Figura 30 - Vista frontal do quinto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula. .....	52
Figura 31 - Vista adicionais do quinto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.....	52
Figura 32 - Vistas do sétimo conceito da estrutura mecânica e de automação da célula. ....	53
Figura 33 - Vistas em perspectiva do sétimo conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.....	54
Figura 34 - Estrutura principal do sexto conceito da célula. ....	54
Figura 35 - Sistema de referenciamento mecânico das unidades condensadoras.....	56
Figura 36 - Modelamento 3D dos chassis das unidades condensadoras. ....	56
Figura 37 - Modelamento 3D dos tubos <i>biconnects</i> e conexões. ....	57
Figura 38 - Funcionamento do sistema de referenciamento mecânico das unidades condensadoras.....	57
Figura 39 - Segunda versão do sistema de referenciamento mecânico das unidades condensadoras.....	58
Figura 40 - Sistema de elevação do palete. ....	59
Figura 41 - Gaveta do dispensador de etiquetas WARNING.....	59
Figura 42 - Gaveta da impressora de etiquetas QUALITY.....	60
Figura 43 - Projeto da Estrutura de Enclausuramento.....	60
Figura 44 - Prova de conceito de captura da etiqueta.....	61
Figura 45 - Primeira versão da garra de captura a aplicação das etiquetas. ....	62
Figura 46 - Desenvolvimento da base do braço robótico. ....	63
Figura 47 - Prova de conceito do sistema de visão para a inspeção das etiquetas WARNING e QUALITY. ....	64
Figura 48 - Testes realizados de inspeção de qualidade das etiquetas. ....	65
Figura 49 - Testes de leitura dos códigos de barras das etiquetas. ....	65
Figura 50 - Posicionamento das luminárias e da câmara de inspeção de imagem. ....	67
Figura 51 – Posicionamento da garra para captura da etiqueta QUALITY. ....	67
Figura 52 - Posicionamento das luminárias e da garra para captura da etiqueta WARNING. ....	68
Figura 53 - Desenvolvimento do mecanismo de retirada da etiqueta QUALITY.....	68

Figura 54 - Reposicionamento do sensor de movimentação do dispensador das etiquetas WARNING.....	69
Figura 55 - Nova garra de captura das etiquetas (Lado da etiqueta QUALITY). ....	69
Figura 56 - Nova garra de captura das etiquetas (Lado da etiqueta WARNING).....	70
Figura 57 — Configurações de posicionamento da nova garra de aplicação das etiquetas. ....	70
Figura 58 - Primeiro conceito do software de gerenciamento da célula. ....	71
Figura 59 - Segundo conceito do software de gerenciamento da célula. ....	73
Figura 60 - Terceiro conceito do software de gerenciamento da célula.....	74
Figura 61 - Tela de simulação das principais funções do software .....	75
Figura 62 - Tela de monitoramento dos subprogramas. ....	76
Figura 63 - Testes iniciais de funcionamento do dispensador e da impressora.....	77
Figura 64 - Teste de impressão da etiqueta QUALITY.....	78
Figura 65 - Detalhe dos leitores para o teste de impressão da etiqueta QUALITY. ....	78
Figura 66 - Montagem em bancada da garra no braço robótico.....	79
Figura 67 - Testes em bancada da iluminação e das câmeras. ....	79
Figura 68 - Teste de saída da impressora com cantoneira de apoio. ....	80
Figura 69 - Teste de saída da impressora com base impressa via 3D. ....	81
Figura 70 - Teste de saída da impressora com base usinada em Poliacetal.....	81
Figura 71 - Teste funcional do mecanismo de retirada da etiqueta QUALITY. ....	82
Figura 72 - Ciclo de captura e aplicação das etiquetas na unidade condensadora. ....	83

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resumo dos requisitos da célula de aplicação automática de etiquetas. ....	38
Tabela 2 - Dados de Produção Médios .....	85
Tabela 3 - Dados de Produção Reais .....	86

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Quantidade de robôs trabalhando a cada 10.000 empregados na industrial em 2019 .....	30
Gráfico 2 - Dados de produção em função do índice de falhas .....	87
Gráfico 3 - Dados de produção em função do número de etiquetas descartadas .....	87

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1.	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....	15
1.2.	HIPÓTESE .....	15
1.3.	JUSTIFICATIVA .....	16
1.4.	OBJETIVOS .....	18
<b>1.4.1.</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.2.</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>1.4.3.</b>	<b>Organização do Trabalho .....</b>	<b>19</b>
<b>2.</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>20</b>
2.1.	AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL .....	20
2.2.	SENSORES E ATUADORES.....	20
2.3.	CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS.....	21
2.4.	MANIPULADORES ROBÓTICOS .....	21
<b>2.4.1.</b>	<b>Características dos Manipuladores Robóticos.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4.2.</b>	<b>Juntas e Elos.....</b>	<b>23</b>
<b>2.5.</b>	<b>Robótica Colaborativa.....</b>	<b>23</b>
2.6.	CAD/CAM.....	24
2.7.	PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM.....	24
<b>2.7.1.</b>	<b>Imagem Digital.....</b>	<b>25</b>
<b>2.7.2.</b>	<b>Sistema de Visão Artificial.....</b>	<b>26</b>
2.7.2.1.	Aquisição .....	27
2.7.2.2.	Pré-Processamento.....	28
2.7.2.3.	Segmentação .....	28
2.7.2.4.	Extração de Caracteres .....	28
2.7.2.5.	Reconhecimento e Interpretação.....	29

2.8.	A INDÚSTRIA 4.0.....	29
2.9.	AUTOMAÇÃO NO BRASIL .....	29
2.10.	A NR12 APLICADA À AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	30
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
3.1.	ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL .....	35
3.2.	FUNÇÃO BÁSICAS DO <i>SOFTWARE CREO PARAMETRICS</i> .....	40
3.3.	PRIMEIRO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO.....	44
3.4.	SEGUNDO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO.....	47
3.5.	TERCEIRO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO .....	48
3.6.	QUARTO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO .....	51
3.7.	QUINTO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO .....	51
3.8.	SEXTO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO .....	53
3.9.	DETALHAMENTO DOS MÓDULOS DA CÉLULA .....	55
<b>3.9.1.</b>	<b>Painel Pneumático do Braço Robótico.....</b>	<b>55</b>
<b>3.9.2.</b>	<b>Fixadores das Câmeras .....</b>	<b>55</b>
<b>3.9.3.</b>	<b>Referenciamento Mecânico.....</b>	<b>55</b>
<b>3.9.4.</b>	<b>Módulo de Impressoras e Dispensador de Etiquetas .....</b>	<b>59</b>
3.10.	ESTRUTURA DE ENCLAUSURAMENTO .....	60
3.11.	GARRA DO BRAÇO ROBÓTICO .....	61
3.12.	BASE DE FIXAÇÃO DO BRAÇO ROBÓTICO .....	62
3.13.	INSPEÇÃO DE QUALIDADE DAS ETIQUETAS.....	63
3.14.	PRIMEIRO CONCEITO DE <i>SOFTWARE</i> E GERENCIAMENTO DA CÉLULA.....	71
3.15.	SEGUNDO CONCEITO DE <i>SOFTWARE</i> E GERENCIAMENTO DA CÉLULA.....	71
3.16.	TERCEIRO CONCEITO DE <i>SOFTWARE</i> E GERENCIAMENTO DA CÉLULA.....	73
3.17.	<i>THREADS</i> PARA AS PRINCIPAIS FUNÇÕES .....	75

3.18.	TESTES FUNCIONAIS .....	76
3.19.	TESTES SISTEMICOS .....	82
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>89</b>
	<b>APÊNDICE – DESENHOS TÉCNICOS DAS PEÇAS PROJETADAS.....</b>	<b>94</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, as soluções utilizando os pilares da indústria 4.0 desempenham um papel importante na busca pela automação de fabricação, eficiência operacional, alta produtividade, segurança e redução de custos. (KODA, A. (2021)). Elas possuem várias configurações, dependendo do grau de automação, desde sistemas totalmente autônomos, que geralmente são utilizados para operações de alto volume, dedicados e repetitivos, até os sistemas semiautônomos, que exigem algum nível de envolvimento humano. (MALDANER, D. (2021)). Outras aplicações auxiliam os fabricantes a realizar certas operações com alto grau de precisão que o ser humano não consegue realizar, reduzindo assim as margens de erro e posterior retrabalho e/ou descarte. (FRANCISCHINI, A. S., *et al.* (2018)).

Com o avanço das tecnologia de fabricação, as empresas do Polo Industrial de Manaus vêm procurando diversificar e aprimorar seus produtos com rapidez e dinamicidade, para atender às demandas do mercado e gerar emprego e renda para a região. (SANTOS, L. R. D. (2021)). E para atender essa crescente demanda é necessário desenvolver e prototipar processos novos que permitam com que esses produtos possam ganhar novas técnicas de fabricação. (FACHIN, V. F. D. S. (2021)).

### 1.1.DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A aplicação manual das etiquetas de identificação aplicadas às unidades condensadoras não segue um padrão de qualidade estabelecido pela engenharia de processo e produto podendo gerar variações na posição e orientação a serem aplicadas, além de complicações ergonômicas ao operador responsável pela atividade.

### 1.2. HIPÓTESE

É possível automatizar o posto de aplicação de etiquetas de identificação de produtos na unidade externa dos refrigeradores atendendo a atividade dentro dos padrões de qualidade estabelecidos pela empresa?

### 1.3.JUSTIFICATIVA

A unidade fabril de uma multinacional sul-coreana, localizada no Polo Industrial de Manaus-AM, possui uma linha de produção de condensadores, que são as unidades externas dos aparelhos condicionadores de ar modelo Split, composta de várias etapas. Uma etapa escolhida para a realização deste projeto foi o processo de aplicação das etiquetas de identificação nas unidades.

As etiquetas de identificação, conforme exemplificadas na Figura 1, são colocadas na parte lateral das unidades condensadoras. A primeira é uma etiqueta de identificação chamada Etiqueta QUALITY e a segunda é uma etiqueta de informações gerais, chamada Etiqueta WARNING

Figura 1 – Etiquetas QUALITY e WARNING das unidades condensadoras.



Fonte: Autor

Nesse sentido, o processo de colocação de etiquetas é realizado de forma completamente manual, conforme os seguintes passos:

- O operador responsável por essa atividade recebe as etiquetas de identificação em rolos, separa-as manualmente e as prepara para utilização;
- As unidades condensadoras se movimentam na linha de forma automática, por meio de uma esteira;
- O operador pega as etiquetas individualmente, separa a parte adesiva fica aguardando a chegada da unidade condensadora;
- Quando a unidade condensadora chega no posto específico, o operador aplica a etiqueta na lateral da unidade condensadora, em movimento.

Para manter os padrões do produto, os critérios de qualidade determinam que as etiquetas devem ser colocadas em uma posição específica, conforme mostrado na Figura 2, extraída do guia de inspeção do produto, onde as etiquetas de identificação do condensador devem estar posicionadas de acordo com as indicações das setas vermelhas e amarelas.

Figura 2 - Critérios de qualidade para o posicionamento das etiquetas no condensador



Fonte - Autor

No processo atual, com um tempo de ciclo de 9 segundos para esses postos da linha de produção, é necessário 1 operador para colocar cada uma dessas 2 etiquetas, totalizando 2

operadores por turno. O índice de falha operacional dessa colocação manual de etiquetas é na ordem de 0,2% de falhas, incluindo colocação inadequada ou danificação das etiquetas.

Diante do cenário descrito, este projeto tem por motivação a pesquisa e o desenvolvimento experimental de uma célula de automação que visa o aperfeiçoamento tecnológico da etapa manual de inserção de etiquetas, por meio de uma solução automatizada composta por uma célula produtiva que realize a operação de colocação da etiqueta de identificação das unidades condensadoras da unidade fabril. Com isso, espera-se gerar o impacto de redução de ações humanas e respectiva realocação destes recursos em outras atividades, bem como a redução dos problemas inerentes a ação humana no processo e de saúde possibilitando uma redução do risco de falhas relacionadas a essa operação, contribuindo com a eficiência da produção.

## 1.4. OBJETIVOS

### 1.4.1. Objetivo Geral

Pesquisar e desenvolver uma solução de automação destinada ao processo de aplicação de etiquetas nas unidades condensadoras do produto ar-condicionado, que reduza o risco de falhas relacionadas a essa operação, que seja capaz de contribuir com a eficiência da produção através da padronização da operação e disponibilize dados de informações dos estágios de operação da máquina para a integração com os sistemas de gerenciamento de produção, alinhados com os conceitos da indústria 4.0.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

Desenvolver o projeto do trabalho através das seguintes etapas:

- Criação do conceito do protótipo do sistema automatizado;
- Desenvolvimento e criação de um modelo 3D do protótipo utilizando o software de modelagem *Creo Parametrics* baseado na tecnologia CAD/CAM;
- Desenvolvimento de desenho técnico 2D de todas as partes mecânicas do protótipo;
- Desenvolvimento do conceito de software de operação do protótipo;
- Desenvolvimento das telas de simulação das principais funções do protótipo utilizando a ferramenta *LabVIEW* e a linguagem de programação *Python*;

- Integração do *Hardware* e *Software*;
- Realização de testes funcionais e sistêmicos, para a confirmação do correto funcionamento do protótipo.

### **1.4.3. Organizando do Trabalho**

O presente trabalho se divide em 4 capítulos para o melhor entendimento do leitor, além das conclusões e apêndices. A divisão ocorre da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução: Neste capítulo são apresentadas as informações gerais do trabalho, sua motivação, suas hipóteses e justificativas e os objetivos a serem alcançados.
- Capítulo 2 – Referencial Teórico: Neste capítulo serão abordadas teorias e pesquisas utilizadas no desenvolvimento do trabalho. Serão explanados todos os conhecimentos necessários para a criação de um protótipo de célula de automação para aplicação de etiquetas nas unidades condensadoras de ar-condicionado.
- Capítulo 3 – Metodologia: O presente capítulo trata de todos os materiais e tecnologias utilizadas no decorrer do desenvolvimento do projeto, assim como os métodos empregados na resolução dos problemas levantados durante a fase de pesquisa e análise do cenário atual.
- Capítulo 4 – Resultados e Conclusões: Definições do que foi concluído com base nos resultados obtidos, suas contribuições para o meio industrial e uma perspectiva para trabalhos futuros a serem desenvolvidos com base no presente projeto, descrevendo dificuldades e oportunidades de melhoria.
- Apêndices: Informações adicionais do material desenvolvido ao longo do trabalho, para melhor compreensão por parte do leitor.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

A automação industrial é um processo sistemático que envolve informatização e programação mecânica com o objetivo de otimizar o processo produtivo, tal sistema requer operação humana. Automação industrial refere-se ao uso de avanços tecnológicos adaptados ao processo de fabricação de um produto, melhorando a conectividade das diferentes etapas de processos realizados de forma manual, garantindo assim uma ótima relação custo-benefício (SILVA, 2020).

A programação em automação é dividida em três tipos, automação fixa, que se caracteriza pelo fato de a configuração do equipamento ser fechada, ou seja, uma vez finalizado seu projeto de configuração, não pode ser alterado para a fabricação de produtos específicos. (DE CAMARGO, 2014). A automação programável, em que os produtos têm a capacidade de alterar a ordem para ter diferentes configurações de produtos, é frequentemente usada para fabricar produtos que não estão em alta demanda. A automação flexível é a automação que combina recursos de automação fixos e programáveis para a produção de vários produtos em várias configurações diferentes (MAXIMILIANO, 2021).

## 2.2. SENSORES E ATUADORES

Sensores são dispositivos capazes de reagir à estímulos energéticos que podem ser luminosas, térmica, cinética, de forma a relacionar informações sobre uma determinada grandeza física que precisa ser aferida (mensurada) com a natureza do estímulo, como por exemplo: temperatura, pressão, velocidade, tensão, posição, dentre outras. Um sensor nem sempre possui as características necessárias para leitura direta de uma fonte de estímulo energético, sendo necessário a manipulação desta leitura (geralmente feita através de um circuito elétrico auxiliar) de forma a produzir uma interface que possibilite a interpretação deste sinal pelo controlador. (WENDLING, 2010).

Segundo JEFFERSON (2022), um atuador é um dispositivo mecânico capaz de realizar movimentações ou o controle de cargas mecânicas. Todo atuador necessita de um acionamento, podendo ser de natureza elétrica, pneumática, hidráulica ou através da temperatura. A energia é então convertida em força motriz para mover o mecanismo e realizar a operação desejada.

## 2.3. CONTROLADORES LÓGICO PROGRAMÁVEIS

Os controladores lógicos programáveis (CLPs) são a tecnologia de controle de processos industriais mais utilizada atualmente. Estes dispositivos funcionam como um

computador industrial que pode ser programado para executar várias funções, reduzindo bastante a quantidade de cabos associada aos circuitos de controle em comparação aos circuitos tradicionais à relé, oferecendo benefícios ao processo, tais como a facilidade de programação e instalação, o controle de alta velocidade, a compatibilidade de rede, facilidade de solução de problemas e testes e alta confiabilidade. (PETRUZELLA, 2014).

Figura 3 - Resumo da Arquitetura de um CLP



Fonte: Branqs Automação

[https://www.branqs.com.br/informacoes\\_O\\_que\\_e\\_CLP.html](https://www.branqs.com.br/informacoes_O_que_e_CLP.html)

## 2.4. MANIPULADORES ROBÓTICOS

Manipuladores robóticos podem ser definidos como dispositivos mecânicos controlados por *softwares* cuja finalidade é especificada em função do processo a ser automatizado. Além disso, manipuladores robóticos podem usar sensores para auxiliar na orientação e movimentação de seus componentes em uma variedade de situações pré-determinadas (SIMPLÍCIO, P. & LIMA, B., 2016).

Os manipuladores robóticos surgiram com o objetivo de substituir ações humanas em processos produtivos insalubres, arriscados ou processos no qual o produto possuísse alta complexidade, de forma a padronizar o processo com agilidade, precisão e maior qualidade (GAMERO, 2018).

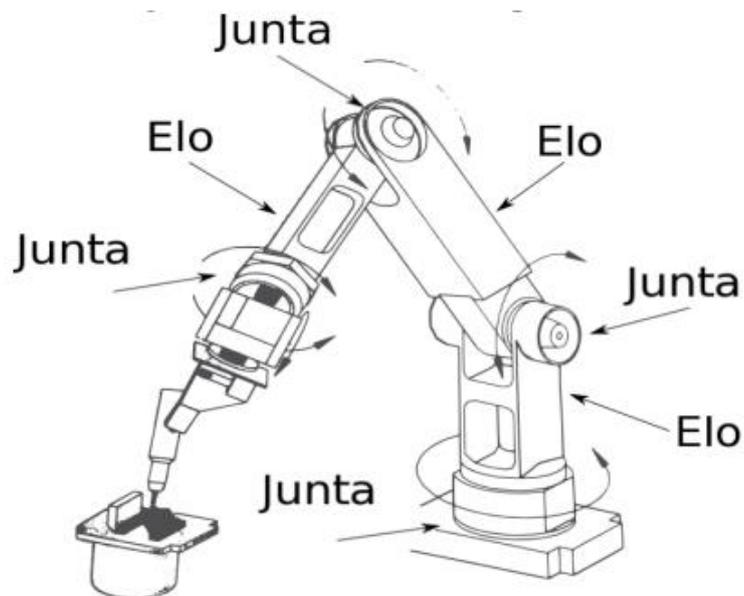
Os manipuladores geralmente são antropomórficos, o que significa que se assemelham a braços humanos. Ao analisar a estrutura de um manipulador robótico, pode-se

identificar o tronco, braços, antebraços, mãos e suas articulações flexíveis que podem ser definidas como ombros, cotovelos e punhos (CAMPBELL et al., 2008).

#### 2.4.1. Características dos Manipuladores Robóticos

De modo geral os manipuladores robóticos são sistemas mecânicos compostos por elos, juntas e atuadores, sejam eles elétricos ou pneumáticos, para movimentação de ferramentas e peças de um ponto a outro ou seguir trajetórias, que podem ser reconfiguradas. (SCHMIDT, 2021). O elo é o elemento estrutural do robô e deve ter rigidez dimensionada para garantir a precisão adequada do sistema. As juntas conectam os elos e são responsáveis pelos graus de liberdade do sistema, podendo ser rotacionais ou prismáticas (RODRIGUES et al., 1999).

Figura 4 - Estrutura do manipulador



Fonte: Laboratório de eletrônica

<http://labdeeletronica.com.br/robos-de-classe/>

Existem cinco classes principais de robôs manipuladores, segundo o tipo de juntas (de rotação ou de revolução -R-, ou de translação ou prismáticas -P-), o que permite diferentes possibilidades de posicionamento no volume de trabalho. As cinco classes ou geometrias principais de um robô são: cartesiana, cilíndrica, polar (ou esférica), de revolução (ou articulada) e SCARA (*Selective Compliant Articulated Robot for Assembly*). (BASTOS & FERRARI, 2014).

#### 2.4.2. Juntas e Elos

As juntas são os componentes que permitem o movimento do manipulador, ou seja, garantem os graus de liberdade do mecanismo, e por razões mecânicas, há preferência por juntas com apenas um grau de liberdade, mais comumente juntas prismáticas, que assumem movimento deslizante e articulações de rotação, que realizam movimento de rotação em torno de um eixo (ROMANO, 2002).

Os corpos que dão o tamanho dos braços são denominados de elos e são unidos garantindo que as juntas movam em relação à estrutura. Dependendo do uso e das necessidades operacionais do braço, ativadores, sensores ou ferramentas são acoplados aos elos e juntas, controlados pelo sistema de controle. Os elos possuem várias propriedades que podem ser definidas pelo projeto, porém, na análise cinemática, para obter relações e expressões, os elos são considerados como corpos rígidos que definem a relação entre dois eixos de junta adjacentes. Geralmente, para representações, eles podem ser definidos como linhas ou vetores no espaço entre as juntas. (CRAIG, 2012).

#### 2.5. ROBÓTICA COLABORATIVA

Desde o início do século XXI a pesquisa para soluções de trabalho que relacionem a interação humano-máquina aumentou notavelmente, com o objetivo de desenvolver manipuladores com maior flexibilidade, velocidade de produção e fácil programação, combinando processos semi ou totalmente automatizados com a flexibilidade, sensibilidade e destreza humana. Este ramo de pesquisa e desenvolvimento foi denominado robótica colaborativa. (DIANATFAR et.al, 2021)

O robô UR10e da empresa *Universal Robots* é um dos projetos mais populares de robôs articulados colaborativos e foi projeto para atuar na manipulação das mais diversas ferramentas em linhas de produção, alimentação de máquinas, paletização e empacotamentos, entregando alta capacidade de carga (12,5 kg) e longo alcance (1300mm). (*Universal Robots*, 2022)

Figura 5 - Robô Articulado Colaborativo UR10e



Fonte: *Universal Robots*

<https://www.universal-robots.com/br/produtos/ur10/>

## 2.6. CAD/CAM

CAD (*Computer Aided Design*) ou em português, Desenho Assistido por Computador é o termo utilizado para se referir a *softwares* que auxiliam na formulação de desenhos/projetos em ambiente digital por meio de gráficos gerados por computador. Os softwares CAD são amplamente conhecidos e utilizados por arquitetos e engenheiros de diversas indústrias do mercado, capazes de gerar geometrias 2D ou 3D a partir das coordenadas X, Y e Z. Ao desenvolver um projeto com essas ferramentas, o usuário transfere a representação gráfica dos elementos estruturais do papel e do lápis para um ambiente digital, tornando mais prático o desenvolvimento e até o ajuste do projeto em desenvolvimento sem retrabalho, como um processo manual e tradicional (papel e lápis). (SPBIM, 2019).

## 2.7. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM

Segundo BOHRER (2021), o processamento digital de imagens é um campo que inclui processos em que a entrada e a saída são imagens e, além disso, processos que extraem recursos de imagens e realizam o reconhecimento de objetos individuais, podendo ser

dividido em três níveis, sendo eles, o processamento de baixo nível, de médio nível e de alto nível.

O processamento de baixo nível é caracterizado por operações simples relacionadas ao pré-processamento de imagens. Nesse nível, tanto a entrada quanto a saída do processo são imagens. O processamento de médio nível inclui operações como segmentação, descrição de objeto e classificação para cada objeto. Geralmente, a entrada para processos de nível médio são imagens, mas sua saída são recursos extraídos dessas imagens. O processamento avançado, por sua vez, envolve a análise do significado de um conjunto de objetos reconhecidos, realizando tarefas cognitivas tipicamente associadas ao sistema visual.

### 2.7.1. Imagem Digital

Segundo BALAN (2009), converter uma imagem para o formato digital significa converter os elementos que compõem a imagem em elemento representam cada pequeno fragmento da imagem original. O menor elemento de uma imagem, um pixel, é identificado com base em sua intensidade de tons de cinza e cor correspondente. Uma vez identificados, esses elementos são armazenados por um código que pode ser reconhecido por um dispositivo de exibição e renderizado novamente por um dispositivo de exibição, como um monitor de vídeo ou uma impressora. Os códigos de cada pixel são armazenados em bit, que é definido como sendo a menor unidade de informação digital: 1 byte equivale a 8 bits. As imagens digitais são nomeadas pelo número de bits que a representam, atrelando-os a quantidade de cores possíveis para cada pixel.

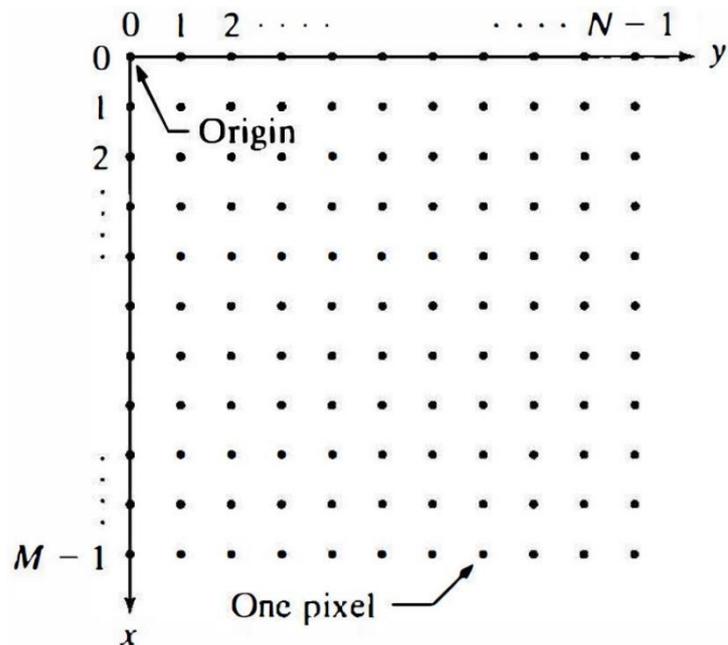
Segundo GOZALES E WOODS (2008), uma imagem digital pode ser representada por uma matriz  $M \times N$ , conforme a figura a seguir.

Figura 6 - Representação de uma matriz  $M \times N$  de uma imagem digital

$$A = \begin{bmatrix} a_{0,0} & a_{0,1} & \dots & a_{0,N-1} \\ a_{1,0} & a_{1,1} & \dots & a_{1,N-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{M-1,0} & a_{M-1,1} & \dots & a_{M-1,N-1} \end{bmatrix}$$

Dessa forma em um sistema de coordenadas  $x,y$ , a origem de uma imagem digital se localiza no canto superior esquerdo, com o valores de  $x,y$  aumento da esquerda para baixo e da esquerda para direita respectivamente.

Figura 7 - Eixo de coordenadas de uma imagem digital

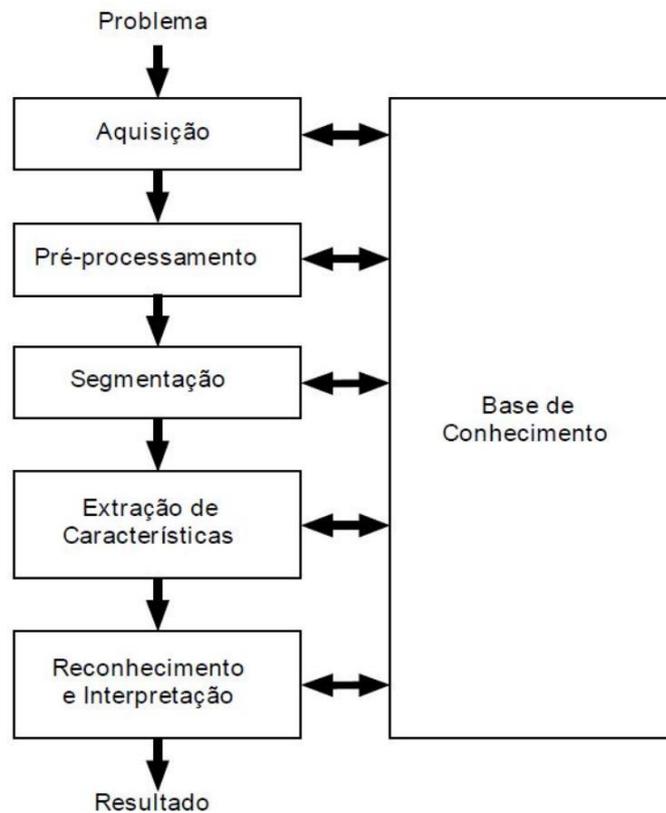


Fonte – GONZALES et al. (2009)

### 2.7.2. Sistema de Visão Artificial

Um sistema de visão artificial consiste basicamente em um modelo computacional cuja função é realizar a aquisição, processamento e interpretação de imagens. Segundo MARQUES E VIEIRA (1999). As principais etapas do sistema de visão artificial são:

Figura 8 - Etapas de um Sistema de Visão Artificial.



Fonte – MARQUES E VIEIRA (1999)

### 2.7.2.1. Aquisição

O processo de aquisição inclui a conversão das imagens em uma representação digital adequada para processamento digital. A aquisição de imagens consiste em um dispositivo físico sensível à faixa de energia eletromagnética que gera um sinal elétrico proporcional ao nível de energia detectado, e um digitalizador cuja finalidade é converter o sinal elétrico analógico em um sinal digital (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

As imagens são geradas por uma combinação de fontes de luz e elementos de cena refletindo ou absorvendo energia eletromagnética. Esta imagem é captada por um sensor que converte a energia luminosa em níveis de tensão (MISHRA et al., 2017).

Um dos fatores mais importantes para o processo de aquisição é o sistema de iluminação, uma vez que seu objetivo é realizar a otimização de contrastes da imagem possibilitando a maximização da escala de intensidade presente no ambiente em contraste com o objeto de interesse. Para isso a iluminação deve ser aplicada de forma homogênea na

área de aquisição, eliminando quaisquer sombras, pois podem ocasionar erros na captura (FERRON, 2000).

#### 2.7.2.2.Pré-processamento

Na etapa de pré-processamento, a qualidade da imagem é aprimorada para as etapas seguintes. As operações realizadas nesta etapa trabalham diretamente com valores de intensidade de pixel, podendo ser divididas em duas categorias: métodos que operam no domínio espacial, que são baseados em filtros aplicados ao plano da imagem, e métodos que operam no domínio da frequência, que são baseados em filtros aplicados no espectro da imagem, convertendo uma imagem colorida para uma imagem em níveis de cinza (ESQUEF et al., 2003).

#### 2.7.2.3.Segmentação

Segundo GONZALEZ e WOODS (2008), o processo de segmentação é responsável por subdividir a imagem para detectar objetos e regiões de interesse. A maioria das técnicas de segmentação são baseadas na similaridade ou descontinuidade dos valores de intensidade de pixel. As técnicas baseadas em similaridade visam dividir uma imagem em regiões com base em algum critério de similaridade entre pixels. Por outro lado, técnicas baseadas em descontinuidade realizam segmentação com base em mudanças repentinas nos valores de intensidade de pixel. Uma das técnicas baseadas em similaridade é a binarização, cujo resultado é uma imagem que possui apenas dois níveis de espectro, preto e branco.

#### 2.7.2.4.Extração de Caracteres

Segundo ESQUEF et al. (2003) etapa do sistema de processamento responsável por selecionar as informações numéricas de interesse da imagem processada, é definida como extração de caracteres, na qual características extraídas nesta etapa podem ser da imagem em seu todo ou apenas de uma região específica.

A transformada de Hough é um dos métodos mais utilizados na etapa de extração de caracteres devido a sua aplicação ser relativamente simples, o qual consiste em um procedimento para detectar curvas que possam ser parametrizadas, como retas e círculos, a partir da Transformada de Hough, onde consideramos um círculo de raio  $R$  cujas coordenadas do centro são dadas por  $(a_0, b_0)$ , a transformada em cada ponto  $(x_i, y_j)$  no espaço da imagem,

pertencente à borda detectada na etapa de segmentação, gera um círculo no espaço de parâmetros, com centro em  $(x_i, y_j)$  e raio  $R$ , conforme mostra a Figura XX (MILESKI, 2017).

#### 2.7.2.5.Reconhecimento e Interpretação

As duas últimas etapas dos sistemas de visão computacional é o reconhecimento e interpretação dos dados extraídos. Nesta etapa, ocorrem as atribuições de rótulos aos objetos de interesse semelhantes a partir das características extraídas. Já a etapa de interpretação é responsável por atribuir significados aos objetos detectados (MARQUES FILHO; VIEIRA NETO, 1999).

### 2.8. A INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0, conhecida como a nova era industrial, assim como as antigas revoluções industriais, está promovendo muitas transformações na sociedade, dentre elas os processos produtivos, consumo, transportes, relações de trabalho, comunicação e a forma com que se relacionar em sociedade, gerando novas tecnologias e formas de aplicá-la. (LAVAGNOLI, 2018). (AMARAL, 2021).

A indústria 4.0 trabalha baseada no conceito de sistemas, sendo definido como como uma rede de componentes interdependentes que trabalham juntos para tentar alcançar um objetivo comum. (SANTOS, 2017). Estes componentes se classificam em 6 princípios fundamentais que irão consolidar o conceito de fábricas inteligentes, são eles: Conectividade, Descentralização, Virtualização, Acompanhamento de decisões em tempo real, Modularidade e Orientação por serviço. (AMARAL, 2021).

Os pilares tecnológicos da Indústria 4.0 facilitam a combinação de recursos físicos e digitais, entrelaçando máquinas e sistemas com o objetivo de aumentar a produtividade e qualidade reduzindo custos de produção. Os 9 pilares são: Análise de dados; Robótica; Simulação; Integração de sistemas; Internet das coisas; Segurança cibernética; Computação em nuvem; Manufatura aditiva e Realidade aumentada. (ALTUS, 2019).

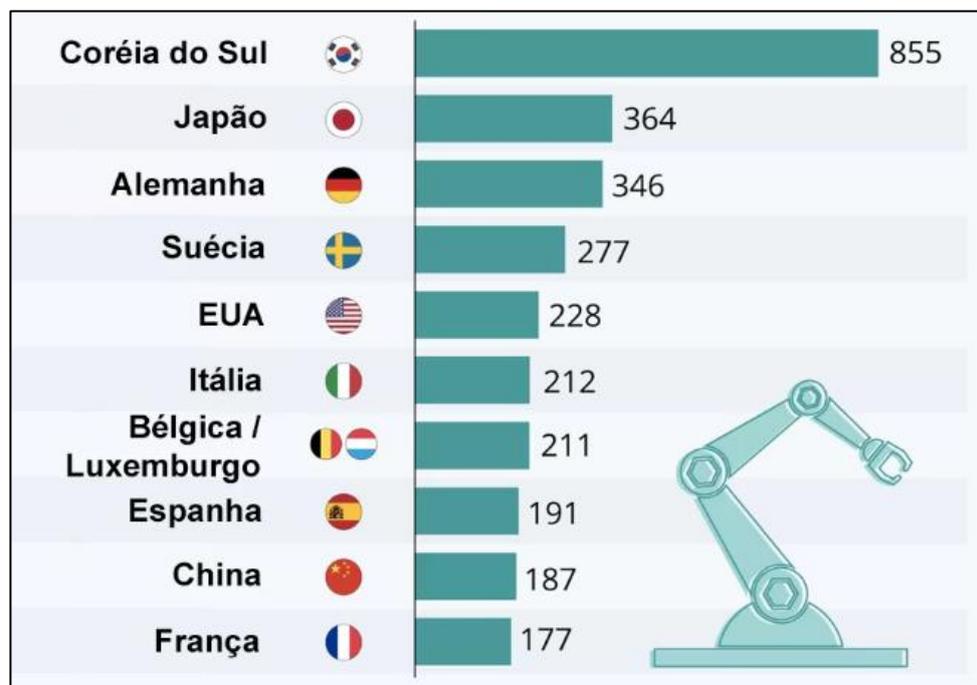
### 2.9. AUTOMAÇÃO NO BRASIL

A automação pode ser uma oportunidade para o Brasil, pois se utilizada em conjunto com estratégias como melhorias de processos e aumento de produtividade, estas melhorias da indústria têm potencial para alavancar o PIB do país, uma vez que menos números são

engajados na população ativa da economia. (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, apud LIMA et al, 2019, p.15).

O crescimento da automação no Brasil ainda não é comparável ao de países desenvolvidos. De acordo com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, a proporção de robôs industriais para 10.000 trabalhadores era de 10 em 2016, ante a média global de 74, com o mesmo número de funcionários, conforme mostra a Gráfico 1. Em 2020 esse número subiu para 113. (Agência Brasil, 2018).

Gráfico 1 - Quantidade de robôs trabalhando a cada 10.000 empregados na industrial em 2019



Fonte – International Federation of Robotics / Statista

Em 2020 a Associação Brasileira de Automação (GS1), constatou que mesmo em tempos de pandemia o Índice de Automação do Mercado Brasileiro registrou um valor de 0,305 no nível de automação das indústrias, tal valor é 2,35% mais alto do que em relação a 2019 (PROXIMA, 2019).

## 2.10. A NR12 APLICADA À AUTOMAÇÃO INDÚSTRIA

As Normas Regulamentadoras (NR) são disposições complementares ao Capítulo V (Da Segurança e da Medicina do Trabalho) do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho

(CLT), com redação dada pela Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Consistem em obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos por empregadores e trabalhadores com o objetivo de garantir trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho (BRASIL, 2022).

A NR12 traz medidas preventivas que ao serem atendidas garantem a instalação adequada de equipamentos e/ou dispositivos elétricos em máquinas industriais, com o objetivo de assegurar a integridade física e a saúde dos trabalhadores, desde o início da operação, durante, até a sua parada prevenindo futuros acidentes do trabalho (SCHNEIDER, 2011).

De acordo com o tópico 12.42 da norma NR12 (2017), um componente conectado ou interligado a um dispositivo de proteção, tais como sensores, travas magnéticas, chaves de segurança eletrônica, *scanners* de área etc, são considerados dispositivos de segurança e ajudam a reduzir o risco de acidentes.

De acordo com o assunto 12.56 da norma NR12 (2017), as máquinas devem possuir um ou mais dispositivos de parada de emergência para evitar situações de perigo. Os dispositivos mais comuns permitem que um operador próximo à máquina interrompa o processo em caso de situação perigosa, pressionando um botão, o botão deve ser do tipo cogumelo, vermelho visivelmente montado na máquina e deve ser controlado por um relé de segurança e monitorado por um controlador lógico programável (CLP). Além disso as máquinas e equipamentos devem possuir isolamento do tipo barreira física como medida protetiva aos operadores.

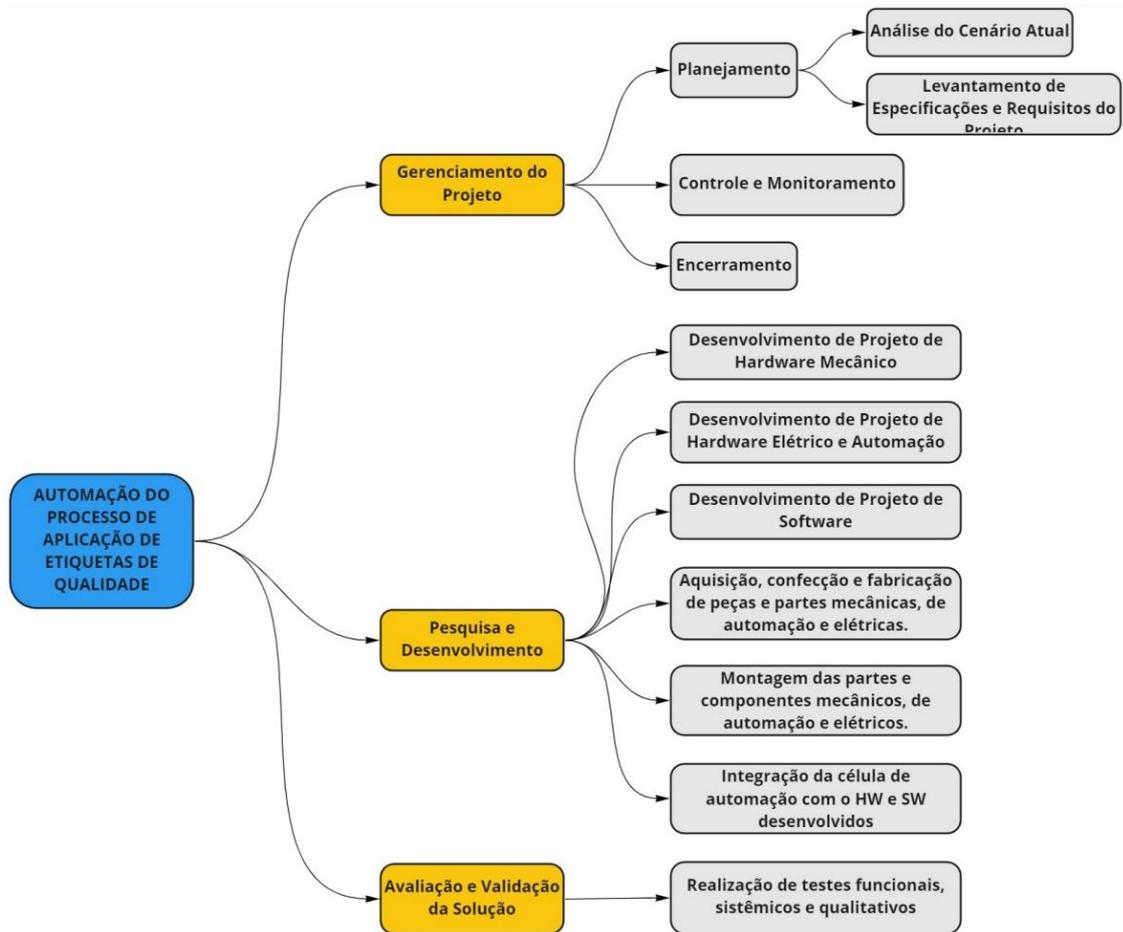
### 3. METODOLOGIA

Serão conduzidas pesquisas exploratórias sobre o tema proposto, visando adquirir novos conhecimentos, descobrir novas aplicações ou obter uma melhor compreensão da área tecnológica em questão, visando garantir que o projeto seguirá a linha do que há de mais recente para desenvolvimentos dessa natureza. Para essa execução, o aluno irá interagir com o time da empresa multinacional sul-coreana, realizando reuniões para análises e coleta de requisitos e acompanhamento semanal do progresso do projeto. Para a execução do projeto serão utilizadas verbas do fundo de pesquisa e desenvolvimento estabelecido pela Lei de Informática n.º 8.387.

O trabalho apresentado é uma pesquisa aplicada, e tem como objetivo a melhoria do processo produtivo através da diminuição de atividades manuais e redução de custos operacionais. O método utilizado é o hipotético-dedutivo e o procedimento de elaboração é o monográfico. Para a coleta de dados é utilizado a observação direta do processo produtivo, bem como documentação indireta, e a análise e interpretação de seus dados é qualitativa.

A Figura 9 mostra a estrutura analítica do projeto de Automação da Colocação de Etiquetas de identificação nas Unidades Condensadoras, com os detalhamentos das fases de (i) Gerenciamento, (ii) Planejamento, (iii) Pesquisa e Desenvolvimento e (iv) Avaliação e Validação da Solução.

Figura 9 - Fluxograma de desenvolvimento do projeto



Fonte - Autor

Para que os objetivos do projeto sejam alcançados serão realizadas as seguintes etapas:

**Gerenciamento do Projeto:** Esta etapa consiste das atividades de gerenciamento de todas as outras etapas, incluindo as atividades de Iniciação, Planejamento, Execução, Controle & Monitoramento e Encerramento do Projeto.

**Planejamento e Levantamento de Requisitos:** Esta etapa consiste no refinamento do planejamento do projeto, na elaboração da sua documentação processual, na elaboração do backlog inicial de atividades e no levantamento dos requisitos que traduzam o escopo do desenvolvimento do projeto, esclarecendo, portanto, o que será e o que não será desenvolvido. Nesta atividade também é feita a análise documental, a análise do cenário atual, o estudo do layout do processo produtivo, as restrições para o desenvolvimento das automações e o estudo das tecnologias que serão utilizadas nas soluções propostas.

**Pesquisa e Desenvolvimento: Esta etapa compreende:** 1) o desenvolvimento e a validação do conceito do projeto, onde são avaliados aspectos ligados à arquitetura de hardware (elétrica e mecânica); 2) a realização dos projetos elétrico/mecânico, onde é elaborado o esquema elétrico, o projeto 3D, o detalhamento 2D e a lista de materiais elétricos e mecânicos; 3) a realização do projeto físico, onde são adquiridas e fabricadas as partes e peças do protótipo e desenvolvida a programação do mesmo; 4) a montagem e integração do protótipo, onde as diversas partes e peças são montadas e há a integração entre as partes elétricas, mecânicas e pneumáticas; 5) desenvolvimento do software de programação da solução.

Para o desenvolvimento dos conceitos mecânicos, todas as montagens, submontagens e partes mecânicas serão desenhadas no *software Creo Parametrics*, uma solução baseada em CAD 3D criado pela *Parametric Technology Corporation* em 2011, que auxilia e acelera a criação de peças e partes mecânicas, combinando tecnologias de design generativo, realidade aumentada, simulação em tempo real, manufatura aditiva, e internet das coisas com o objetivo entregar iterações mais rápidas, reduzindo custos de produção e melhorando a qualidade de produtos através da precisão do CAD. (PTC, 2022).

Todas as peças e partes mecânicas projetadas em *software CAD* serão manufaturadas através de empresas de realização de serviços externos especializadas em peças para automação industrial.

Para o desenvolvimento das principais funções de *software* e automação, será utilizada a plataforma *LabVIEW* e a linguagem de programação *Python*. O *LabVIEW* (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) é um ambiente de aquisição e programação de dados que permite aquisição e processamento flexível de dados analógicos e digitais. A principal característica que diferencia o *LabVIEW* de outros programas de aquisição de dados é sua linguagem de programação gráfica altamente modular, “G”, e uma grande biblioteca de funções matemáticas e estatísticas.

**Avaliação e Validação da Solução:** é composta pela realização da verificação e da validação das funcionalidades desenvolvidas. Para isso são realizados dois grupos de teste: 1) testes funcionais: nesta etapa, cada bloco funcional da solução será avaliado, mediante a aplicação de uma versão inicial da automação (hardware/ software); 2) testes sistêmicos: nesta etapa, é avaliado o funcionamento de todas as partes da solução de forma integrada.

### 3.1. ANÁLISE DO CENÁRIO ATUAL

Atualmente a operação de colocação de etiquetas ocorre em 2 postos do processo produtivo, por serem 2 etiquetas distintas, e considerando os objetivos de redução de problemas ergonômicos e aumento de produtividade, considerou-se no planejamento o desenvolvimento de uma garra dupla para o braço robótico. A Figura 10 mostra os postos de colocação dessas etiquetas. No primeiro posto é aplicada a etiqueta QUALITY (legenda 1) e no segundo posto é aplicada a etiqueta WARNING (legenda 2). As etiquetas QUALITY são impressas na sala de etiquetas e entregues em lotes para a produção (legenda 3), que aplica nos produtos de forma sequencial, por conterem o número de série, com base nas Ordens de Produção. As etiquetas WARNING, por conter informações padronizadas e não ter nenhum número de série, são fornecidas em rolos pelo fornecedor de etiquetas diretamente para a linha de produção aplicar nos produtos (legenda 4).

Figura 10 - Local atual de aplicação manual de etiquetas



Fonte - Autor

Em seguida foi avaliado o local para a instalação da célula de aplicação automática das etiquetas nas unidades condensadoras. Como visto na Figura 11, o local sugerido para

instalação da automação (legenda 1) é o mesmo onde é realizada atualmente a aplicação manual das etiquetas, compreendendo a maior parte do local dos dois postos de aplicação manual das etiquetas, com uma largura de 2,3 metros, correspondente ao espaço aproximado de 1 ½ postos de trabalho.

Figura 11 - Primeiro local sugerido para instalação da automação

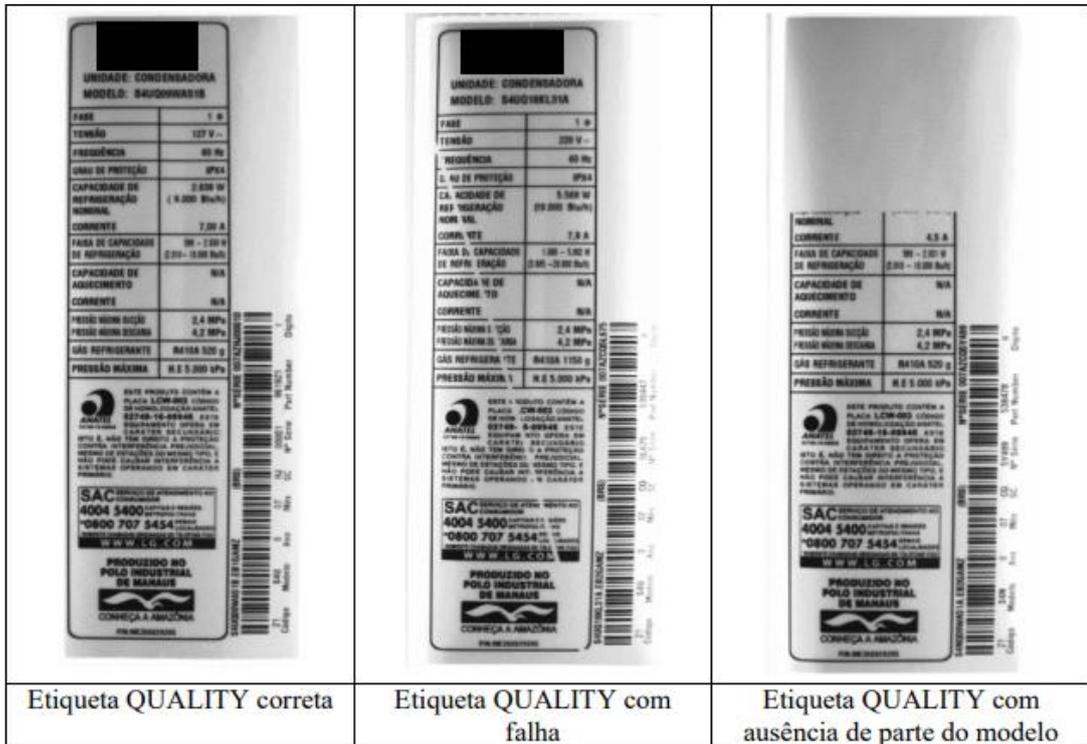


Fonte - Autor

Observando a forma que os operadores aplicam as etiquetas, identificou-se a necessidade de um sistema de parada das unidades condensadoras e de um sistema de referenciamento automático duplo, para que seja possível identificar mecanicamente as unidades condensadoras sempre no mesmo local, possibilitando que o braço robótico possa aplicar as etiquetas com qualidade na mesma posição específica. Ao término da aplicação das etiquetas, o sistema de parada realiza liberação automática para o próximo posto de trabalho.

Após as verificações na linha de produção, buscou-se informações referentes às necessidades de inspeção de qualidade nas etiquetas QUALITY e WARNING. A Figura 12 exemplifica possíveis defeitos de impressão que foram coletados, durante a etapa de levantamento de requisitos, referentes a etiqueta QUALITY

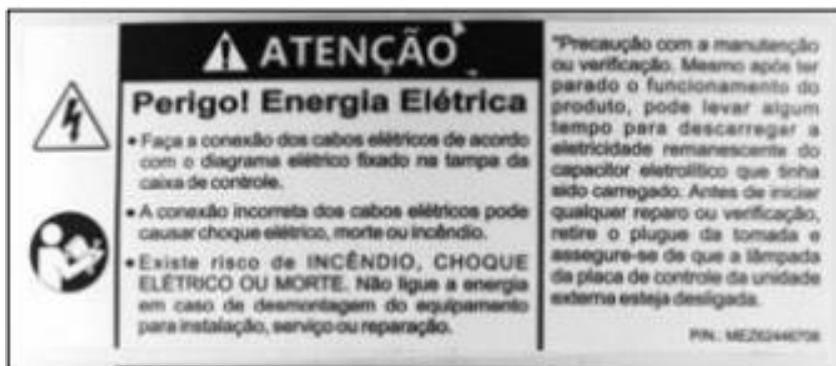
Figura 12 - Etiquetas QUALITY com falhas



Fonte - Autor

A Figura 13 exemplifica uma possível falha de impressão da etiqueta WARNING, coletada durante a etapa de levantamento de requisitos.

Figura 13 - Etiqueta WARNING com falha



Fonte - Autor

Em função desse requisito de inspeção de qualidade visual das etiquetas, fora especificado o desenvolvimento de um sistema de visão, para realizar a inspeção ótica de forma automática da qualidade das etiquetas, antes da sua aplicação nas unidades

condensadoras, bem como a verificação automática da posição de aplicação das etiquetas nas unidades condensadoras.

Para a impressão e aplicação das etiquetas automaticamente, diretamente na linha de produção, algumas condições devem ser consideradas. Primeiramente, na configuração atual do processo produtivo, a impressora de etiquetas QUALITY se encontra em uma Sala de Impressão de Etiquetas, em um ambiente com ar-condicionado e livre de poeira. Dessa forma, a célula de aplicação automática das etiquetas deve reproduzir essas mesmas condições, para garantir a correta operação da impressora. Para atender a esse requisito, a célula de aplicação automática das etiquetas deve ter um ambiente de temperatura controlado, um fator adicional de complexidade, considerando que o processo produtivo das unidades condensadoras não possui refrigeração.

Adicionalmente, no processo produtivo há a montagem de uma variedade de 4 tipos de unidades externas dos condicionadores de ar, 9 mil BTUs, 12 mil BTUs, 18 mil BTUs e 24 mil BTUs. Todos esses produtos possuem dimensões diferentes, bem como informações diferentes nas etiquetas QUALITY a serem impressas. Essa variedade de tipos de produtos exige que a célula de aplicação automatizada possa identificar qual é o tipo de produto que está no processo produtivo e imprima a etiqueta correta.

Em função desse motivo, fez-se necessário o planejamento do desenvolvimento de um software de gerenciamento, que possibilite a identificação da correta etiqueta, busca no banco de dados e impressão da etiqueta, para ser aplicada nas unidades condensadoras.

No caso da etiqueta WARNING, como é a mesma etiqueta para todos os tipos de produtos, um dispensador automático atende o processo, visto que elas são fornecidas em rolos já impressos por um fornecedor terceirizado. A Tabela 1 mostra o quadro resumo dos requisitos coletados nesta fase do projeto.

Tabela 1 - Resumo dos requisitos da célula de aplicação automática de etiquetas.

Categoria	Requisito	Descrição
PRODUTIVIDADE	Tempo de ciclo	Atender o tempo de ciclo de 9 segundos
	Flexibilidade	Identificar produtos diferentes produzidos ao mesmo tempo na linha de produção, imprimir, inspecionar e aplicar as respectivas etiquetas
PRODUTOS	A automação deve	24 produtos diferentes, montados em 4

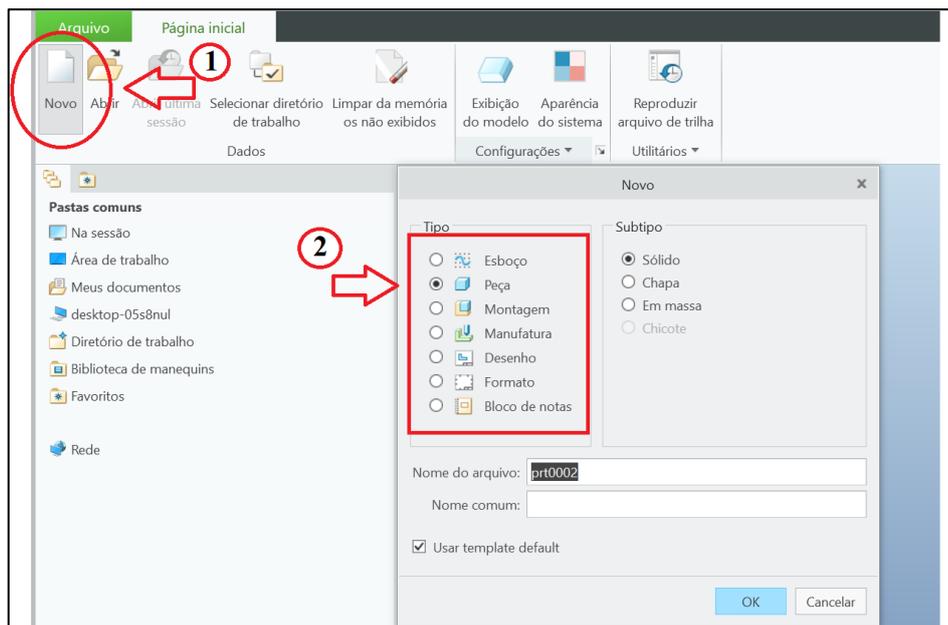
	atender todos os atuais produtos	tipos de chassis [9, 12, 18 e 24] kBTUs
	Local de aplicação das etiquetas	Aplicar as etiquetas de acordo com as instruções de trabalho e evitar interferências mecânicas com os tubos <i>biconnect</i> .
PROCESSOS	Espaço para instalação da automação	2 postos de trabalho (2,3 metros)
	Impressão da etiqueta QUALITY	Diretamente na linha de produção, através da identificação dos produtos que estão no processo
	Local da impressora	Ambiente com ar-condicionado e livre de poeira
	Inspeção de qualidade ou posicionamento	Sinalização para inspetor final realizar segundo julgamento
	Tensão de Alimentação	220 VAC
MANUTENÇÃO	Tipo de PLC	Uso de PLC LSIS mantendo o padrão da linha
	Posicionamento das impressoras	Impressoras posicionadas em local de fácil acesso, para realização de limpeza diária
	Área de acesso	Célula possuir área interna de fácil acesso para limpeza e manutenção periódica
SEGURANÇA	Enclausuramento	Uso de enclausuramento com estrutura metálica e janelas de chapas de policarbonato transparente
	Sensoriamento	Ter sensores de presença dentro da célula e nos locais de acesso, de acordo com a NR-12
	Riscos	Mitigar todos os riscos de segurança, de acordo com disposições da NR-12

### 3.2. FUNÇÕES BÁSICAS DO SOFTWARE CREO PARAMETRICS

Dentre as principais características do software utilizado para a concepção dos desenhos 2D e modelagem 3D das partes mecânicas do projeto, temos a facilidade na criação e ideação dos resultados finais de uma estrutura ou sistema mecânico. Alguns desses conceitos podem levar horas, dias ou até semanas para serem finalizados, dependendo da experiência do projetista responsável.

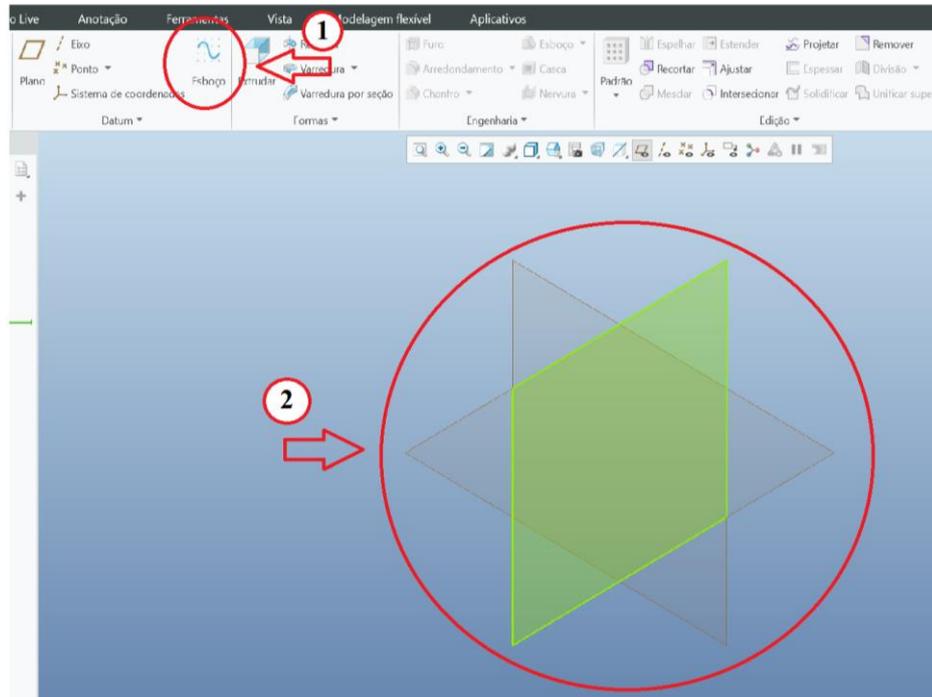
Para uma melhor compreensão das ferramentas de criação e da metodologia utilizada este tópico abordará o passo a passo da criação da peça de acoplamento do atuador pneumático rotativo da garra robótica. Dessa forma, o primeiro passo para o desenvolvimento de uma peça no *Creo Parametrics* é a criação de um novo projeto no menu principal do *software*, conforme mostra a Figura 14. Acessando a opção “esboço” (legenda 1) e em seguida selecionando o tipo de projeto a ser criado, neste caso “peça” (legenda 2).

Figura 14 - Início de um esboço no *Creo Parametrics*



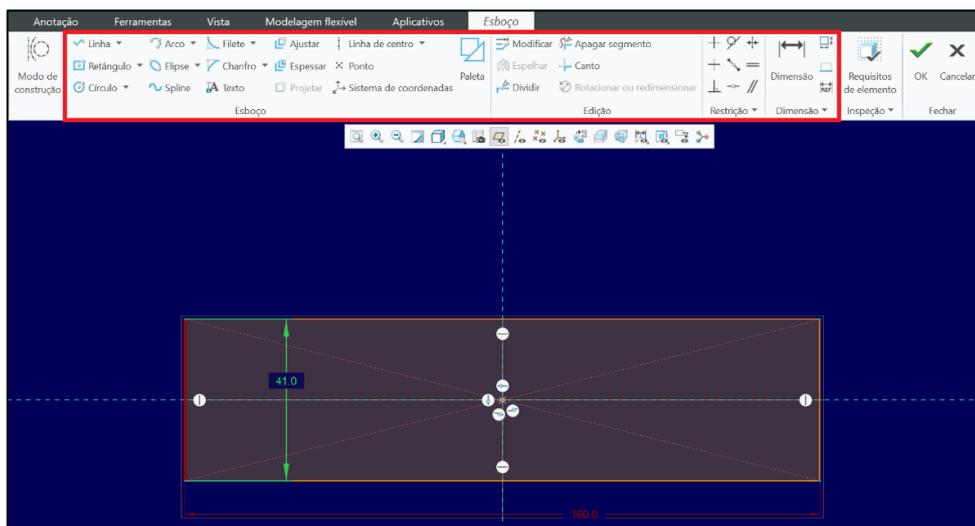
Fonte - Autor

Em seguida selecionamos a opção “esboço” (legenda 1) e o plano, dentro do espaço geométrico tridimensional (legenda 2), no qual será criado o esboço 2D da peça a ser projetada, respectivamente indicados na Figura 15.

Figura 15 - Criação do Esboço 2D no *Creo Parametrics*

Fonte - Autor

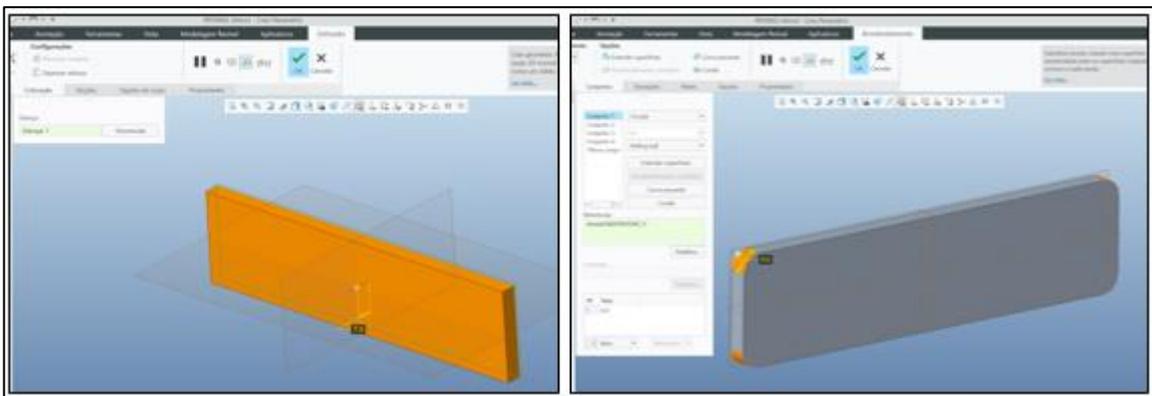
O próximo passo é a criação de uma geometria de referência que contenha as dimensões de largura e comprimento da peça final utilizando as ferramentas geométricas expostas na barra superior do ambiente de criação mostrado como mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Criação da geometria de referência no *Creo Parametrics*

Fonte - Autor

Ao finalizar a geométrica de referência é necessário atribuir volume ao esboço através da função “extrusão”, dessa forma o desenho 2D se transforma em uma peça 3D, podendo ser maciça, ou em formato de casca utilizando apenas as delimitações do esboço. A partir disso podemos seguir atribuindo funções de auxiliares na peça, tais como, criação de chanfros, arredondamentos, rasgos, dentro outros. Para a peça em questão foi aplicada a função “arredondamento” e selecionado o raio de 6mm para todas as bordas perpendiculares ao plano normal de origem, como mostra a Figura 17.

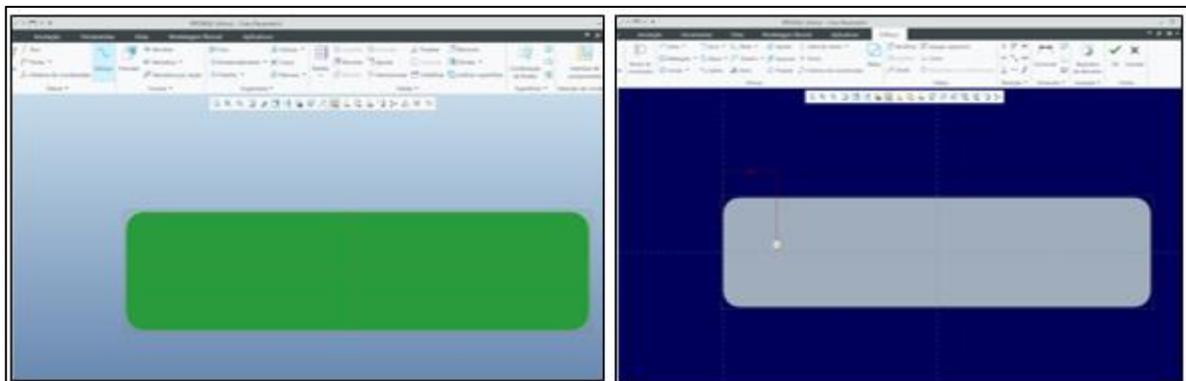
Figura 17 - Inserção das funções auxiliares no *Creo Parametrics*



Fonte - Autor

Repetimos o processo de criação de esboço na face frontal da peça para criar os furos de fixação localizados na linha de centro horizontal da peça à 20mm da borda lateral. Para isso selecionamos a ferramenta “ponto” e aplicamos na posição desejada.

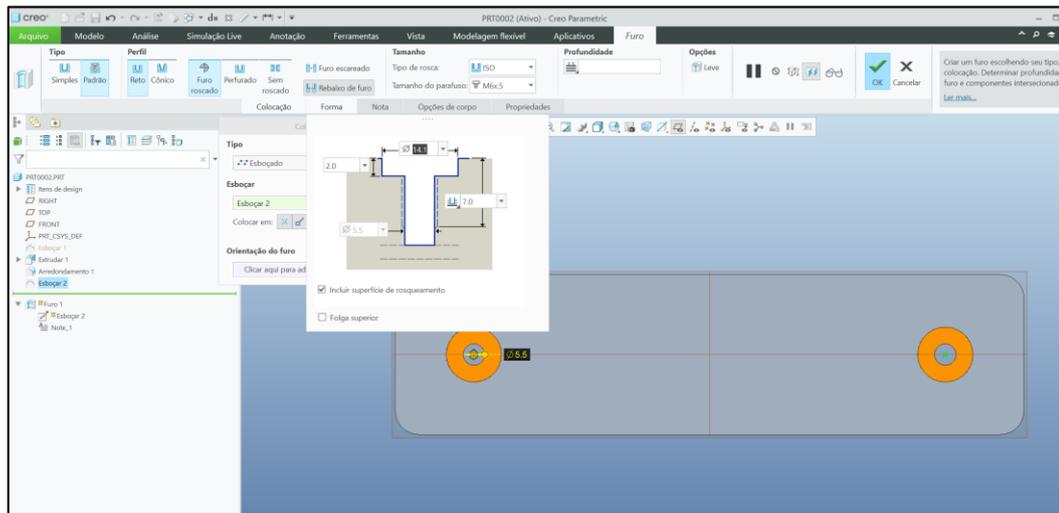
Figura 18 - Aplicação da ferramenta "ponto" no *Creo Parametrics*



Fonte – Autor

Aplicamos então a ferramenta auxiliar “furo” e selecionamos o padrão de furação adequado para a fixação no atuador. Para esta peça foi utilizado uma configuração de furo passante M5x0.75, com rebaixo de 14.1mm de diâmetro, 2mm de profundidade, como exposto na Figura 19.

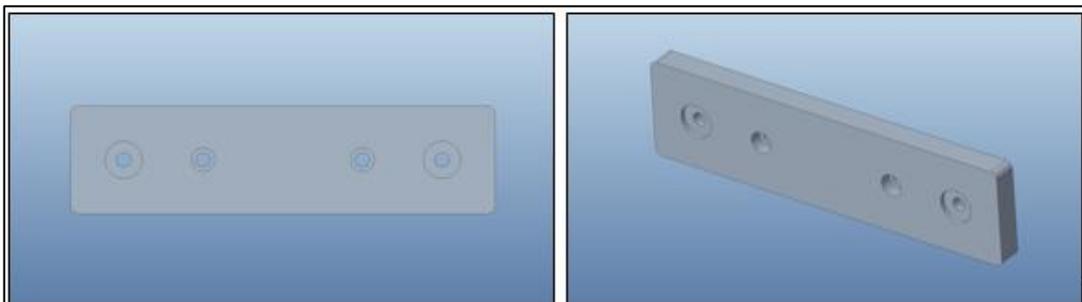
Figura 19 - Uso da ferramenta "furo" no *Creo Parametrics*



Fonte – Autor

Por fim, novamente criamos um esboço na face de trabalho e adicionamos mais um par de pontos para aplicação da ferramenta “furo” com as configurações passante M5x0.75, com rebaixo de 8mm de diâmetro e 4mm de profundidade, e obtemos então, a peça mostrada na Figura 20.

Figura 20 - Peça de fixação final obtida



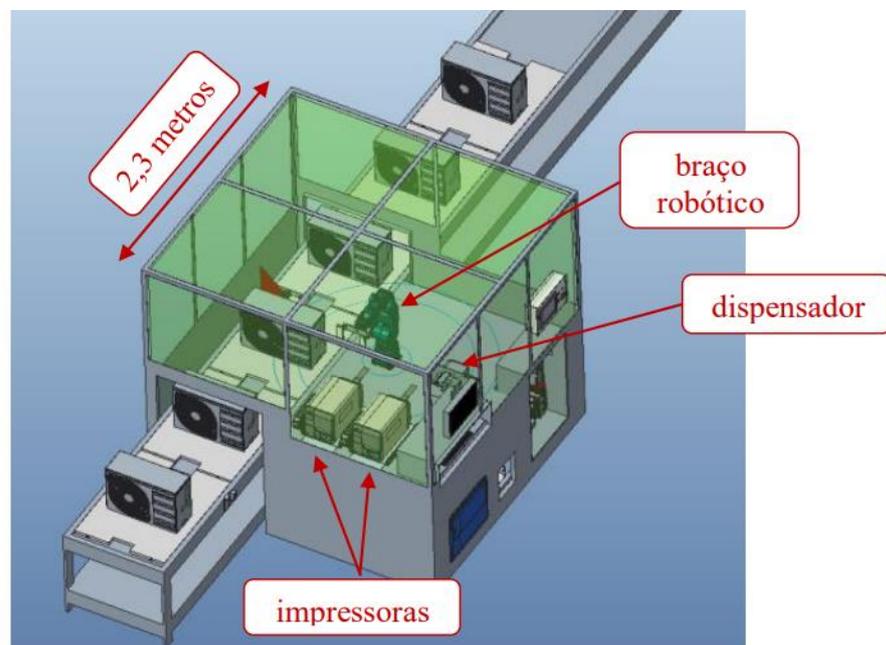
Fonte – Autor

Dessa forma, após um breve resumo das principais ferramentas utilizadas no processo de criação das peças mecânicas do projeto no *Creo Parametrics*, podemos dar continuidade ao desenvolvimento dos conceitos da célula de automação.

### 3.3. PRIMEIRO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO

Após as verificações na linha de produção e levantamento dos requisitos, foi elaborado o primeiro conceito da estrutura mecânica e de automação, da célula de aplicação automática de etiquetas nas unidades condensadoras, como mostrado na Figura 21. Nesse conceito foram incluídas 2 impressoras para a etiqueta QUALITY, 1 dispensador para a etiqueta WARNING e um braço robótico com uma garra dupla para a aplicação das 2 etiquetas. A escolha desse layout se deu em função da necessidade de atender ao requisito do tempo de ciclo de 9 segundos. O conceito foi posicionado no mesmo local onde atualmente estão sendo aplicadas de forma manual as etiquetas, ocupando o referido espaço.

Figura 21 - Vista em perspectiva do primeiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.

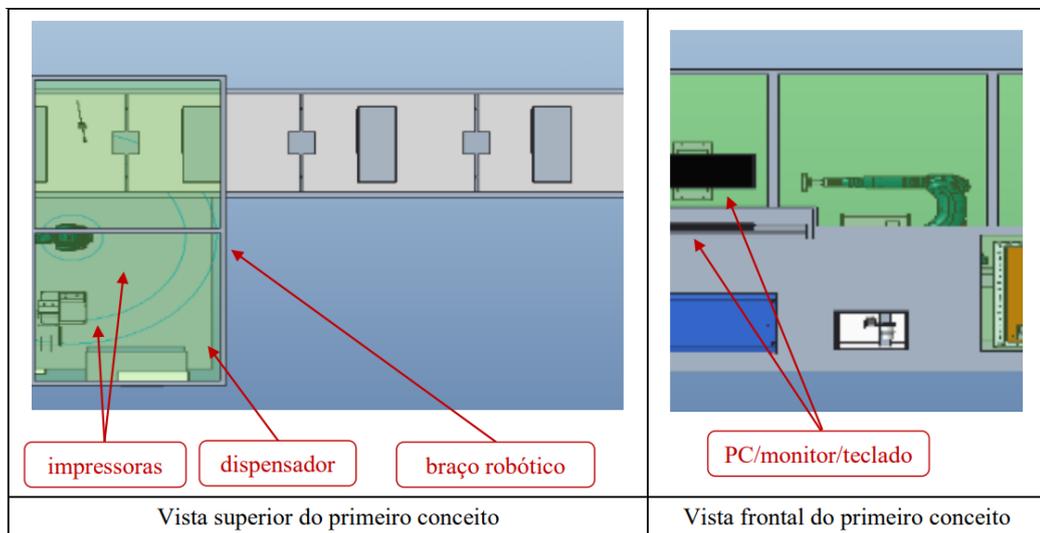


Fonte - Autor

A Figura 22 mostra a vista frontal e a vista superior do primeiro conceito, onde podem ser observados com mais detalhes os principais módulos da automação. Para o atendimento do requisito de posicionar as impressoras e os dispensadores em um local de fácil acesso para limpeza e manutenção, planejou-se fixar as impressoras e os dispensadores em

bandejas com trilhos, para que possam ser movimentados como gavetas e acessadas pela parte externa da célula.

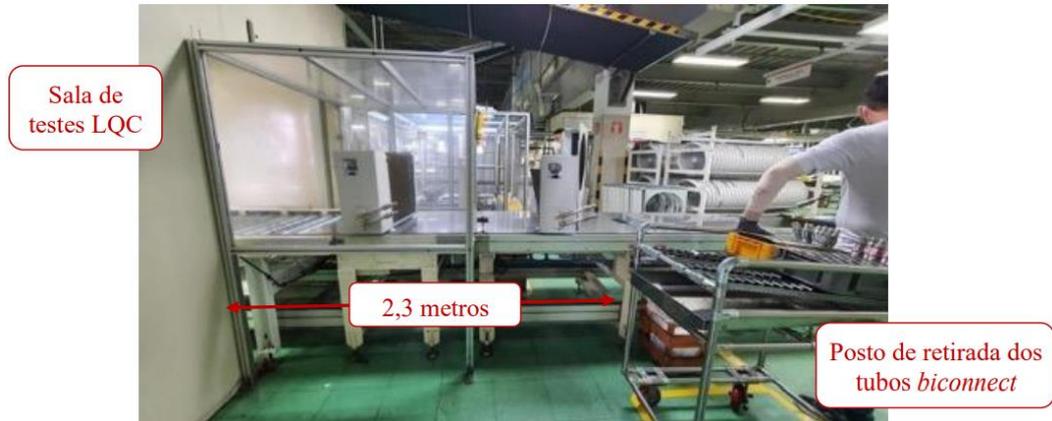
Figura 22 - Vistas do primeiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.



Fonte - Autor

Após apresentar esse primeiro conceito, o time da empresa solicitou que o local da automação fosse deslocado para um ponto onde os produtos saem da sala de testes (LQC) e dessa forma a área produtiva onde há somente operadores não fosse dividida em duas partes (divisão essa ocasionada pela colocação da automação). O time da empresa informou que, após a instalação da automação, todas as operações manuais da área atual do processo produtivo deverão ser balanceadas novamente, e caso a automação seja instalada nesse local, não haverá flexibilidade para esse novo balanceamento. Nesse sentido, foi avaliado esse novo local logo após ao LQC e os seus espaços disponíveis. A Figura 23 mostra a nova localização sugerida.

Figura 23 - Segundo local sugerido para a instalação da célula.



Fonte - Autor

Neste segundo local, as unidades externas dos ar-condicionados ainda estão parcialmente montadas, como mostrado na Figura 24, além de estarem com os tubos *biconnects*, que foram utilizados nos testes da sala LQC. Essa condição impõe desafios tecnológicos adicionais no desenvolvimento da automação, referente a fixação das unidades externas e o seu referenciamento mecânico, para que o braço robótico tenha adequada sustentação que possibilite a aplicação das etiquetas de forma uniforme.

Figura 24 - Ar-condicionados na saída da sala LQC parcialmente montados

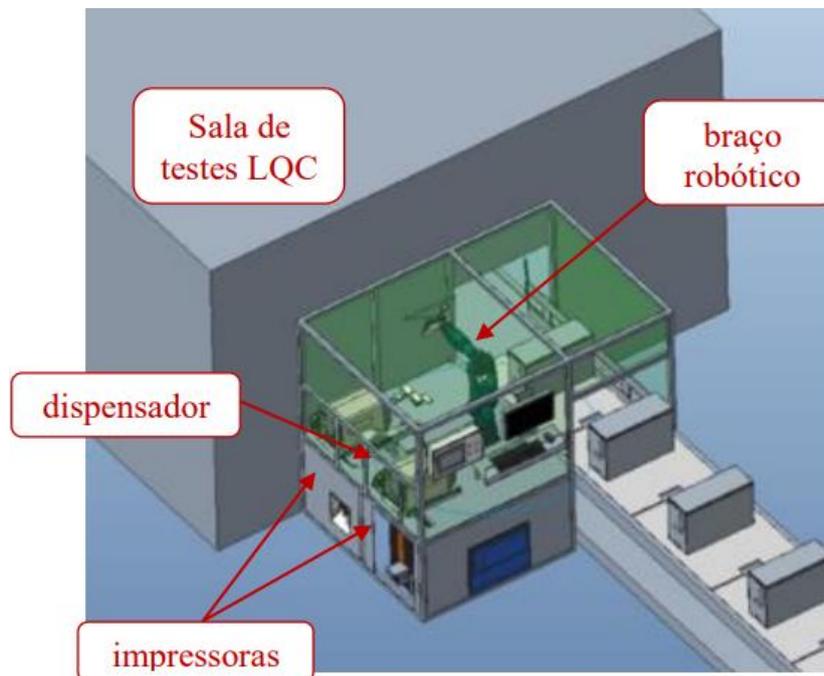


Fonte – Autor

### 3.4. SEGUNDO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO

Em função da barreira física da parede da sala de testes, o layout da estrutura mecânica e de automação da célula de aplicação automática das etiquetas de identificação foi remodelado, conforme a Figura 25. Nesse layout, as impressoras foram colocadas na frente da linha de produção, para facilitar a troca de rolos, bem como possíveis ajustes que se façam necessários.

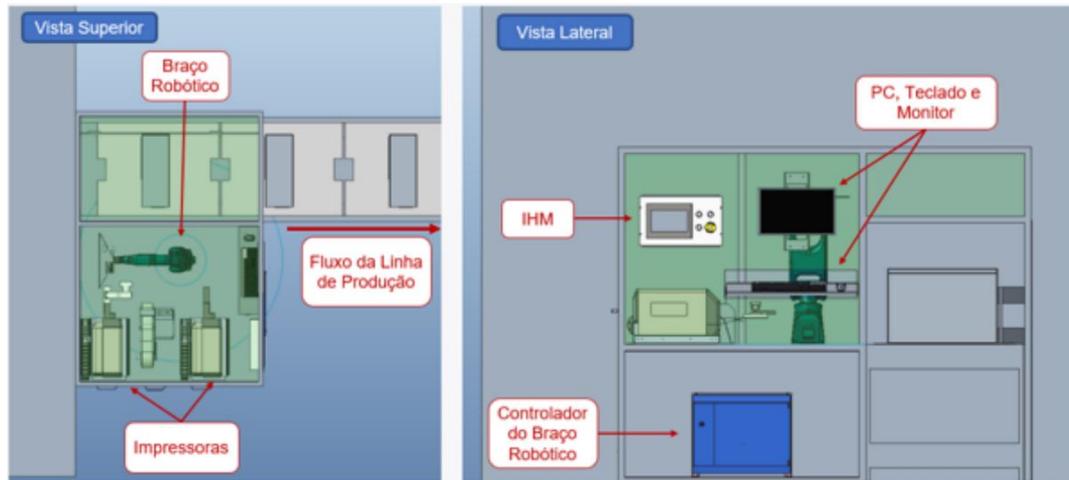
Figura 25 - Vista em perspectiva do segundo conceito da estrutura mecânica e de automação da célula



Fonte – Autor

A Figura 26 mostra a vista lateral e a vista superior desse segundo conceito da automação, com a disposição planejada para os elementos da célula de produção.

Figura 26 - Vistas superior e lateral do segundo conceito da estrutura mecânica e de automação



Fonte – Autor

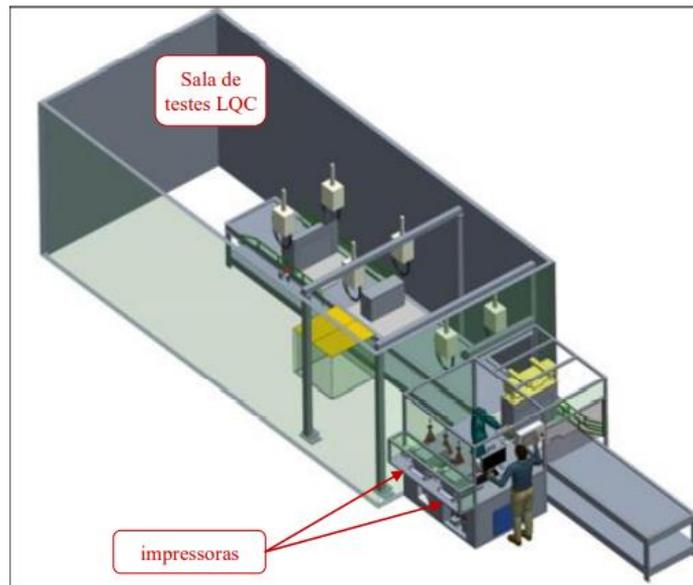
Ao apresentar esse segundo conceito, o time da empresa multinacional demonstrou preocupação no espaço utilizado pela automação, e que isso poderia comprometer o espaço disponível dos postos adjacentes da linha de produção, mais diretamente o posto seguinte, onde há a retirada dos tubos *biconnect*, pois há uma rota já definida de um AGV, que retorna esses tubos, automaticamente, para o início do processo produtivo. Nesse sentido, o time da empresa multinacional sinalizou que poderia ser considerado o uso de parte da área interna da sala de testes (LQC), para reduzir o uso da célula na área externa. Com essa premissa, foi realizado um estudo dos espaços disponíveis na sala de testes (LQC) e com isso modificar o layout da automação. Além disso foi realizada uma apreciação pelo time que atualmente opera as impressões das etiquetas de forma manual. Esse time informou que essas impressoras necessitam de uma rotina diária de limpeza, em função do tipo de material que é utilizado, uma fita de transferência térmica. Essa fita é um tipo de película plástica toda revestida com tinta que transfere as informações para um rolo de suporte, assim que passa pela cabeça térmica e recebe aquecimento. Esse rolo de suporte, por sua vez, transfere a tinta para a etiqueta limpa. Nesse processo, eventualmente ficam restos de tinta no rolo de suporte, que precisa ser limpo de forma regular.

### 3.5. TERCEIRO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO

Considerando as limitações de movimentação de pessoas dentro da sala de LQC, elaborou-se um terceiro conceito, com a mudança de posicionamento das impressoras para a

lateral da linha de produção, de forma externa a sala de LQC, e dessa forma, facilitar o acesso às impressoras a essa rotina de limpeza periódica e com as alterações dimensionais solicitadas. A Figura 27 mostra o terceiro conceito, indicando a nova posição das impressoras, fora da sala de testes LQC.

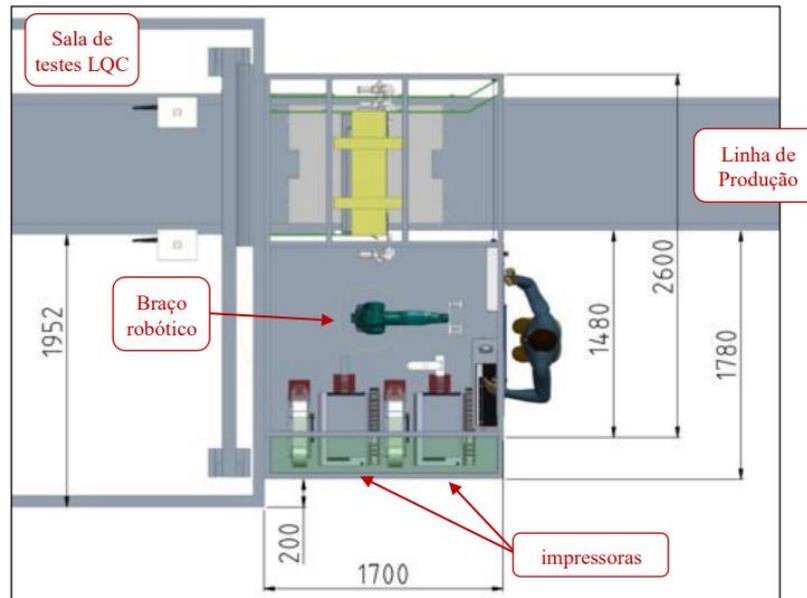
Figura 27 - Vistas em perspectiva do terceiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula



Fonte – Autor

A Figura 28 mostra a vista superior do terceiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula, onde podem ser visualizadas as dimensões da célula, bem como as cotas da linha de produção e o seu posicionamento na parede da sala de LQC.

Figura 28 - Vista superior do terceiro conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.



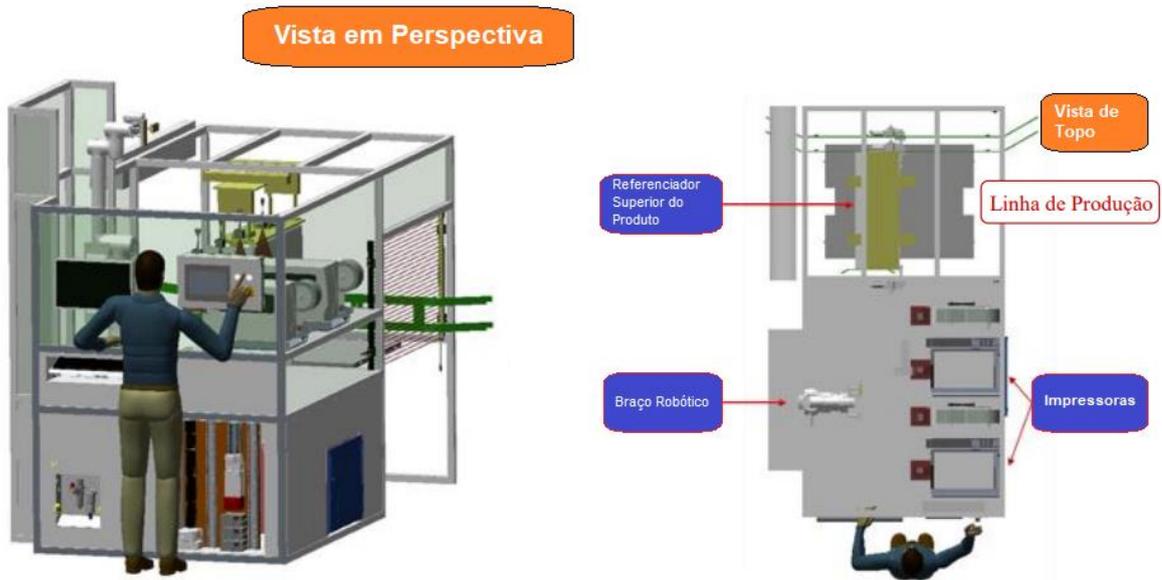
Fonte – Autor

### 3.6. QUARTO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO

Como pode ser observado no quarto conceito, as impressoras ficaram posicionadas no lado oposto da linha de produção, e dessa forma o braço robótico necessitaria realizar um movimento de  $180^\circ$  para pegar as etiquetas e posicioná-las nas unidades condensadoras. Esse movimento foi considerado crítico, pois poderia comprometer o tempo de ciclo do processo produtivo. Logo, foi iniciado um estudo de um novo layout para a célula automatizada, que aproximasse o máximo possível as impressoras da linha de produção.

Com base nesse estudo, a Figura 29 mostra o quinto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula de aplicação automática de etiquetas, onde as impressoras foram posicionadas fora da sala de LCQ, mas ao lado da linha de produção, e dessa forma o braço robótico necessita realizar um movimento de somente  $90^\circ$  para pegar as etiquetas e posicioná-las nas unidades condensadoras.

Figura 29 - Vistas do quarto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.

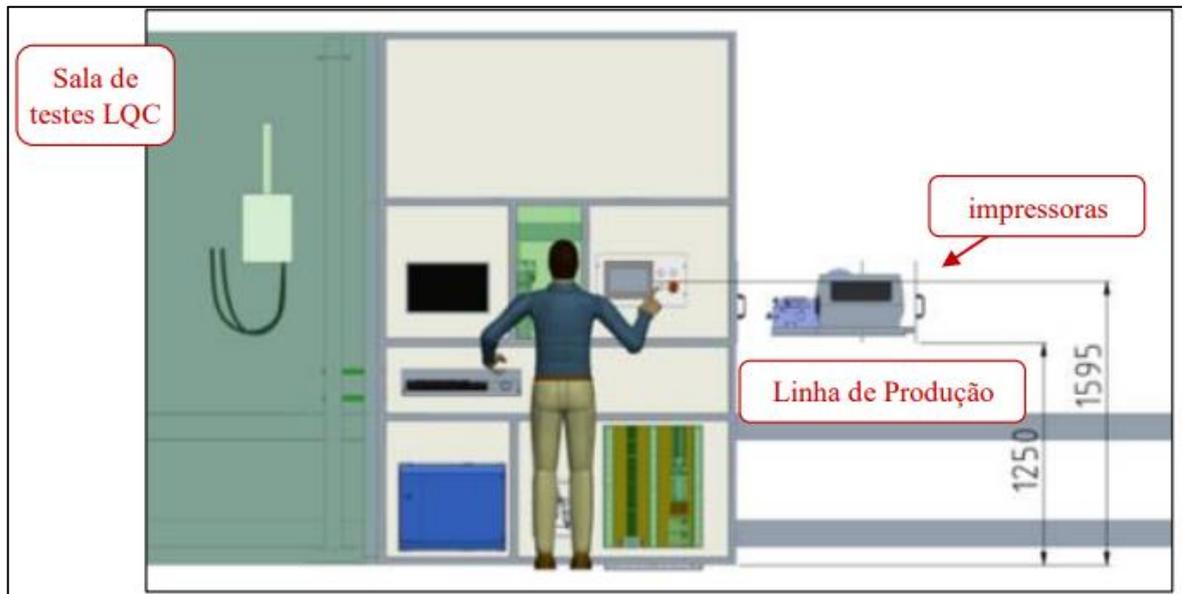


Fonte - Autor

### 3.7. QUINTO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO

Considerando que para um bom desempenho das impressões das etiquetas há a necessidade de posicionar as impressoras em um local com controle de temperatura e umidade, e o seu deslocamento para fora da sala de LQC dificultou esse controle, pois há ar-condicionado somente dentro da sala de LQC. Nesse sentido, optou-se por remodelar a estrutura mecânica e de automação da célula, incluindo uma cobertura superior e instalar um condicionador de ar adicional. Dessa forma, foi elaborado o quinto conceito, com paredes de divisórias e teto, como mostrado na Figura 30. Nesta figura, as impressoras estão representadas com a gaveta na posição aberta, necessárias para as operações de manutenção e limpeza.

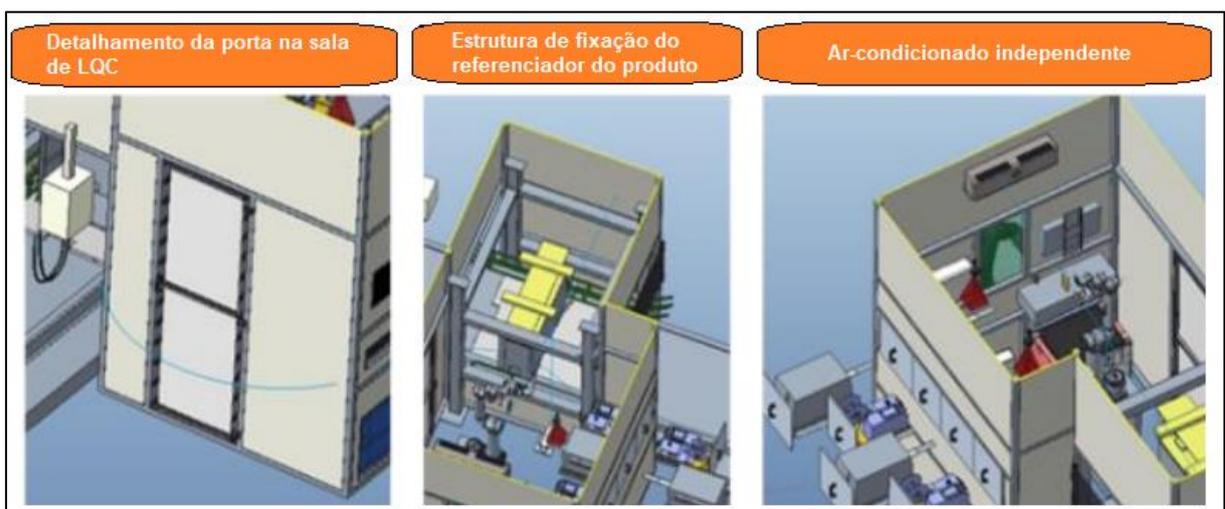
Figura 30 - Vista frontal do quinto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.



Fonte - Autor

A Figura 31 mostra outras vistas do quinto conceito. A imagem da esquerda mostra a porta de acesso a célula, através da área interna da sala de LQC, a imagem ao centro mostra uma vista superior da estrutura de fixação do referenciador do produto e a direita pode ser visto o local de instalação do ar-condicionado.

Figura 31 - Vista adicionais do quinto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.

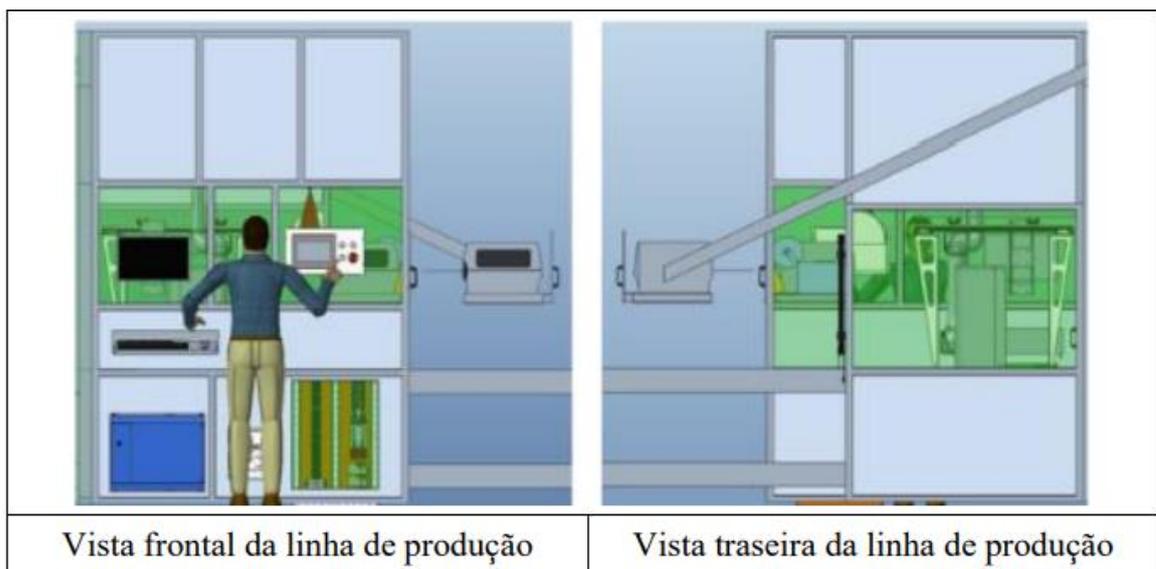


Fonte - Autor

### 3.8. SEXTO CONCEITO MECÂNICO DA CÉLULA DE AUTOMAÇÃO

Apesar do quinto conceito apresentar uma janela para observação do interior da célula, o time da multinacional solicitou que fossem adicionadas outras janelas, para que a célula pudesse ser observada de vários ângulos do processo, facilitando o monitoramento do seu funcionamento pelos operadores do processo produtivo, para que possam tomar ações, em caso de algum mal funcionamento da célula, bem como pelo time de manutenção, quando estiverem realizando alguma manutenção corretiva ou preventiva. Nesse sentido, modificou-se ligeiramente o quinto conceito, resultando no sexto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula, como mostrado na Figura 32. Neste conceito foram adicionadas algumas divisórias por acrílico transparente, melhorando a visibilidade interna da célula.

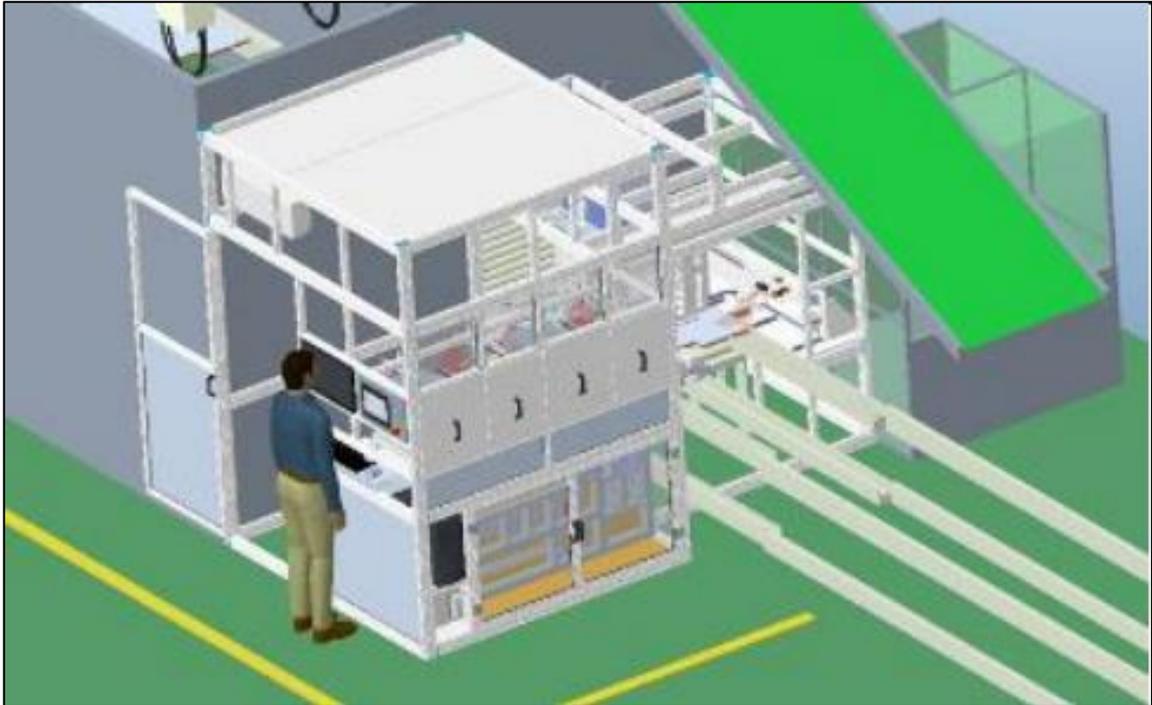
Figura 32 - Vistas do sexto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.



Fonte - Autor

Para evitar alterações na parede da sala de LQC, o layout da célula foi reformulado para que a porta de acesso ficasse posicionada de forma externa. Com a modificação da porta de acesso para a área externa e o desenvolvimento da estrutura principal com perfis metálicos, o sexto conceito da célula se configurou como apresentado na Figura 33.

Figura 33 - Vistas em perspectiva do sexto conceito da estrutura mecânica e de automação da célula.



Fonte - Autor

Pode ser observado na Figura 34 que neste conceito com a porta externa de correr cria mais espaço interno na célula (legenda 1), bem como a estrutura metálica dá mais sustentação ao condicionador de ar da célula (legenda 2), bem como ao forro interno (legenda 3), responsável por manter a célula livre de poeiras e diminuir a troca de calor com o ambiente externo.

Figura 34 - Estrutura principal do sexto conceito da célula.



Fonte - Autor

Dessa forma, após a validação e aprovação do sexto conceito por todos os setores envolvidos da empresa, foi dado início ao detalhamento dos módulos da célula de automação.

### **3.9. DETALHAMENTO DOS MÓDULOS DA CÉLULA**

#### **3.9.1. Painel Pneumático do Braço Robótico**

Após a definição da versão final do conceito da célula de automação, deu-se seguimento com o projeto dos módulos internos da célula buscando maximizar esse espaço. Nesse sentido, o painel pneumático foi fixado na própria base do braço robótico.

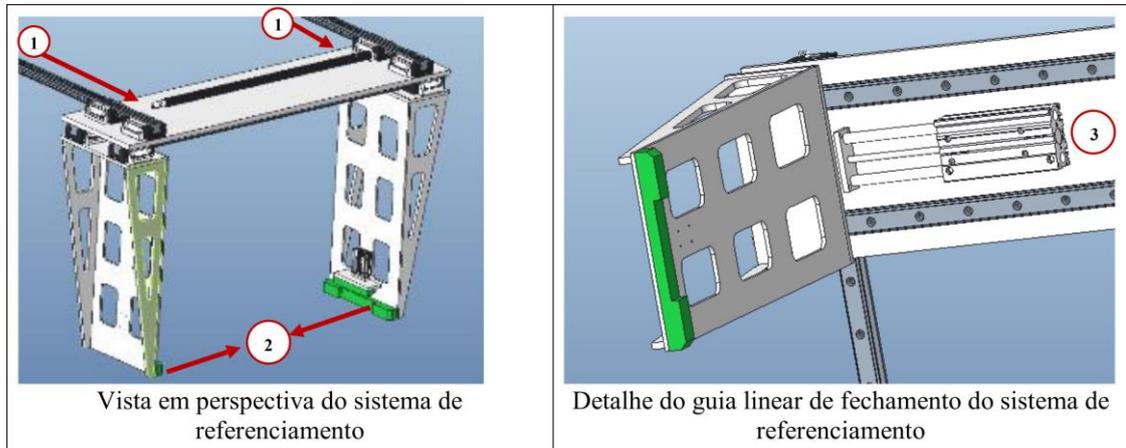
#### **3.9.2. Fixadores das Câmeras**

Considerando que a estrutura metálica da célula foi completamente concebida com perfis metálicos, os conjuntos de fixação das câmeras de inspeção de imagem foram projetados com base em tubos unidos por fixações ajustáveis, dessa forma, dando flexibilidade aos ajustes de posição e altura das câmeras, pois somente os testes funcionais possibilitaram a definição final de suas posições.

#### **3.9.3. Referenciamento Mecânico**

Seguindo o desenvolvimento mecânico e de automação, fora detalhado o sistema de referenciamento mecânico das unidades condensadoras. A Figura 35 mostra a primeira versão dessa estrutura. A legenda 1 mostra os trilhos de avanço do sistema, para que possa ser ajustado em função do tamanho da unidade condensadora que estiver sendo produzida, enquanto a legenda 2 mostra o movimento de fechamento que garante o referenciamento das unidades condensadoras usando um guia linear (legenda 3). Esse sistema de referenciamento mecânico possibilita que o braço robótico realize a aplicação das etiquetas com precisão de posicionamento, referenciando tanto as laterais quanto a parte superior das unidades condensadoras.

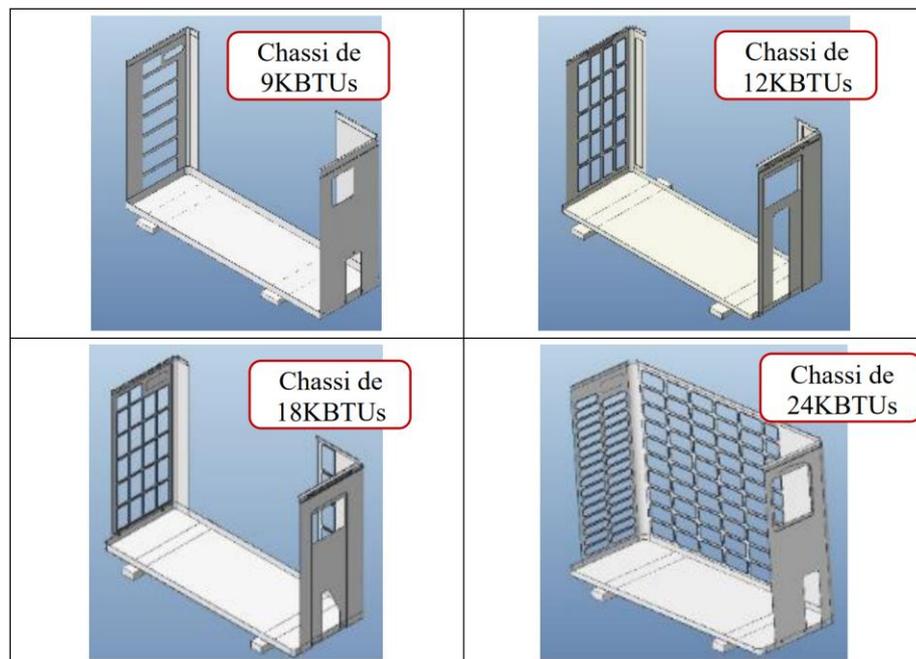
Figura 35 - Sistema de referenciamento mecânico das unidades condensadoras.



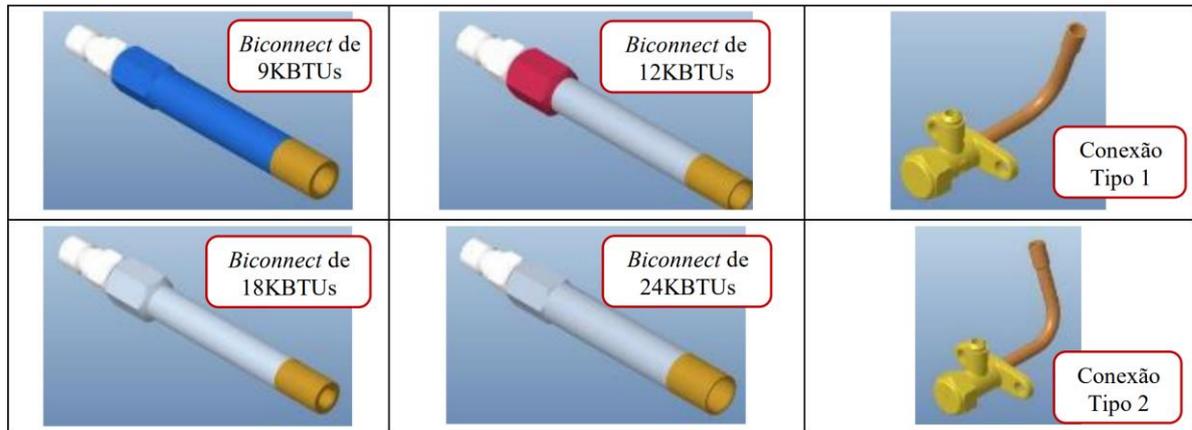
Fonte - Autor

Para a verificação de todas as possíveis interferências mecânicas do sistema de referenciamento mecânico com as unidades condensadoras, foi realizado o modelamento 3D dos chassis dos produtos, das conexões e dos tubos *biconnects*, para melhor definir esses módulos. A Figura 36 mostra os modelos 3D das unidades condensadoras e a Figura 37 mostra as conexões e os tubos *biconnects*.

Figura 36 - Modelamento 3D dos chassis das unidades condensadoras.



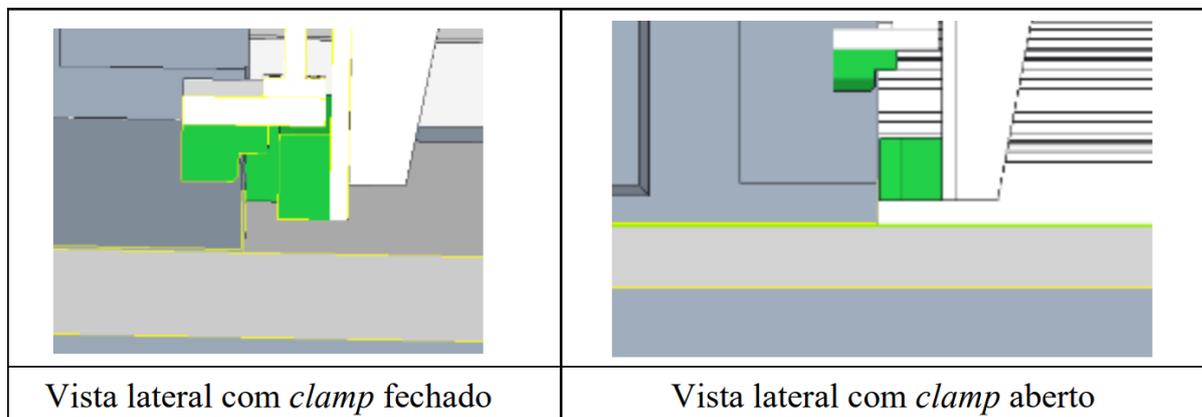
Fonte - Autor

Figura 37 - Modelamento 3D dos tubos *biconnects* e conexões.

Fonte - Autor

Dessa forma foi possível avaliar os detalhes dos pontos de contato do sistema de referenciamento mecânico nas unidades condensadoras. A Figura 38 mostra esses pontos de contato, onde podem ser observadas as peças emborrachadas (em verde) fixando o chassi, para dar firmeza mecânica e possibilitar que o braço robótico realize a operação de aplicação das etiquetas.

Figura 38 - Funcionamento do sistema de referenciamento mecânico das unidades condensadoras

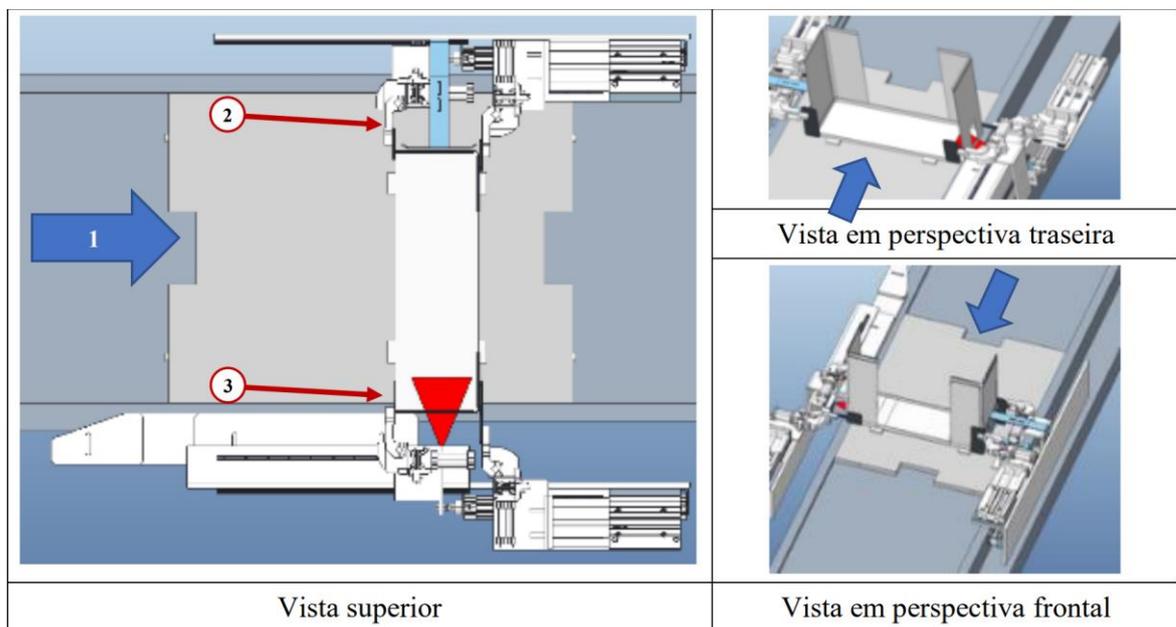


Fonte - Autor

Ao avaliar os movimentos dessa versão do sistema de referenciamento mecânico, observou-se os vários movimentos sequenciais que poderiam comprometer o tempo de operação da célula. Nesse sentido, foi estudado um novo sistema de referenciamento mecânico onde cada mecanismo possa operar de forma paralela, diminuindo o tempo de

operação. A Figura 39 mostra a segunda versão do sistema de referenciamento mecânico, onde são realizados, de forma simultânea, os referenciamentos da parte traseira e da parte frontal das unidades condensadoras. Com a chegada da unidade condensadora em cima do palete (legenda 1), o sistema de referenciamento traseiro (legenda 2) irá atuar ao mesmo tempo que o sistema de referenciamento frontal (legenda 3), corrigindo quaisquer desalinhamentos que a unidade condensadora possa ter.

Figura 39 - Segunda versão do sistema de referenciamento mecânico das unidades condensadoras.

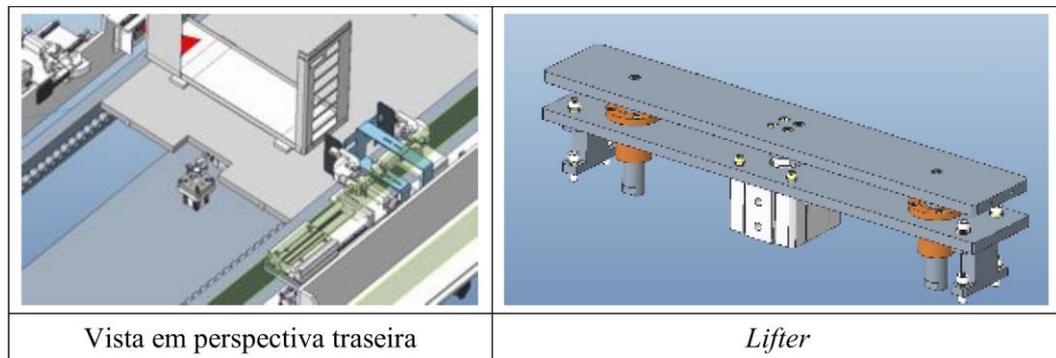


Fonte - Autor

Inicialmente os sistemas estarão com os *fingers* (dedos) abertos. Quando a unidade condensadora entrar na célula, os *fingers* serão acionados, mas os sistemas permanecerão abertos (legenda 2). Em seguida, os sistemas serão acionados e os *fingers* irão se movimentar fechando, para referenciar a unidade condensadora de forma alinhada com a célula de aplicação automática das etiquetas de identificação.

Para completar esse sistema de referenciamento das unidades condensadoras, foi desenvolvido um sistema de elevação do palete com a unidade condensadora, com o objetivo de desacoplar esse palete da esteira de roletes da linha de produção, eliminando quaisquer vibrações mecânicas que possam interferir na operação de aplicação automática das etiquetas de identificação, utilizando o braço robótico. A Figura 40 mostra esse sistema de elevação que foi desenvolvido, composto por 1 *stopper* e 1 *lifter*.

Figura 40 - Sistema de elevação do palete.



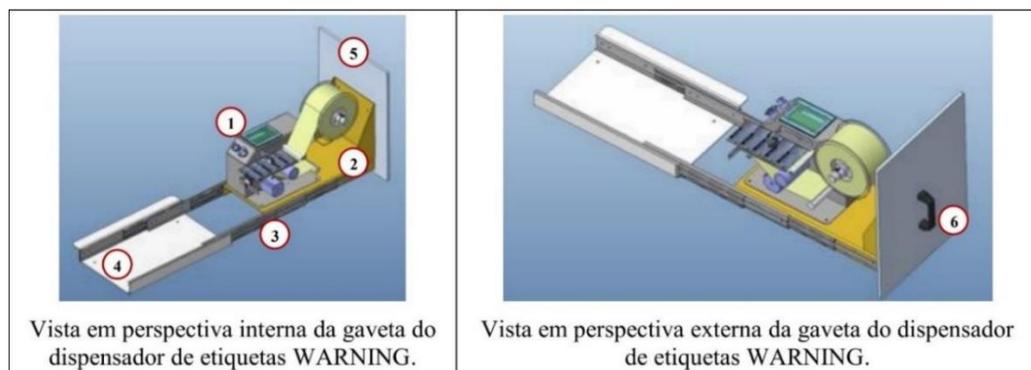
Fonte - Autor

Após o desenvolvimento, este sistema de elevação foi apresentado ao time da multinacional que, temendo um aumento no tempo de ciclo final da célula, solicitou que ele fosse removido do projeto, e dessa forma, não foi realizado o detalhamento 2D nem a fabricação desse sistema.

### 3.9.4. Módulo de Impressoras e Dispensador de Etiquetas

A Figura 41 mostra o desenvolvimento do módulo do dispensador de etiquetas WARNING (legenda 1), incluindo sua gaveta. A bandeja de fixação é composta por um suporte (legenda 2), parafusado em conjuntos de trilhos (legenda 3) parafusados numa chapa da estrutura principal da célula (legenda 4). Adicionalmente, uma peça metálica de proteção (legenda 5), possibilita o enclausuramento, bem como tem uma alça de abertura e fechamento (legenda 6).

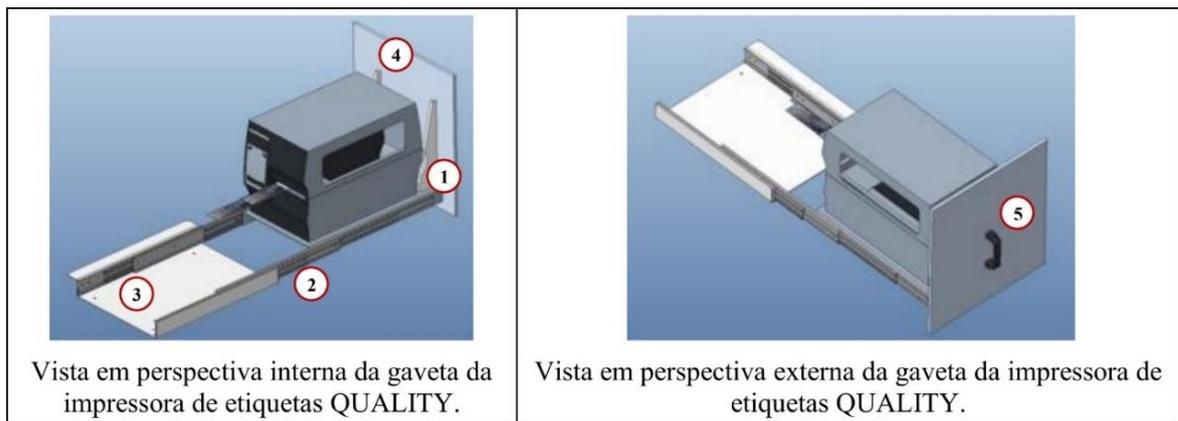
Figura 41 - Gaveta do dispensador de etiquetas WARNING.



Fonte - Autor

A Figura 42, similarmente a anterior, mostra o desenvolvimento da gaveta da impressora de etiquetas QUALITY. A bandeja de fixação é composta por um suporte (legenda 1), parafusado em trilhos (legenda 2) parafusados numa chapa fixada na estrutura principal da célula (legenda 3). Uma peça metálica (legenda 4), possibilita o enclausuramento, bem como tem uma alça de abertura e fechamento (legenda 5).

Figura 42 - Gaveta da impressora de etiquetas QUALITY.

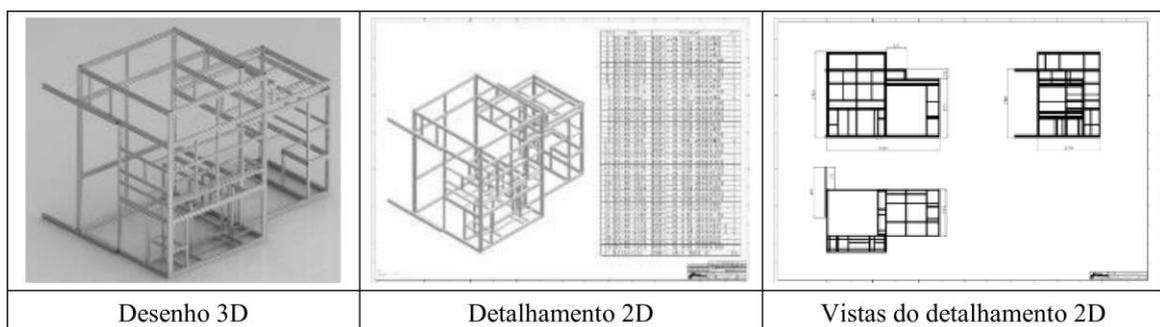


Fonte - Autor

### 3.10. ESTRUTURA DE ENCLAUSURAMENTO

Paralelamente, seguiu-se com o detalhamento do projeto 3D da estrutura de enclausuramento do projeto, com todos os pontos de apoio para os módulos internos e o detalhamento 2D para a fabricação, com o objetivo de isolar a área de trabalho da célula de automação do meio externo onde circulam os operadores da planta. A Figura 43 mostra o projeto da estrutura principal.

Figura 43 - Projeto da Estrutura de Enclausuramento



Fonte - Autor

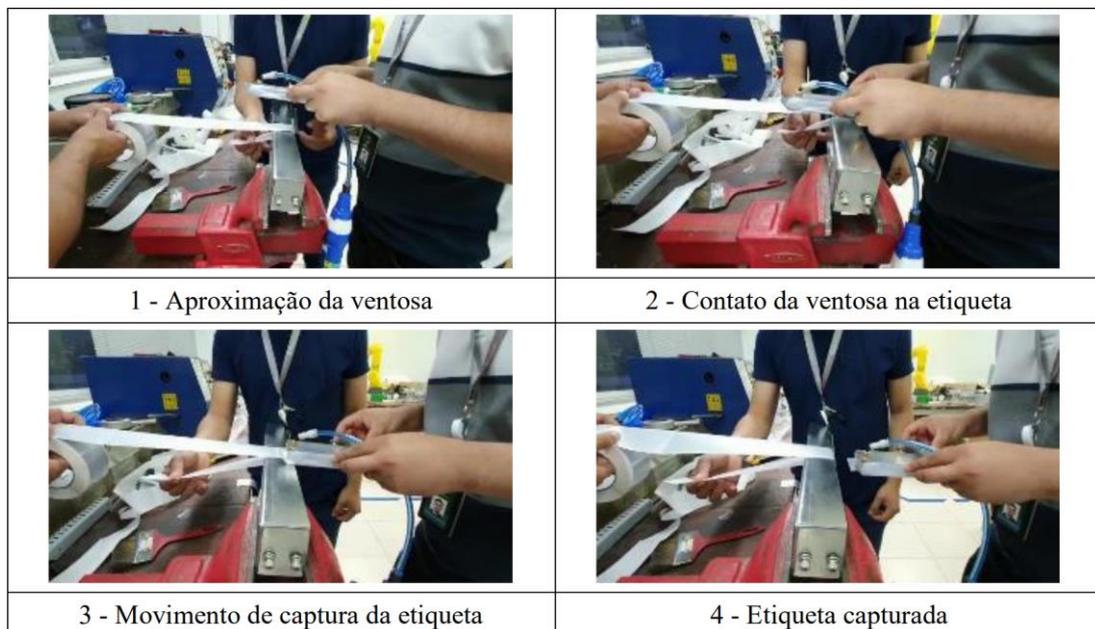
Em seguida foi elaborado o detalhamento 2D do enclausuramento, composto por chapas de policarbonato transparente, para dar visibilidade ao interior da célula, visto que este era um requisito do projeto, bem como chapas fechadas na parte inferior da célula, com mais resistência mecânica para possibilitar mais segurança nesses pontos específicos da célula.

### 3.11. GARRA DO BRAÇO ROBÓTICO

A função da garra é coletar as etiquetas e aplicá-las na lateral dos produtos. Sendo de um material não rígido, a estratégia de coleta das etiquetas não é através de uma garra convencional de uma garra com dedos simulando uma mão humana. Um sistema com ventosas convencionais também não pode ser utilizado, porque poderia deformar as etiquetas e as inutilizariam antes mesmo da aplicação.

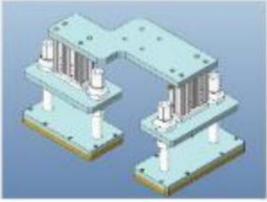
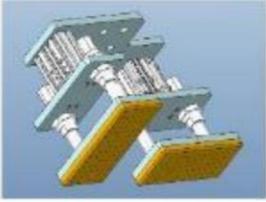
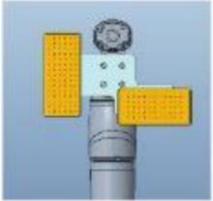
Procurando resolver este desafio, com o auxílio do time de manutenção da empresa multinacional, foi realizado um experimento com um sistema utilizando ar-comprimido e um gerador de vácuo, de forma similar as ventosas convencionais que capturam objetos rígidos, entretanto, como as etiquetas são flexíveis, foi projetado uma garra com um sistema de vácuo numa base rígida para manter as etiquetas retas, sem amassá-las.

Figura 44 - Prova de conceito de captura da etiqueta.



Na Figura 45 estão expostas as etapas da prova de conceito realizada. Inicialmente o sistema de vácuo é acionado na ventosa rígida, que tem o formato da etiqueta (legenda 1). Em seguida é feito o contato da ventosa na superfície da etiqueta (legenda 2). Realizando um movimento oposto ao movimento do rolo da etiqueta, a ventosa captura a etiqueta (legenda 3). Com a etiqueta completamente capturada, pode ser movimentada até o local de aplicação (legenda 4).

Figura 45 - Primeira versão da garra de captura a aplicação das etiquetas.

		
Vista em perspectiva superior	Vista em perspectiva inferior	Garra fixada no braço robótico
		
Vista frontal da garra	Ventosa da garra	Base da garra
		
Vista frontal da garra montada	Vista lateral da garra montada	Garra montada no braço robótico

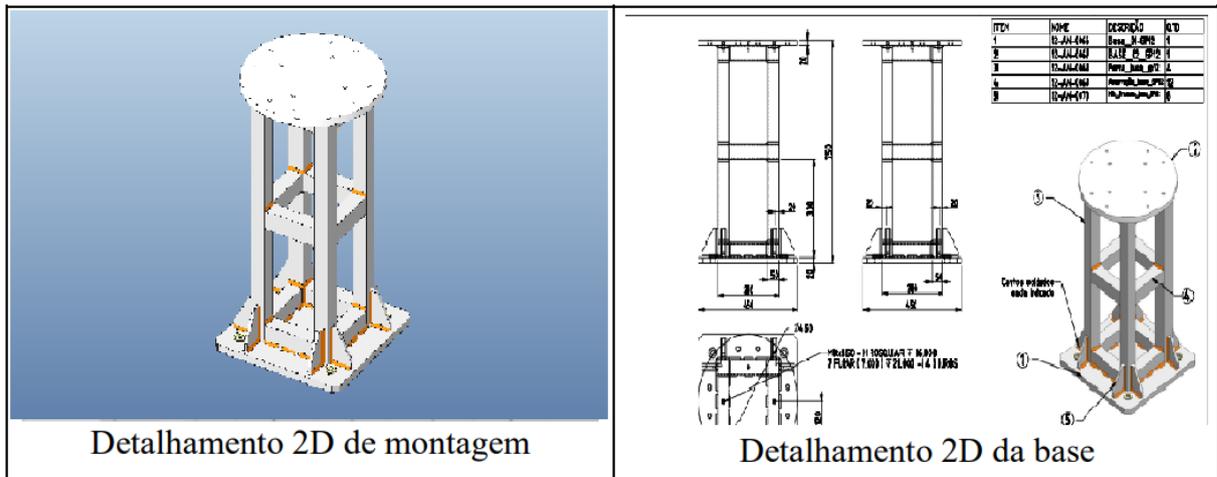
Fonte - Autor

Com a validação técnica deste conceito, seguiu-se com o projeto da primeira versão da garra do braço robótico, como mostrado na Figura 45

### 3.12. BASE DE FIXAÇÃO DO BRAÇO ROBÓTICO

Para o posicionamento e fixação do braço robótico, foi projetado uma base compacta e com uma altura necessária para que o braço pudesse realizar a captura, movimento e aplicação das etiquetas de forma rápida e dentro do tempo de ciclo do processo produtivo, mostrada na Figura 46.

Figura 46 - Desenvolvimento da base do braço robótico.



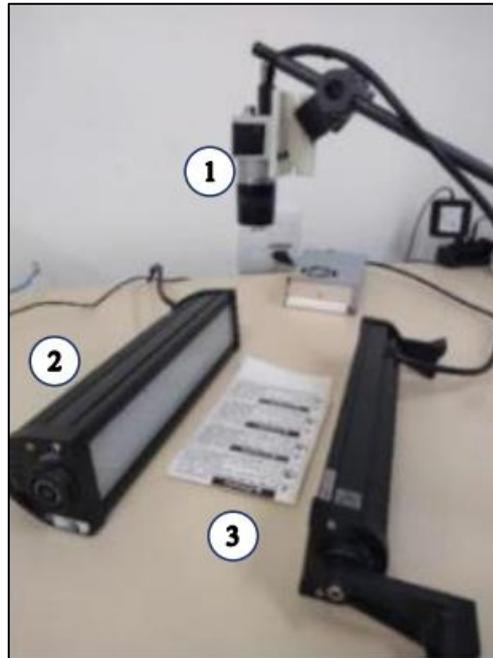
Fonte - Autor

### 3.13. INSPEÇÃO DE QUALIDADE DAS ETIQUETAS

Para a inspeção de qualidade das etiquetas, o time de iniciou-se um estudo conceitual para atender ao requisito de inspeção de qualidade das etiquetas impressas, através de um sistema de visão. De acordo com informações fornecidas pelo time da empresa multinacional, esse sistema de visão deve ter funcionalidades para inspecionar os códigos de barra impressos na etiqueta QUALITY, bem como os possíveis erros de impressão relacionados a diversos tipos de falhas de impressão.

A Figura 47 mostra a montagem da prova de conceito, com uma câmera de 4 megapixels (legenda 1), sistema de iluminação (legenda 2) e as etiquetas inspecionadas (legenda 3). Foram realizadas provas de conceito com as etiquetas WARNING e QUALITY, onde se obteve resultados favoráveis desses testes.

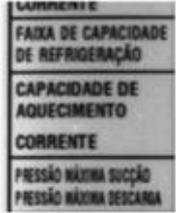
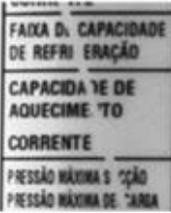
Figura 47 - Prova de conceito do sistema de visão para a inspeção das etiquetas WARNING e QUALITY.



Fonte - Autor

O espaço útil obtido nos testes, com uma lente de 9mm foi de 210mm, medindo da lente ao objeto. Ao considerar o tamanho da câmera e uma distância adicional para as conexões e cabos, a altura mínima estimada para a instalação do sistema é de 330 mm. Nesta configuração os melhores resultados foram obtidos com a lente de 9mm, proporcionando um campo de visão com uma área de inspeção de 160 mm x 120 mm, um tamanho adequado para a visualização das etiquetas WARNING e QUALITY. A Figura 48 exemplifica os testes realizados, a partir do software de captura de imagens desenvolvido, inicialmente com indexação manual. Nas imagens mais à direita a intensidade de branco mostra os pontos em que há diferença entre as imagens, destacando as falhas.

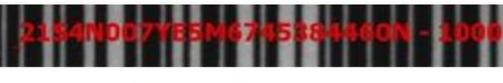
Figura 48 - Testes realizados de inspeção de qualidade das etiquetas.

		
		
		
		
Imagem de referência	Etiqueta inspecionada	Resultado da ferramenta

Fonte - Autor

Para leitura dos códigos de barras foi utilizada uma ferramenta que realiza a interpretação do código e devolve um “score” (Certeza de medição). Dessa forma, a Figura 49 exemplifica, a partir da leitura código na figura a esquerda, os resultados da leitura do programa, com o valor interpretado e o “score” da ferramenta.

Figura 49 - Testes de leitura dos códigos de barras das etiquetas.

	
Leitura do código	Resultado da leitura
	
Leitura do código	Resultado da leitura
	
Leitura do código	Resultado da leitura
	
Leitura do código	Resultado da leitura

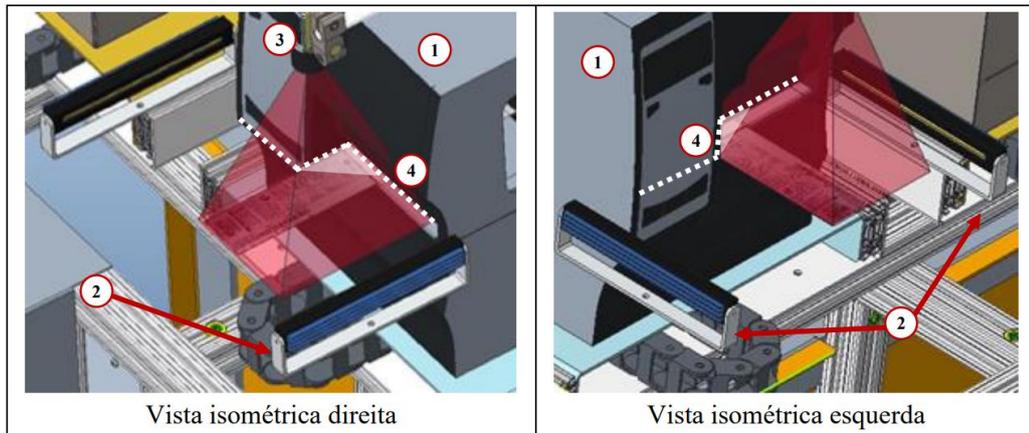
Fonte – Autor

Como observado no resultado dos testes de leitura dos códigos de barras, a ferramenta de leitura consegue realizar a leitura dos códigos. Foram simuladas algumas situações de falha, para a realização de um teste inicial de robustez da ferramenta de leitura. Foram necessários testes adicionais para identificar as condições de contorno da ferramenta de leitura, entretanto, observou-se que algumas falhas de impressão não impossibilitam a leitura. Nesse sentido, realizou-se o cruzamento de informações entre as inspeções visuais com as leituras de código de barras, para sinalizar ao inspetor do final da linha a realização de um julgamento final.

Com base nessa prova de conceito, foram dimensionadas as luminárias e as câmeras de inspeção de qualidade. Entretanto, ao tentar utilizar o mesmo posicionamento das luminárias, de acordo com a prova de conceito, foram observadas dificuldades de posicionamento das luminárias e do ajuste da altura das câmeras de inspeção de qualidade, para que seja possível realizar capturas de imagens nítidas para o software de inspeção de imagem realizar uma boa inspeção. Também foi observada uma dificuldade de acesso para a garra do braço robótico capturar mecanicamente as etiquetas sem colidir com as luminárias ou câmeras.

A Figura 50 mostra as vistas isométricas direita e esquerda da impressora das etiquetas QUALITY (legenda 1), com o posicionamento inicial das luminárias (legenda 2) e da câmera de inspeção de imagem (legenda 3). Em função da impressora ter uma abertura de saída da etiqueta com um recuo na parte direita, a luminária esquerda não ilumina toda a etiqueta, gerando uma região de sombra (legenda 4), que dificulta a captura de uma imagem nítida pela câmera. Para resolver esse desafio, foram estudadas possíveis mudanças no posicionamento das luminárias, mas nenhum ajuste dessas posições se comportou de forma satisfatória.

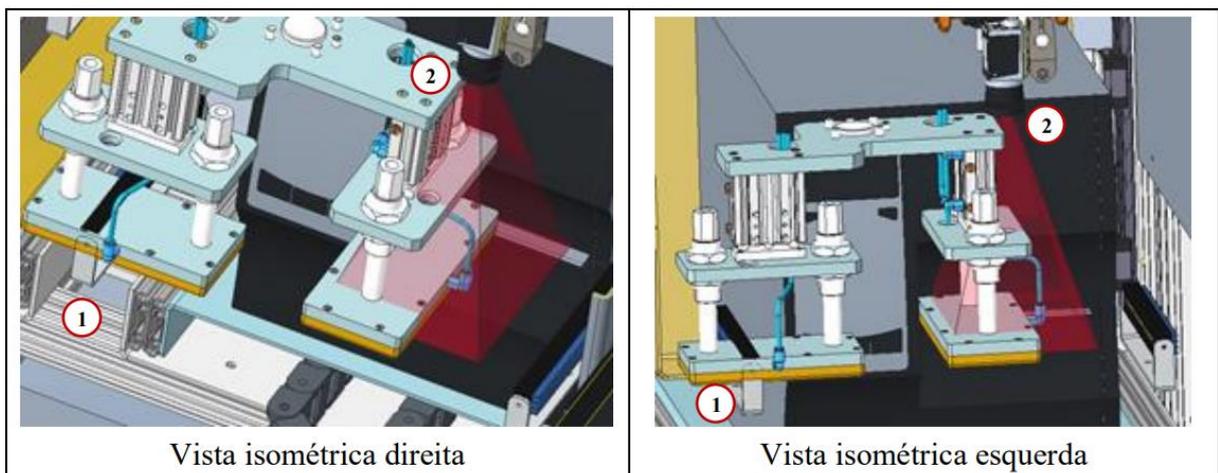
Figura 50 - Posicionamento das luminárias e da câmera de inspeção de imagem.



Fonte – Autor

A Figura 51 mostra as interferências mecânicas da garra para capturar a etiqueta QUALITY. A primeira interferência é entre a garra e a luminária esquerda (legenda 1). A segunda interferência é em função da reduzida distância entre a garra e a câmera (legenda 2).

Figura 51 – Posicionamento da garra para captura da etiqueta QUALITY.

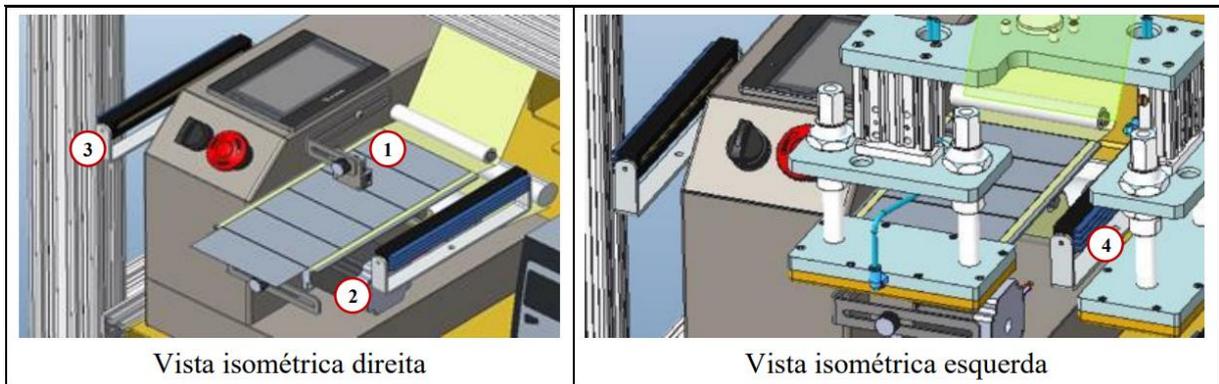


Fonte – Autor

No caso do dispensador de etiquetas WARNING, como mostrado na Figura 52, a primeira interferência é em função do sensor de movimentação do dispensador, que foi projetado para detectar o movimento na face superior do rolo de etiquetas (legenda 1). Entretanto, nessa posição ele obstrui, não somente as câmeras, como também a direção do feixe de luz da luminária direita (legenda 2). A segunda interferência é a própria estrutura

esquerda do dispensador, que obstrui totalmente a luminária esquerda (legenda 3). Por fim, a garra também tem interferência com a luminária esquerda (legenda 4).

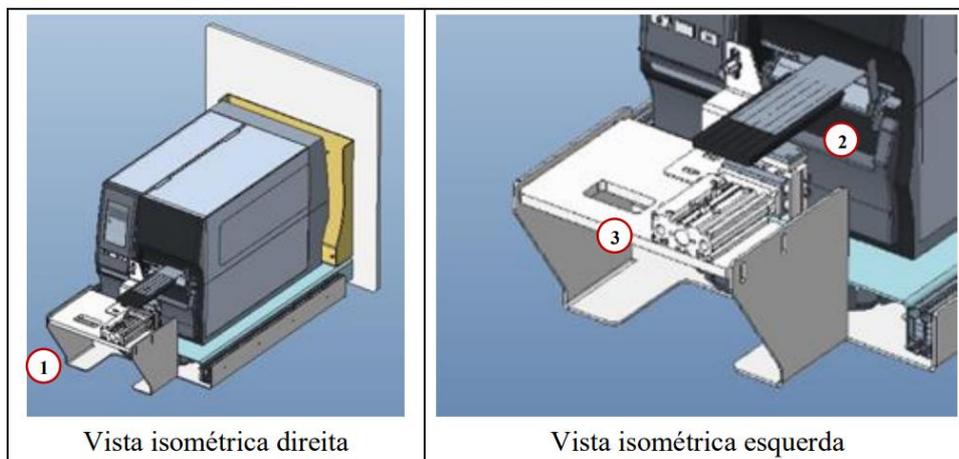
Figura 52 - Posicionamento das luminárias e da garra para captura da etiqueta WARNING.



Fonte – Autor

Para solucionar o desafio de posicionamento das luminárias, gerando a sombra que dificulta a inspeção de imagem pela câmera, a Figura 53 mostra o mecanismo elaborado como solução. Esse mecanismo tem uma base frontal, acoplada na bandeja da impressora (legenda 1). Sob essa base foi adicionado um mecanismo que destaca a etiqueta QUALITY e a posiciona de forma avançada (legenda 2), tirando a etiqueta da região onde acontecia a sombra. Um atuador fixo na base frontal (legenda 3) é responsável pelo movimento de retirada da etiqueta, posicionando-a fora da região onde anteriormente haveria a sombra.

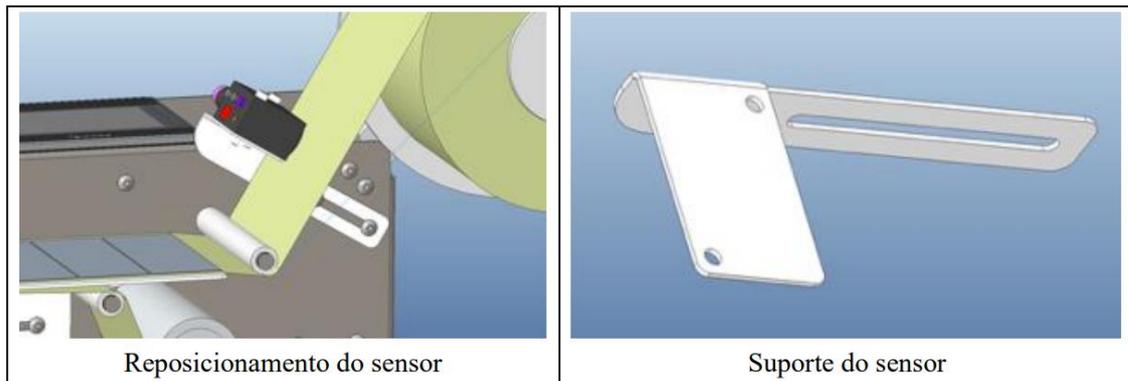
Figura 53 - Desenvolvimento do mecanismo de retirada da etiqueta QUALITY.



Fonte – Autor

Para solucionar o desafio do sensor de movimentação do dispensador das etiquetas WARNING, o posicionador do sensor foi reprojeto para posicionar o sensor na lateral do dispensador, e assim evitar que ele obstrua o campo de visão da câmera, como mostrado na Figura 54.

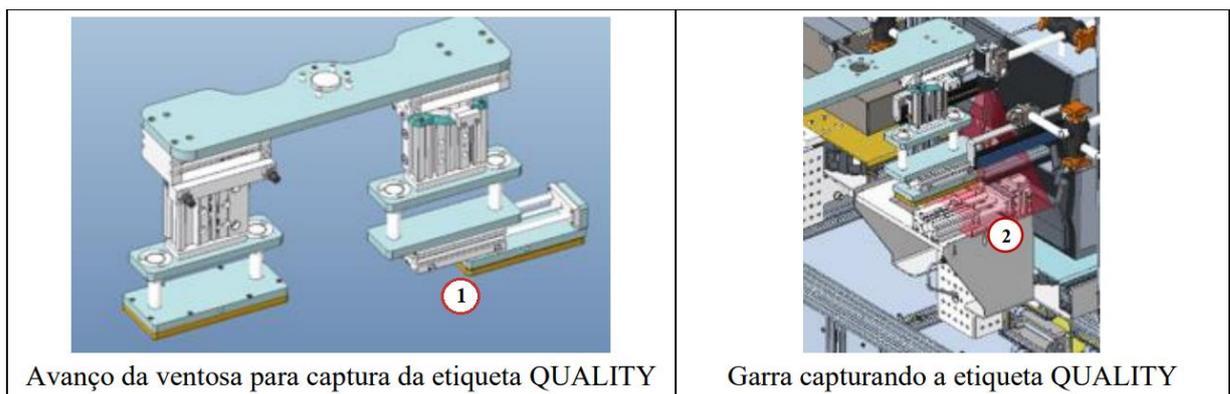
Figura 54 - Reposicionamento do sensor de movimentação do dispensador das etiquetas WARNING.



Fonte – Autor

Para solucionar o desafio de interferências mecânicas da garra para capturar a etiqueta QUALITY, foi desenvolvida uma nova garra, com um atuador que possibilite um avanço adicional da ventosa de pegada da etiqueta, como mostrado na Figura 55 (legenda 1), evitando colisão com a estrutura de iluminação (legenda 2).

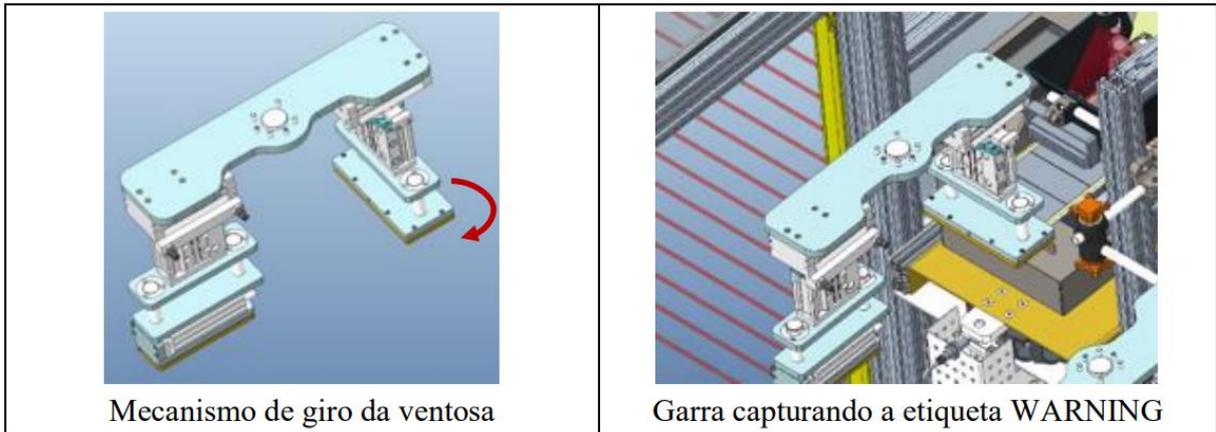
Figura 55 - Nova garra de captura das etiquetas (Lado da etiqueta QUALITY).



Fonte – Autor

Com relação a captura da etiqueta WARNING, a nova garra possui um atuador que gira a ventosa e evita colisões com as luminárias posicionadas para a inspeção de qualidade, como mostrado na Figura 56.

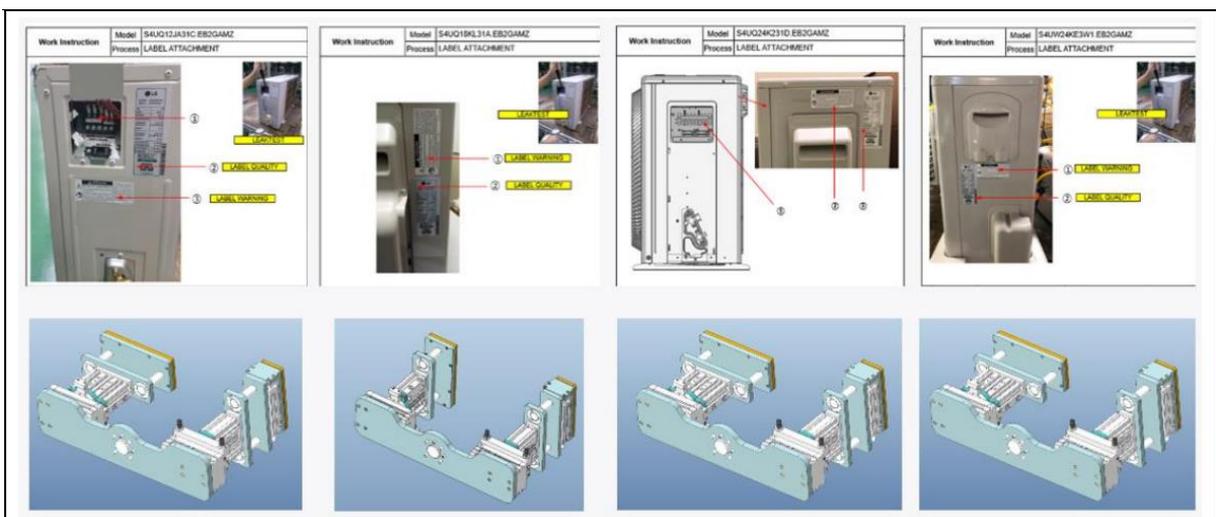
Figura 56 - Nova garra de captura das etiquetas (Lado da etiqueta WARNING).



Fonte – Autor

Os mecanismos de giro das ventosas da garra possibilitam também que ela seja programada para a aplicação das etiquetas QUALITY e WARNIG nas diversas configurações de layouts de aplicação dos diversos produtos da LG, independente do giro do braço robótico. Um engenhoso conceito que dá flexibilidade à solução, bem como velocidade ao ciclo da célula, por possibilitar uma atuação independente da garra e do braço robótico, durante os movimentos de captura e aplicação das etiquetas nas unidades condensadoras. A Figura 57 ilustra essas configurações de posicionamento da garra para os produtos de 9KBTU, 12KBTU, 18KBTU e 24KBTU.

Figura 57 — Configurações de posicionamento da nova garra de aplicação das etiquetas.

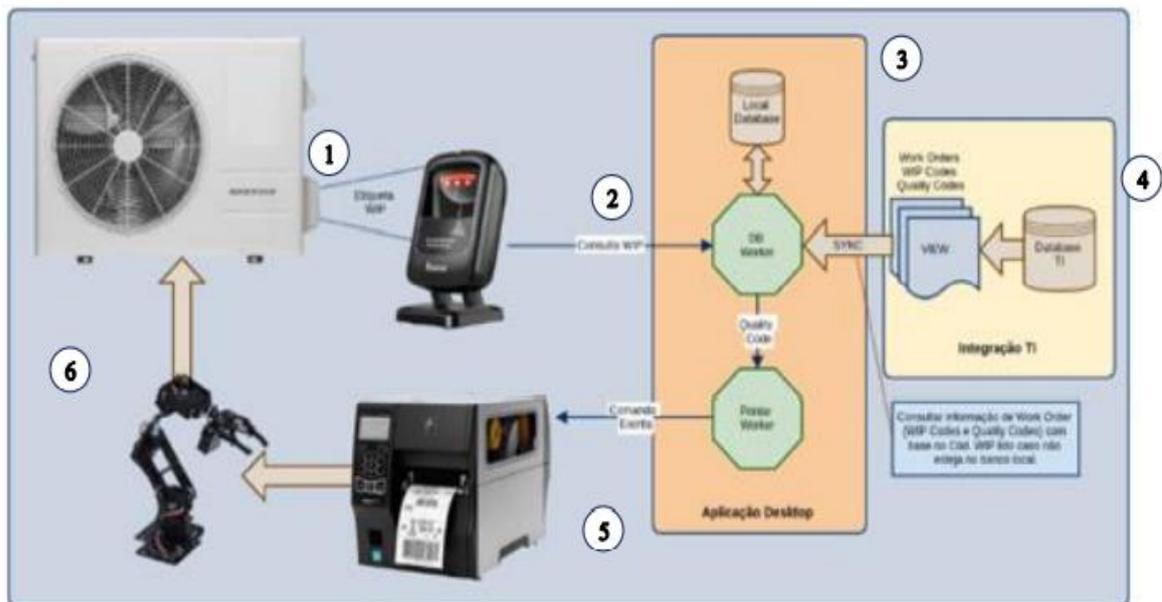


Fonte – Autor

### 3.14. PRIMEIRO CONCEITO DE SOFTWARE E GERENCIAMENTO DA CÉLULA

Paralelamente ao desenvolvimento mecânico e de automação, foi elaborado o conceito do software de gerenciamento da célula. A Figura 58 apresenta o primeiro conceito desse software, onde inicialmente é lida a informação da unidade condensadora no processo produtivo através da etiqueta WIP (legenda 1), que é adesivada no produto em um local no início do processo produtivo. O leitor de código de barras irá então enviar a informação para o software de gerenciamento que consultará a base de dados para saber quais informações serão impressas na etiqueta QUALITY (legenda 2). Essas informações estarão armazenadas em uma base de dados local (legenda 3), oriundas do banco de dados da empresa, obtidas através de uma API (*Application Programming Interface*) de integração, disponibilizada pelo setor de TI (legenda 4). De posse das informações a serem impressas, o software de gerenciamento irá enviar as informações para a impressão da etiqueta QUALITY (legenda 5) e disponibilizará a etiqueta para o braço robótico aplicar na unidade condensadora (legenda 6).

Figura 58 - Primeiro conceito do software de gerenciamento da célula.



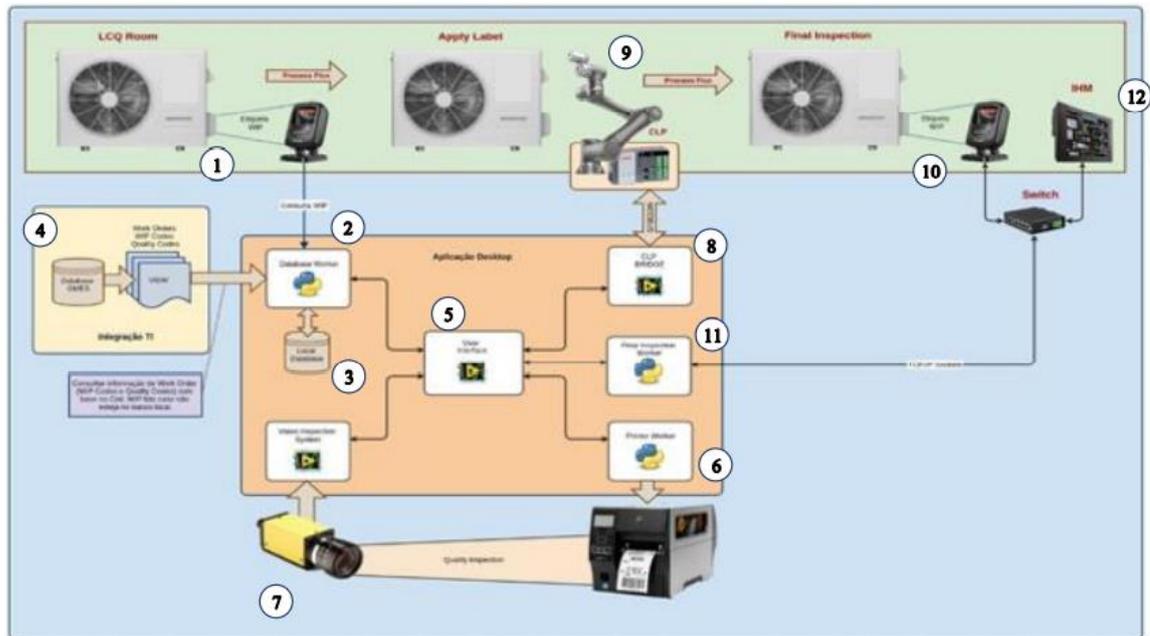
Fonte – Autor

### 3.15. SEGUNDO CONCEITO DE SOFTWARE E GERENCIAMENTO DA CÉLULA

Com o detalhamento obtido ao longo da elaboração dos conceitos da estrutura mecânica e de automação da célula, o conceito do software de gerenciamento da célula

evoluiu, detalhando os seus blocos de funcionamento, como pode ser mostrado na Figura 59. Inicialmente, é lida a informação da unidade condensadora no processo produtivo através da etiqueta WIP (legenda 1), que é adesivada na unidade condensadora em um local no início do processo produtivo. O leitor de código de barras irá então enviar a informação para o software de gerenciamento (legenda 2), que irá consultar a base de dados local para saber quais informações serão impressas na etiqueta QUALITY (legenda 3). Essas informações armazenadas na base de dados local são oriundas do banco de dados da empresa, obtidas através de uma API de integração, disponibilizada pelo setor de TI (legenda 4). De posse das informações a serem impressas, o módulo central do software de gerenciamento (legenda 5) irá enviar as informações para a impressão da etiqueta QUALITY (legenda 6). Uma vez impressa, a etiqueta será inspecionada com o uso de uma câmera de alta resolução (legenda 7). O módulo central do software de gerenciamento então irá se comunicar como o módulo de controle do braço robótico (legenda 8), que fará o controle da aplicação da etiqueta na unidade condensadora (legenda 9). Todas as informações referentes as inspeções e aplicações serão armazenadas no banco de dados da célula e, quando a unidade condensadora chegar no final da linha de produção, será realizada uma nova leitura (legenda 10). Com base nessa leitura, o módulo de confirmação (legenda 11), irá consultar o banco de dados e informar na tela da IHM o status da unidade condensadora (legenda 12), quando o inspetor desse posto fará a última confirmação de qualidade, antes de liberar a unidade condensadora para o processo de embalagem.

Figura 59 - Segundo conceito do software de gerenciamento da célula.



Fonte – Autor

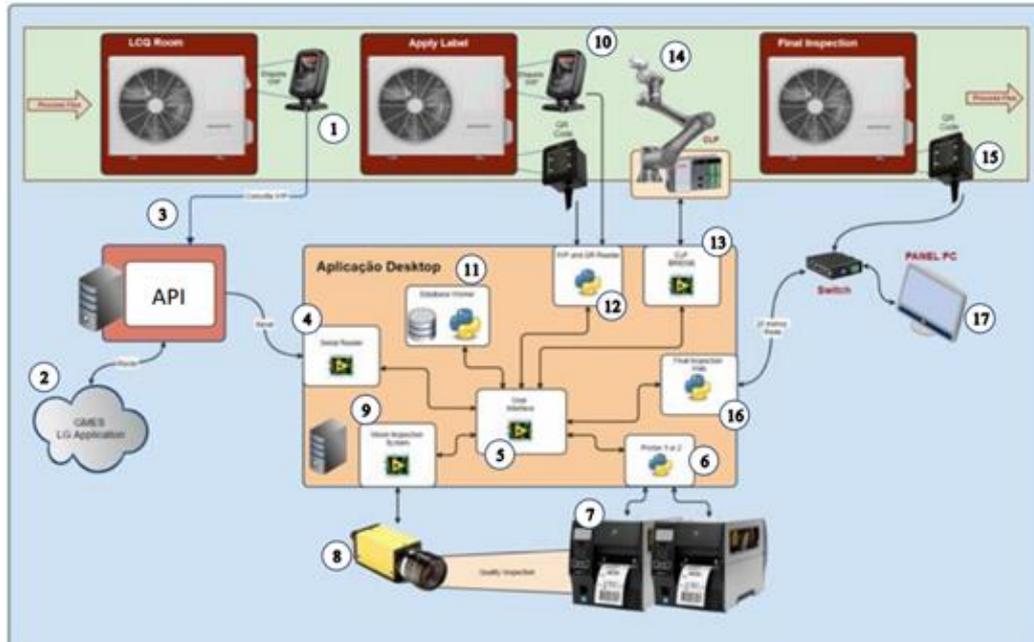
Ao apresentar o segundo conceito do software de gerenciamento ao time de TI da empresa, algumas ressalvas foram feitas, em função da dificuldade de integração com o banco de dados. O time de TI informou a existência de uma API similar a essa sugerida, atualmente utilizada em outra linha de produção da multinacional, e dessa forma, por questões de restrições da divisão corporativa de TI, na matriz, o uso dessa API similar é fortemente recomendada. Com esse direcionamento, elaborou-se um terceiro conceito do software de gerenciamento.

### 3.16. TERCEIRO CONCEITO DE SOFTWARE E GERENCIAMENTO DA CÉLULA

No terceiro conceito, mostrado na Figura 60, a leitura da informação do produto na unidade condensadora (legenda 1) inicia a operação de consulta ao banco de dados da empresa (legenda 2) através da API de consulta (legenda 3). Essa API envia as informações da etiqueta a ser impressa para um módulo de coleta de arquivos ZPLs (legenda 4). O módulo central do software de gerenciamento (legenda 5) envia as informações a serem impressas para o módulo de gerenciamento das impressoras (legenda 6), que está conectada diretamente nas impressoras e direciona a impressão para a impressora que estiver ativa (legenda 7). Uma

vez impressas, as etiquetas serão inspecionadas pelas câmeras (legenda 8), acopladas ao módulo de processamento de imagem (etiqueta 9). O leitor de código de barras (legenda 10), irá capturar as informações de identificação das unidades condensadoras e armazenar na base de dados local (legenda 11), através do módulo de referenciamento das unidades condensadoras (legenda 12). As informações no banco de dados irão compor os logs de dados das etiquetas impressas. O módulo de gerenciamento do braço robótico (legenda 13) irá informar o momento exato que o braço robótico deverá aplicar as etiquetas (legenda 14). Todas as informações referentes as inspeções e aplicações serão armazenadas no banco de dados da célula e, quando as unidades condensadoras chegarem no final da linha de produção, será realizada uma nova leitura (legenda 15). Com base nessa leitura, o módulo de confirmação (legenda 16), irá consultar o banco de dados e informar na tela da IHM o status da unidade condensadora (legenda 17), quando o inspetor desse posto fará a última confirmação de qualidade, antes de liberar a unidade condensadora para o processo de embalagem.

Figura 60 - Terceiro conceito do software de gerenciamento da célula.



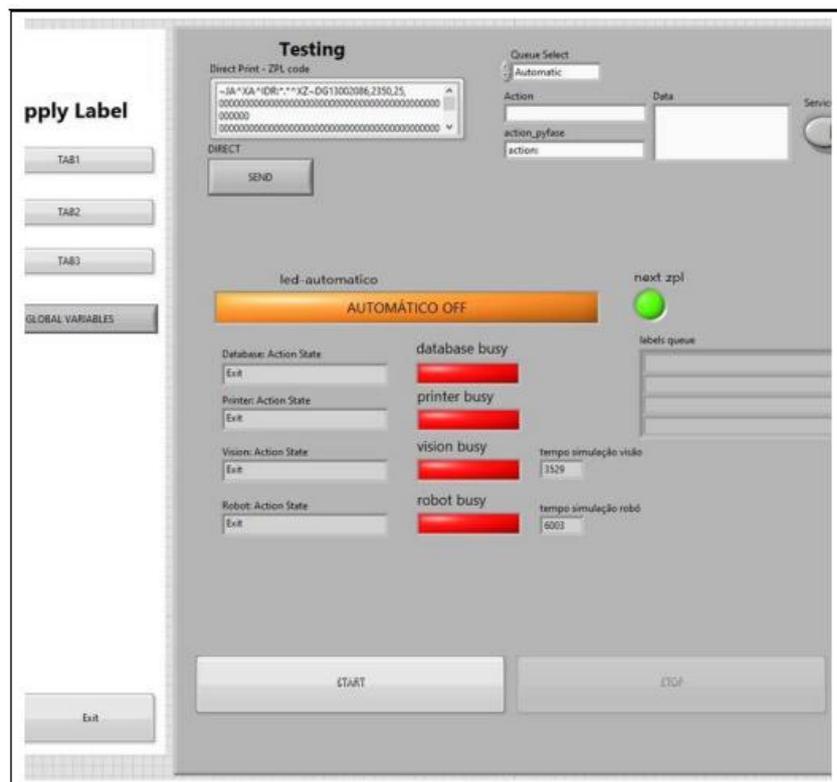
Fonte – Autor

Após todas as considerações e aprovação deste terceiro conceito do software de gerenciamento da célula, foi dado início ao desenvolvimento do software utilizando as linguagens *LabVIEW* e *Python*.

### 3.17. THREADS PARA AS PRINCIPAIS FUNÇÕES

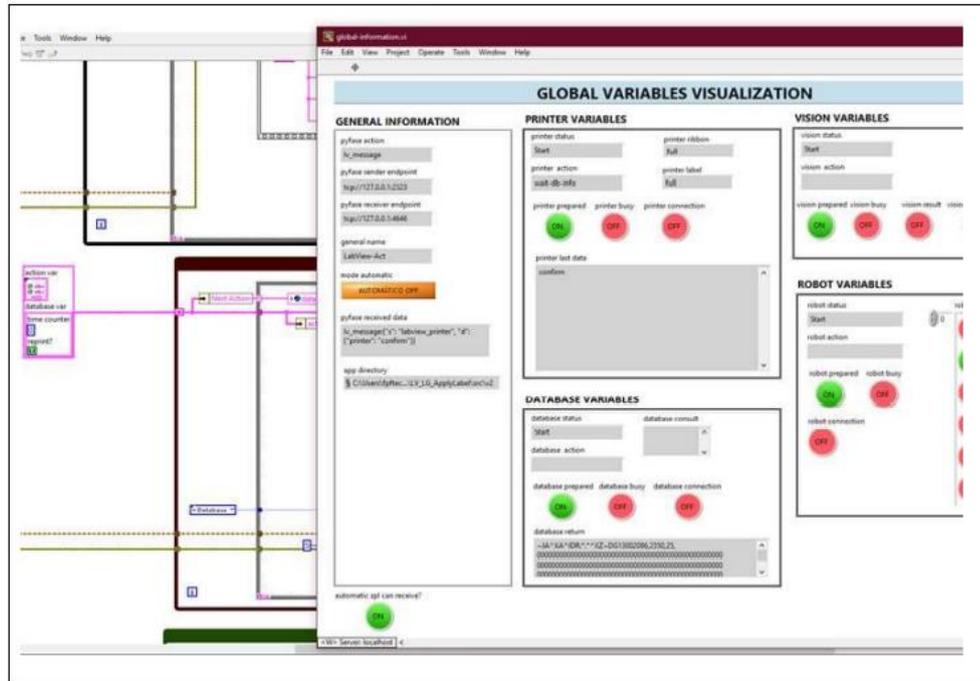
Para o desenvolvimento das principais funcionalidades do software, foi criada uma tela de simulação dessas principais funções. A Figura 61 e a Figura 62 mostram essas telas. A simulação compõe os testes das funções principais para realizar o controle dos equipamentos e ter uma visualização do passo-a-passo. Para tal, foram desenvolvidos subprogramas (*threads*), utilizando a plataforma *LabVIEW*, para trabalhar como subsistemas e dividir o processamento em diversas tarefas paralelas. Essas tarefas múltiplas são executadas simultaneamente para rodar mais rápido que o programa principal, por estarem sendo executadas em conjunto. Os *threads* foram divididos em (i) Acesso ao Banco de Dados, (ii) Impressora, (iii) Sistema de Visão e (iv) Sistema robótico, onde cada subprograma possui funções compostas de uma variável que é manipulada durante a execução dos testes.

Figura 61 - Tela de simulação das principais funções do software



Fonte – Autor

Figura 62 - Tela de monitoramento dos subprogramas.



Fonte – Autor

### 3.18. TESTES FUNCIONAIS

Os primeiros testes funcionais realizados no laboratório de desenvolvimento da empresa foram os testes de impressão das etiquetas QUALITY e WARNING, com a chegada da impressora e do dispensador, como mostrado na Figura 63. Os testes foram satisfatórios em termos de funcionalidade, entretanto possibilitaram a observação de interferências mecânicas que foram endereçadas ao time de desenvolvimento para solucionar, como as distâncias necessárias para a inclusão das luminárias e os espaços disponíveis para a entrada da garra de pegada das etiquetas.

Figura 63 - Testes iniciais de funcionamento do dispensador e da impressora.



Fonte – Autor

O segundo teste realizado, mostrado na Figura 64, foi o teste de impressão da etiqueta QUALITY, através da integração dos programas de leitura da etiqueta WIP, simulada por uma etiqueta impressa e capturada pelo leitor de códigos de barras. Em seguida o software de envio e recebimento de dados devolveu o arquivo ZPL e imprimiu na impressora 1, enquanto o programa de monitoramento de status identificou que a impressora 2 estava offline. Paralelamente, o programa de leitura de códigos QR realizou a leitura do código do palete, completando esse ciclo de simulações de forma satisfatória. Esse ambiente ficou montado no laboratório funcionando de forma ininterrupta por vários dias, para confirmar a robustez desse bloco de funcionalidades.

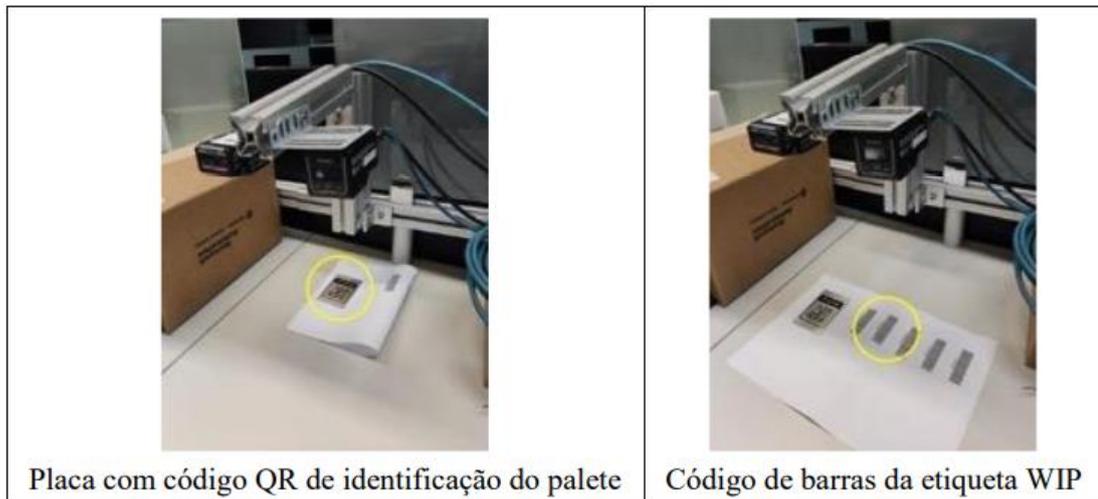
Figura 64 - Teste de impressão da etiqueta QUALITY



Fonte – Autor

A Figura 65 mostra uma vista detalhada dos leitores de código QR e código de barras, montados para a realização dos testes de impressão, utilizando a placa de identificação dos paletes (legenda 1) e o código de barras da etiqueta WIP (legenda 2).

Figura 65 - Detalhe dos leitores para o teste de impressão da etiqueta QUALITY.



Placa com código QR de identificação do palete

Código de barras da etiqueta WIP

Fonte – Autor

O braço robótico, juntamente com a garra foram montados em bancada, como mostra a Figura 66, para a realização de testes de movimentação, roteamento dos cabos, instalação da mangueira porta cabos, bem como testes de pegada e aplicação das etiquetas com as ventosas da garra. Os testes foram satisfatórios e este conceito de garra se mostrou preciso para a

pegada e aplicação, onde foram aplicadas várias etiquetas na mesma posição e não foram observadas variações (legenda 1).

Figura 66 - Montagem em bancada da garra no braço robótico.



Fonte – Autor

Os primeiros testes de iluminação das câmeras, mostrados na Figura 67, foram realizados em bancada, para o dimensionamento das luminárias e levantamento de riscos relacionados com nivelamento, abaulamento e possíveis deslocamentos verticais ou horizontais. Após esses testes, foram especificadas as luminárias, bem como ajustou a altura das câmeras, para a realização de testes na saída da impressora de etiquetas QUALITY, por ser a que apresentava maiores restrições de mecânicas. Esses ajustes de altura da câmera se apresentaram satisfatórios.

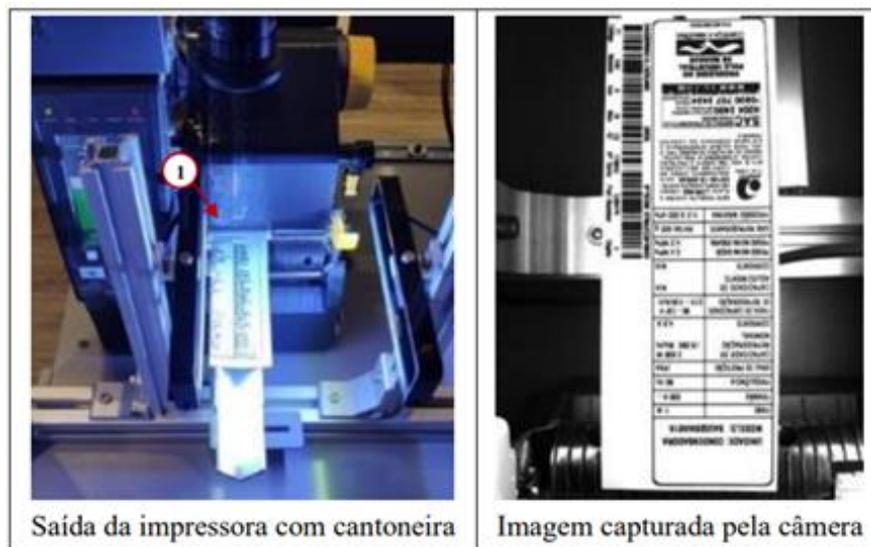
Figura 67 - Testes em bancada da iluminação e das câmeras.



Fonte – Autor

Com relação ao posicionamento das luminárias, como mostrado na Figura 68, observou-se que a impressora libera a etiqueta deslocada para o canto esquerdo (legenda 1), algo que precisou ser ajustado. Referente a qualidade da imagem capturada, primeiramente foi realizado um teste da saída da etiqueta com auxílio de cantoneira como apoio. Essa opção não se mostrou eficaz em função da cantoneira não ter apoio e, à medida que a etiqueta saía da impressora, exercia atrito com borda de apoio da cantoneira.

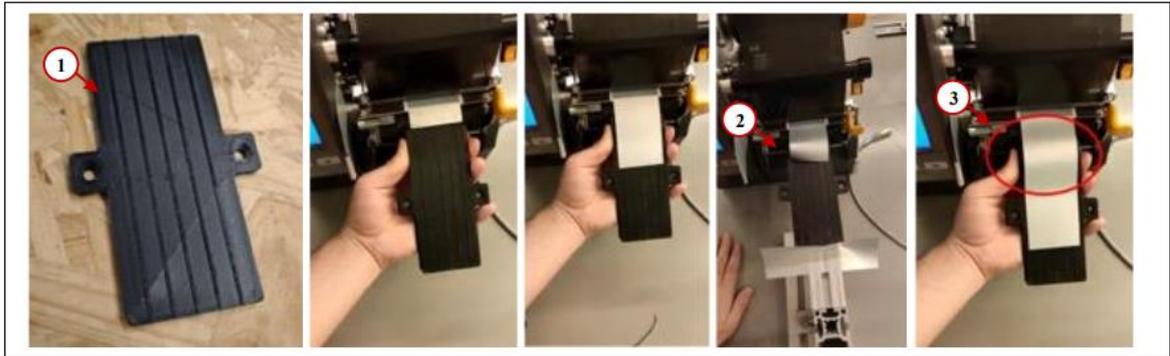
Figura 68 - Teste de saída da impressora com cantoneira de apoio.



Fonte – Autor

Foi então realizado um segundo teste, mostrado na Figura 69. Foi fabricada na impressora 3D uma base de apoio com frisos (legenda 1). Esses frisos têm a finalidade de diminuir o atrito e a adesão do adesivo da etiqueta na face do apoio da base, em seu trajeto de saída para destacamento. Os testes realizados não foram satisfatórios porque o material utilizado na impressão 3D ficou poroso e a etiqueta não deslizava perfeitamente (legenda 2) e ficava abaulada quando terminava a impressão (legenda 3).

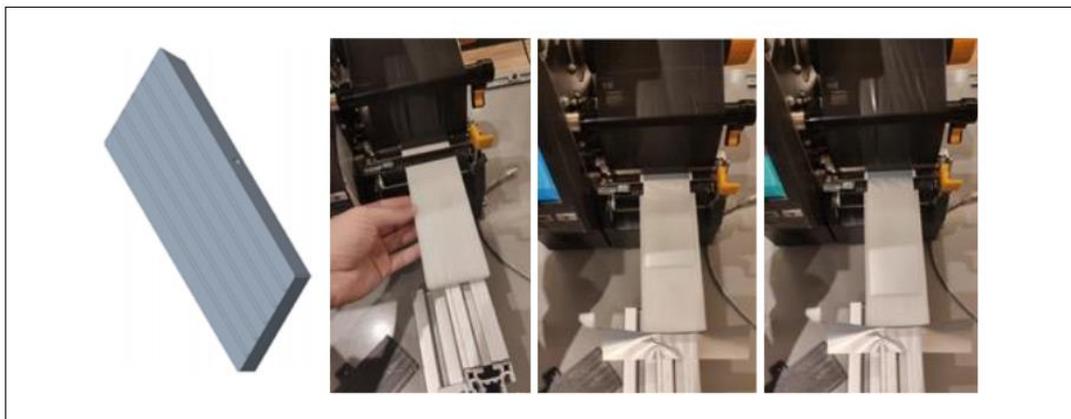
Figura 69 - Teste de saída da impressora com base impressa via 3D.



Fonte – Autor

Por fim, foi usinada uma peça com Poliacetal, com os mesmos frisos para diminuir atrito e a adesão do adesivo da etiqueta na face do apoio. Foram feitos vários testes com o uso da nova peça e este conceito apresentou um resultado muito bom, como mostrado na Figura 70. Concluiu-se que esse conceito é funcional e a peça é eficaz, podendo ser utilizada no projeto.

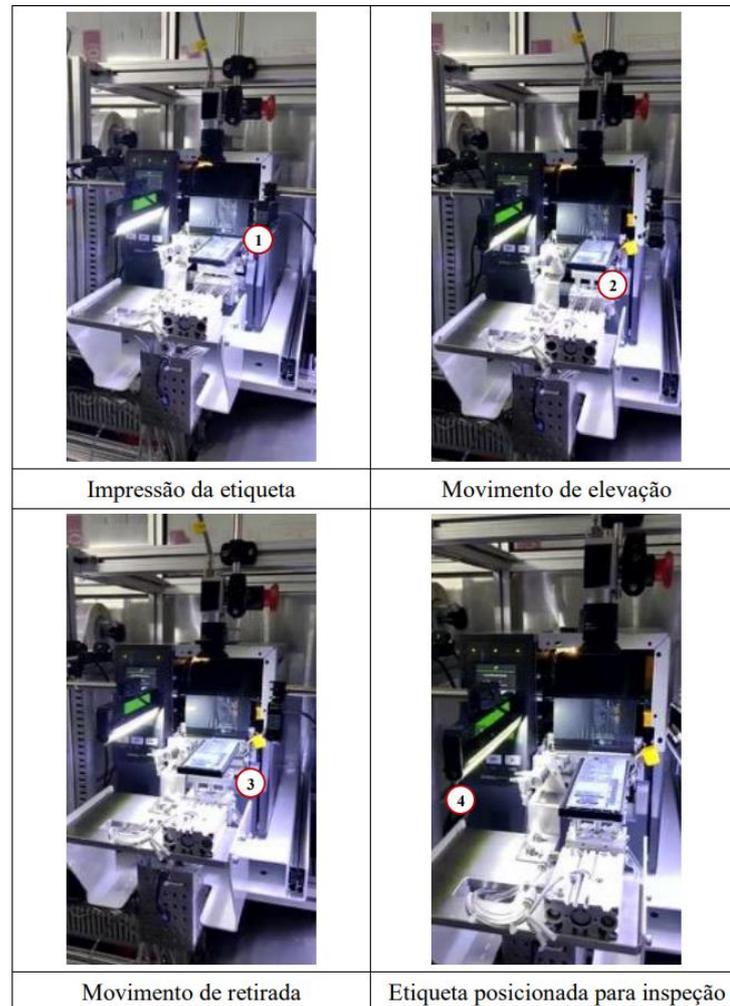
Figura 70 - Teste de saída da impressora com base usinada em Poliacetal.



Fonte – Autor

Com a montagem de todos os módulos de impressão, inspeção de imagem e destacamento da etiqueta, foram realizados testes funcionais englobando esses módulos. A Figura 71 mostra a impressão da etiqueta na base usinada (legenda 1). Em seguida, o módulo de destacamento realiza o movimento de subida (legenda 2) e o movimento de saída dá área sombreada da impressora (legenda 3). Nesse local é realizada a inspeção de qualidade da etiqueta e liberação para o braço robótico realizar a retirada da etiqueta.

Figura 71 - Teste funcional do mecanismo de retirada da etiqueta QUALITY.



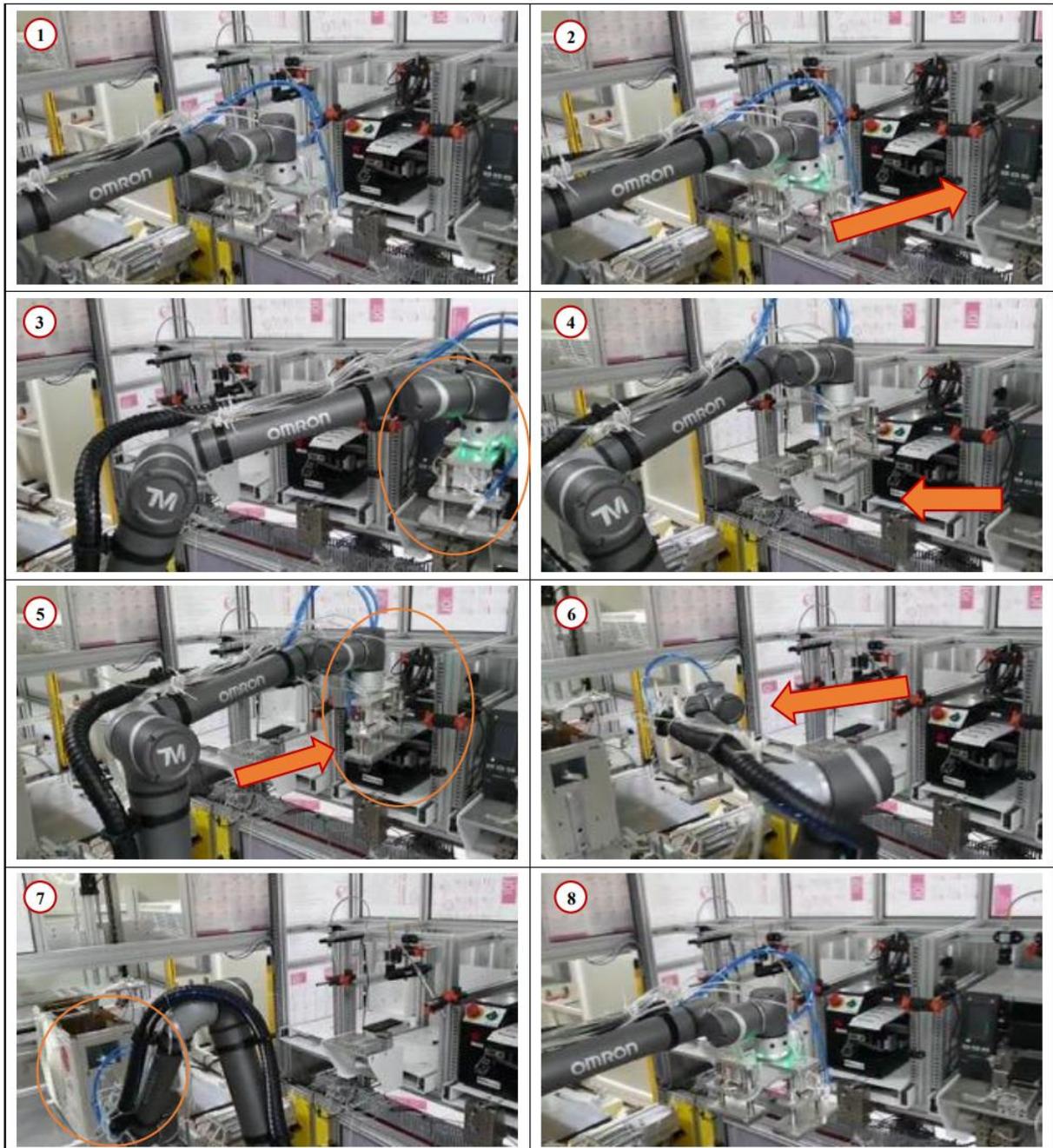
Fonte – Autor

### 3.19. TESTES SISTÊMICOS

Após os testes do mecanismo de retirada da etiqueta, realizou-se os testes sistêmicos, baseados em ciclos completos de funcionamento da célula, como mostrado na Figura 72. Inicialmente o braço robótico utilizado (robô colaborativo, modelo TM12 da empresa OMRON) encontra-se na posição inicial (legenda 1). Em seguida ele recebe o comando e se prepara para capturar a etiqueta QUALITY (legenda 2). Movimentando o braço e rotacionando a garra, a etiqueta QUALITY é capturada (legenda 3). Em seguida o braço robótico retorna à posição de referência (legenda 4), movendo-se em seguida para capturar a etiqueta WARNING. Após coletar a segunda etiqueta, o braço se movimenta em direção a unidade condensadora (legenda 6), e aplica as duas etiquetas na unidade, em 2 movimentos

sequenciais (legenda 7). Por fim, o braço robótico retorna à posição de origem, para iniciar um novo ciclo (legenda 8).

Figura 72 - Ciclo de captura e aplicação das etiquetas na unidade condensadora.



Fonte – Autor

Com o término dos testes sistêmicos no laboratório, a automação ficou pronta para a realização das avaliações de qualidade no ambiente fabril.

Os testes na fábrica objetivam a realização bem-sucedida dos ciclos de aplicação das etiquetas de acordo com a dinâmica do processo produtivo e com o mix de produção, de forma repetida e robusta. Avaliar os tempos de ciclo de aplicação das etiquetas, o desempenho das câmeras de inspeção de qualidade, bem como da facilidade de setup nas diferentes condições do processo. Confirmando de forma positiva esses testes, possibilita a confirmação de que o protótipo atende o padrão de qualidade e desempenho exigidos pela multinacional sul-coreana.

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Podemos ressaltar em termos tecnológicos, uma das principais contribuições deste trabalho está relacionada à pesquisa e desenvolvimento e implementação em ambiente fabril de uma aplicação de etiquetas QUALITY e WARNING, eliminando a necessidade de operação humana neste processo juntamente com a melhoria nos índices de qualidade dos produtos.

A começar pela eliminação da operação humana neste processo, o colaborador envolvido na atividade, agora autônoma, foi realocado para outro posto da linha de produção das unidades condensadoras de ar-condicionado. Deste ponto de vista, o salário do operador, somado com os benefícios fornecidos pela empresa não entram no cálculo do retorno de investimento (ROI) do projeto. Porém ao analisarmos a melhoria nos índices de qualidade dos produtos após a aplicação da automação no processo produtivo, podemos determinar um valor estimativa referente ao ROI.

Com base nos dados produtivos médios, expostos na Tabela 2, que não consideram paradas de linha, nem segregação de produtos danificados, e também os dados de produção do período de seis meses (outubro 2021 – março 2022), expostos na Tabela 3, disponibilizados pela empresa, foi possível realizar uma análise relacionada a melhoria nos índices de qualidade dos produtos.

Tabela 2 - Dados de Produção Médios

<b>Produção/h</b>	<b>Índice de falhas/h</b>	<b>Quantidade de falhas/h</b>
300	2%	6
<b>Produção/dia</b>		
2400		48
<b>Produção/semana</b>		
12000		240
<b>Produção/mês</b>		
48000		960

Fonte - Autor

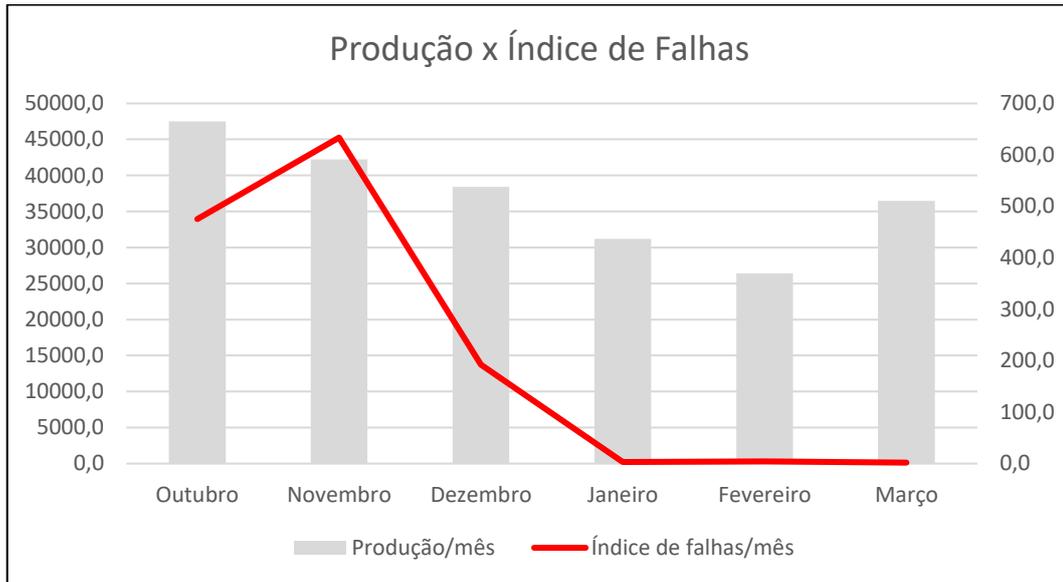
Tabela 3 - Dados de Produção Reais

	<b>Outubro</b>	<b>Novembro</b>	<b>Dezembro</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>
<b>Produção/mês</b>	47520,0	42240,0	38400,0	31200,0	26400,0	36480,0
<b>Índice de falhas/mês</b>	475,2	633,6	192,0	3,1	4,0	1,8
<b>Número de etiquetas descartadas/mês</b>	475,2	633,6	192,0	94	185	146

Fonte - Autor

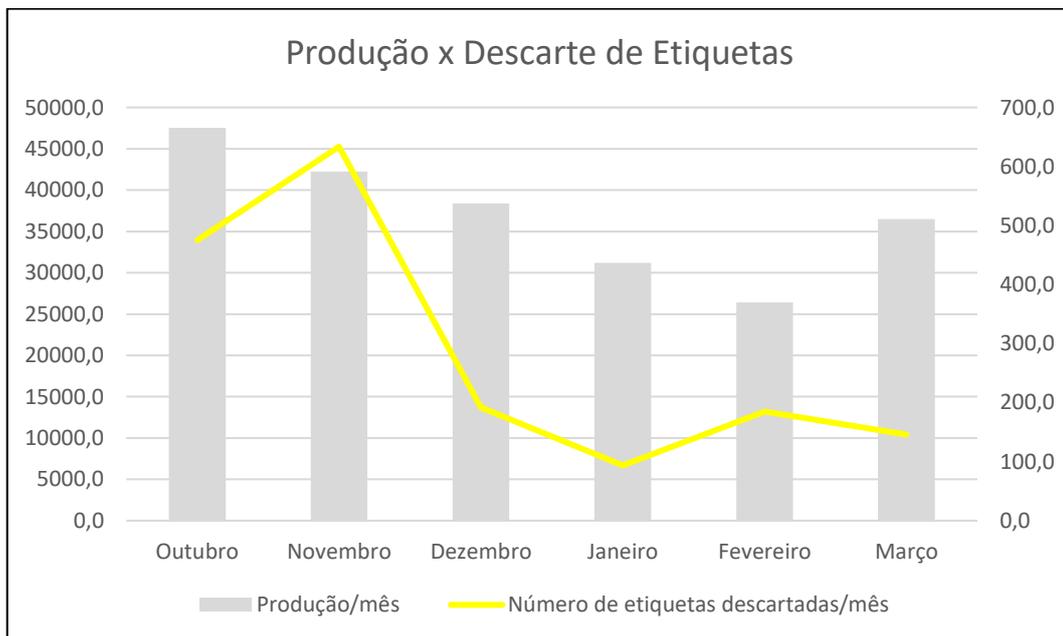
O período ressaltado em verde (Janeiro, Fevereiro e Março) nos indicam os três primeiros meses de operação da solução de automação aplicada na linha de produção, e os demais meses (Outubro, Novembro, Dezembro) referem-se aos últimos 3 meses antes da aplicação da solução. Podemos notar um pico produtivo localizado no mês de Outubro, resultante da elevação do ritmo produtivo em consequência da alta demanda por refrigeradores no fim de ano, seguido de uma baixa do volume produzido, em consequência ao início do período de manutenção geral da fábrica, ocasionando diversas paradas de linha. Em seguida, temos a aplicação da automação durante o período de férias parciais da empresa que segue por uma baixa na produção de unidades condensadoras com término no meio do mês de março e aumento do volume produzido. Dessa forma para melhor compreensão do leitor foram elaborados o Gráfico 2 e Gráfico 3 referentes aos dados de produção mensal em função do índice mensal de falhas e do número de etiquetas descartadas ao mês.

Gráfico 2 - Dados de produção em função do índice de falhas



Fonte - Autor

Gráfico 3 - Dados de produção em função do número de etiquetas descartadas



Fonte - Autor

Ao analisarmos o período antes da aplicação da solução de automação, temos que o índice de falhas seguia aproximado ao índice de falhas dos dados ideais, porém cada erro na atividade de aplicação das etiquetas QUALITY e WARNING, seja de natureza posicional ou

qualitativa em relação a impressão das etiquetas, resultava em uma etiqueta descartada para aplicação de uma nova em seu lugar, além do aumento do tempo de operação, e muitas vezes sendo necessário segregar o produto da linha para posterior retrabalho.

Quando analisamos o período após a implementação da solução de automação, temos uma extrema redução no índice de falhas, devido à garra robótica que sempre realiza o posicionamento das etiquetas de forma padrão, sem desvios, erros de coordenada ou angulações, e ao sistema de visão integrado à automação que verifica a qualidade da impressão das etiquetas, descartando-as caso não sigam o padrão de qualidade estabelecido pela empresa.

O conceito fundamental por trás dessa inovação encontra-se na possibilidade de combinar as atividades de movimentação, coleta e aplicação das etiquetas utilizando uma garra robótica manufaturada com a robustez e precisão de um sistema de visão computacional disponibilizado pela empresa, garantido o padrão de qualidade adequado para cada produto que cruza o posto de operação, seguindo todas as normas de segurança do trabalho estabelecidas pela NR12. Também é uma forte contribuição do projeto, a pesquisa e desenvolvimento do conceito de *software* utilizado na concepção do projeto.

Com base no projeto apresentado neste trabalho, podemos citar o aprendizado do aluno em desenvolvimento de projetos mecânicos e automação de processos industriais de forma prática como um dos resultados obtidos durante o seu decorrer. No que diz respeito ao desenvolvimento de projetos mecânicos, damos ênfase à criação de conceitos e mecanismos para operação de produtos em linhas de produção, através da análise da viabilidade e concepção de design, o dimensionamento e desenho mecânico 2D e 3D, a análise dinâmica, a prototipagem e testes, e a documentação e elaboração dos desenhos técnicos. No que diz respeito à automação de processos industriais, damos ênfase à concepção dos softwares de gerenciamento de dados da célula de automação, a criação dos ambientes de interação humano-máquina, além da aplicação de um sistema de visão computacional. Portanto podemos concluir que este trabalho proporcionou ao aluno o amadurecimento do pensamento científico aplicado à indústria.

## REFERÊNCIAS

ALTUS. **Conheça os nove pilares da Indústria 4.0 e sua relevância para a atividade industrial.** Altus. 2019. Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/212/conheca-os-nove-pilares-da-industria-4-0-e-sua-relevancia-para-a-atividade-industrial> 2020. Acesso em: 15 junho. 2022.

AGÊNCIA BRASIL. **Nível de automação na indústria brasileira está abaixo da média mundial: Menos de 2% das fábricas do país empregam algum tipo de automação. Na Alemanha, o índice é de 10%.** Diário do Comércio. 2018. Tecnologia. Disponível em: <https://dcomercio.com.br/categoria/tecnologia/nivel-de-automacao-na-industria-brasileira-esta-abaixo-da-media-mundial>. Acesso em: 15 julho. 2022.

AMARAL, T. **Indústria 4.0: os princípios da Era das Fábricas Inteligentes.** 2021. Disponível em: <https://blog.aainovacao.com.br/6-principios-industria-4-0/>. Acesso em: 15 julho. 2022.

BALAN, W. C., & Instrucional, A. (2009). **A Imagem Digital.** Apostila, UNESP, São Paulo, SP, Brasil, 14p.

BASTOS, T. F., & FERRARI, A. F. (2014). **Aplicação de Robôs nas Indústrias.** Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. Disponível em: <http://www2.ele.ufes.br/~tfbastos/RobMov/robosindustriais.pdf>. Acesso em: 13 agosto. 2022.

BRASIL. Ministério do trabalho e Emprego. NR12 – **Segurança no trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br>. Acesso em: 08 outubro. 2022.

BOHRER, V. C. (2021). **Desenvolvimento de um sistema de visão computacional para a avaliação da qualidade de furos.**

CRAIG, JOHN J., **Robótica** / John J. Craig; tradução Heloísa Coimbra de Souza; revisão técnica Reinaldo Augusto da Costa Bianchi. – 3. ed. – São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012.

**CREO PARAMETRICS 3D MODELING SOFTWARE. PTC DIGITAL TRANSFORM PHYSICAL**, 2022. Disponível em: <https://www.ptc.com/en/products/creo/parametric/>. Acesso em: 15 julho. 2022.

DIANATFAR, M.; LATOKARTANO, J.; LANZ, M. **Review on existing vr/ar solutions in human–robot collaboration**. Procedia CIRP, v. 97, p. 407– 411, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120314815>>. Acesso em: 17 agosto. 2022.

DE CAMARGO, V. L. A. (2014). **Elementos de Automação**. Saraiva Educação SA.

ESQUEF, I. A. et al. **Processamento Digital de Imagens**, p. 1–12, 2003.

FACHIN, V. F. D. S. (2021). **A contribuição da gestão por processos na implementação da transformação digital** (Doctoral dissertation).

FERRON, A. E. **Theory and Application of digital Image Processing**, p. 1–50, 2000.

FRANCISCHINI, A. S., & FRANCISCHINI, P. G. (2018). **Indicadores de Desempenho: Dos objetivos à ação—métodos para elabora KPIs e obter resultados**. Alta Books Editora.

GAMERO. **Robôs Industriais: Tudo que você precisa saber**. Pollux. 2018. Disponível em: <https://pollux.com.br/blog/robos-industriais-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 10 julho. 2022.

GONZALEZ, R.; WOODS, R. **Digital Image Processing**. 3. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008. p. 954.

GONZALEZ, R. et al. **Digital Image Processing**. 3. ed. 3 Apple Hill Drive, Natick, MA: Gatesmark Publishing, 2009. p. 826.

JEFFERSON. **Atuadores: Quais suas diferenças**. 2022. Disponível em: <https://www.jefferson.ind.br/conteudo/atuadores-quais-suas-suas-diferencas-.html>. Acesso em: 18 julho. 2022.

KODA, A. (2021). **Os Benefícios da Adoção de Tecnologias da Indústria 4.0 em Empresas do Setor Automotivo Brasileiro** (Doctoral dissertation).

LAVAGNOLI, S. **Indústria 4.0 – Evolução ou Revolução?** OPENCADD. 2018. Disponível em: <https://opencadd.com.br/9-pilares-da-industria-4-0/>. Acesso em: 15 julho. 2022.

LIMA, Y. O. et al. **O Futuro do Emprego: Estimativa do impacto da automação no Brasil.** 2019. apud MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE; the economist. (Dissertação) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/338431488\\_O\\_Futuro\\_do\\_Emprego\\_Estimativa\\_do\\_impacto\\_da\\_automacao\\_no\\_Brasil](https://www.researchgate.net/publication/338431488_O_Futuro_do_Emprego_Estimativa_do_impacto_da_automacao_no_Brasil). Acesso em: 15 julho. 2022.

MALDANER, D. (2021). **Transformações na organização do trabalho em empresas que adotaram tecnologias compatíveis com a indústria 4.0** (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

MARQUES FILHO, O.; VIEIRA NETO, H. **Processamento Digital de Imagens.** Rio de Janeiro: Brasport, 1999. p. 307.

MAXIMILIANO, N., **Principais tipos de automação: Saiba mais sobre os principais tipos de automação: residencial, predial, industrial e programação.** Blogdaengenharia. 2021. Disponível em: <https://blogdaengenharia.com/principais-tipos-de-automacao/>. Acesso em: 4 mai. 2022.

MISHRA, V. et al. **Image Acquisition and Techniques to Perform Image Acquisition,** p. 1–4, 2017.

MILESKI, Y. **Aplicação de Sistemas de Visão no Referenciamento de Peças em Centros de Usinagem CNC,** p. 31, 2017.

MONTEIRO, E. M. N., & PEREIRA JUNIOR, A. (2018). **Segurança em célula robotizada: adequação de um robô a NR12.**

MOURA, J. L.S. and MOURA, R. A. (2019). **Interação Humano-Máquina no Sistema Produtivo da Indústria 4.0 Visando Aumentar a Produtividade e Reduzir Lesões por Esforços Repetitivos.** CIMATech, v. 1, n. 6, p. 217-227. Disponível em: <https://doi.org/10.37619/issn2447-5378.v1i6.213.217-227>. Acesso em: 3 jan. 2022.

O QUE É CAD (DESENHO ASSISTIDO POR COMPUTADOR)?. **SPBIM Arquitetura Digital**, 2019. Disponível em: <https://spbim.com.br/o-que-e-cad-desenho-assistido-por-computador/>. Acesso em: 15 julho. 2022.

**PROXIMA. Índice de Automação do Mercado Brasileiro indica mais investimento em tecnologia.** Proxima. 2019. Disponível em: <https://www.proxima.com.br/home/proxima/noticias/2019/01/15/indice-de-automacao-do-mercado-brasileiro-indica-mais-investimento-em-tecnologia.html>. Acesso em: 15 julho. 2022.

PETRUZELLA, F. D. (2014). **Controladores lógicos programáveis**. AMGH Editora.

**ROBÔS COLABORATIVOS DA UNIVERSAL ROBOTS.** Universal Robots, 2022. Disponível em: <https://www.universal-robots.com/br/produtos/>. Acesso em: 14 agosto. 2022

RODRIGUES, D. L., JÚNIOR, J. L., GOUVÊA, B. A., & LOURENÇO, P. H. (1999). **Manipulador Robótico Horizontal tipo Scara., Robô 84 uma Plataforma Aberta para Desenvolvimentos e Implementações em Robótica.** Artigo 4º SBAI-Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, PUC Minas. São Paulo, 6.

ROMANO, V., & DUTRA, M. (2002). **Introdução a robótica industrial. Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo.** São Paulo. Edgard Blücher, 1-19.

SANTOS, V. M. **O que é um sistema? Para que serve e como gerenciá-lo?**. FM2S. 2017. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/o-que-e-um-sistema/>. Acesso em: 15 julho. 2022.

SANTOS, L. R. D. (2021). **Aplicação da metodologia LEAN SIX SIGMA no processo de troca de matéria prima em uma indústria de injeção de plásticos do Polo Industrial de Manaus.**

SCHNEIDER, E. E; **Instalações de dispositivos de segurança para máquinas operatrizes conforme a norma regulamentadora N°12 com ênfase em dispositivos elétricos.** Ijuí, 2011 Monografia (Pós Graduação/ engenharia de segurança do trabalho) – Universidade Regional Do Noroeste Do Estado Do Rio Grande Do Sul, Ijuí, 2011. [Orientador: Cristina Eliza Pozzobon].

SCHMIDT, T. (2021). **Desenvolvimento de uma bancada de testes para o estudo e controle de vibrações em robôs com elos flexíveis.** (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

SILVA, E. **Como Funciona a Automação no Brasil - Parte I.** 2020. Disponível em: <https://clubedotrade.com.br/blog/automacao-no-brasil/>. Acesso em: 12 abr. 2022.

SIMPLÍCIO, P. V. G., & LIMA, B. R. (2016). **Manipuladores robóticos industriais.** Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE, 3(3), 85-85.

VAN CAMPBELL, C.H; COUTINHO, C. Pinto, J. **Desenvolvimento de um robô manipulador industrial.** Associação Educacional Dom Bosco, Rio de Janeiro, 2008.

WENDLING, M. (2010). **Sensores.** Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2010, 20.

APÊNDICE – DESENHOS TÉCNICOS DAS PEÇAS PROJETADAS

