

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

CRISTIANO RAFAEL FRANÇA

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA DE
MONTAGEM INDUSTRIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2019**

CRISTIANO RAFAEL FRANÇA

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA DE
MONTAGEM INDUSTRIAL**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharias e Ciência da Computação da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.

Orientador: Prof. Esp. Fernando Luiz Tartari Peres

**ERECHIM - RS
2019**

CRISTIANO RAFAEL FRANÇA

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DA AUTOMAÇÃO DE UMA LINHA DE
MONTAGEM INDUSTRIAL**

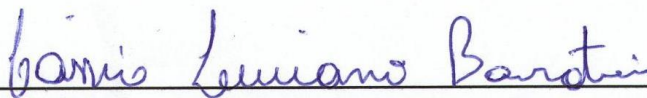
**Trabalho de conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica,
Departamento de Engenharias e Ciência da
Computação da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Campus de Erechim.**

Erechim, 27 de novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



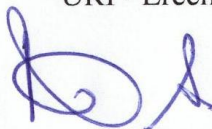
Prof. Esp. Fernando Luiz Tartari Peres (Orientador)
URI – Erechim



Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Coorientador)
URI - Erechim



Prof^a. Me. Camila Sampaio dos Reis (Examinador)
URI - Erechim



Prof. Esp. Ricardo Arpini Souza (Examinador)
URI - Erechim

*“Cada sonho que você deixa para traz, é um
pedaço do futuro que deixa de existir.”*

Steve Jobs.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Andréia e minhas filhas Vitória e Valentina, por suportarem a minha ausência e pelo apoio incondicional durante todo o curso de Engenharia Elétrica, pela compreensão e amor que me fizeram prosseguir.

À toda minha família, pelo apoio e motivação que me fizeram continuar. Em especial a minha mãe Carmelita que me ensinou a ter fé em Deus e nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus colegas que permaneceram ao meu lado durante toda a Graduação, principalmente aos que participaram do nosso grupo de estudos, onde podemos aprender uns com os outros. E em especial ao amigo Afonso Carlos Hinkel Junior, com quem pude contar durante esses cinco anos e um dos grandes responsáveis pelo meu bom desempenho.

Ao meu orientador Prof. Fernando Luís Tartari Peres, e ao meu Coorientador Cássio Luciano Baratieri pelos ensinamentos e pela disponibilidade em me atender, sanando minhas dúvidas e contribuindo para este trabalho.

À Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim e a todos os funcionários que me auxiliaram na trajetória acadêmica.

Por fim, meu sincero agradecimento aos professores do Curso de Engenharia Elétrica que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo e desenvolvimento da automação de uma linha de montagem industrial. Para contextualizar o tema proposto foi realizado uma revisão bibliográfica sobre o histórico industrial, automação, bem como os dispositivos utilizados. O projeto tem como objetivo comunicar todos os dispositivos de linha de montagem, para diminuir o número de inconformidades dos produtos, assim como o monitoramento e registro das variáveis atribuídas ao sistema. Para tanto, realizou-se um estudo do funcionamento do sistema atual e dos principais problemas apresentados no processo de montagem dos produtos. A partir desse ponto, propõe-se um projeto de automação do sistema estudado, baseado em um fluxograma criado. O projeto de automação tem como principal dispositivo, o controlador lógico programável WEG TPW-04, onde é realizada a programação da lógica da automação em linguagem *Ladder*. As variáveis de operação são controladas e monitoradas via interface gráfica. Por fim foram apresentados os resultados das simulações em ambiente computacional e dos testes realizados em bancada experimental.

Palavras-chave: Automação industrial, Linha de montagem, Controlador lógico programável, TPW- 04.

ABSTRACT

This work presents the study and development of an Automation of an industrial assembly line. To contextualize the topic proposed is carried out a literature review on industrial history, automation, as well as the devices used. The project aims to communicate any of the Assembly line, to decrease the number of non-conformities of the products, as well as the monitoring and recording of variables assigned to the system. For both, it was used a study of the functioning of the current system and the main problems presented in the Assembly process of the products. From that point, proposed a project of automation of the system studied, based on a flowchart created. The project has as main automation device, programmable logic controller WEG TPW-04, where programming is performed automation logic in *Ladder*. The operating variables are controlled and monitored via the graphical interface. Finally, the results of computer simulations and experimental bench tests are presented.

Keywords: Industrial automation, Assembly line, Programmable logic controller, TPW-04.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pirâmide de automação.....	20
Figura 2 - Etapas da automação.....	21
Figura 3 - Fluxo produtivo de uma linha de montagem.	22
Figura 4 - Tempos de um processo de manufatura.....	23
Figura 5 - Diagrama de blocos do sistema de automação proposta por Souza.	25
Figura 6 - Diagrama de Blocos do CLP.	26
Figura 7 - Ciclo de programação.	27
Figura 8 - Programação em <i>Ladder</i>	27
Figura 9 - Arquitetura do inversor de frequência.	28
Figura 10 - Célula de carga.....	30
Figura 11 - Ponte de Wheatstone.....	31
Figura 12 - Sistema atual.	33
Figura 13 - Sistema Proposto.	35
Figura 14 - Fluxograma da Automação.....	36
Figura 15 - Controlador lógico programável TPW04.	38
Figura 16 - Inversor de frequência CFW10.....	39
Figura 17 – IHM Weintek MT8071ip.	40
Figura 18 - Célula de carga.....	41
Figura 19 - Transmissor de peso.	42
Figura 20 - Aplicador de fita gomada.....	43
Figura 21 – Arquitetura de comunicação da automação	44
Figura 22 – Configuração RS-485/ Modbus na IHM.....	46
Figura 23 – Esquema de ligação da alimentação e carga do inversor de frequência.	49
Figura 24 – Esquema de ligação do conversor de carga.....	50
Figura 25 – Fluxograma das telas da IHM	51
Figura 26 - Função mover na programação <i>Ladder</i>	55
Figura 27 - Interface para alterar dispositivos.	56
Figura 28 - Simulação da estabilidade da entrada analógica.....	57
Figura 29 - Simulação do Inversor de frequência	58
Figura 30 – Tela inicial.....	59
Figura 31 – Tela da lista de pedidos para venda.....	60
Figura 32 – Tela de operação.	61

Figura 33 – Tela de gerenciamento.	61
Figura 34 – Tela de verificação de peso.	62
Figura 35 – Tela de verificação dos tempos do processo.	63
Figura 36 – Tela de controle das paradas.	64
Figura 37 - Bancada de testes.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre princípios de implementação e os componentes-chave.....	18
Tabela 2 - Tabela de pesos.	34
Tabela 3 - Descrição das Entradas.....	45
Tabela 4 - Descrição das Saídas	45
Tabela 5 - Mapeamento das Entradas e saídas	47
Tabela 6 - Mapeamento dos sinais binários utilizados na IHM	47
Tabela 7 - Mapeamento das <i>words</i> utilizadas na IHM	48
Tabela 8 – Parâmetros do inversor de frequência.....	49
Tabela 9 – Valores dos equipamentos.	52
Tabela 10 - Conversão dos pesos dos Produtos.....	53
Tabela 11 - Conversão dos pesos do braço.....	53
Tabela 12 - Conversão dos pesos do encosto.	54
Tabela 13 - Conversão de frequências.....	54
Tabela 14 - Conversão de medidas.....	54
Tabela 15 - Valores calculados e medidos na saída analógica do CLP.....	65
Tabela 16 - Valores calculados e medidos na saída analógica do conversor de peso.	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANSI	Instituto Nacional Americano de Normas (<i>American National Standards Institute</i>)
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CLP	Controlador lógico programável
CPS	Sistema físicos cibernéticos (<i>Ciber Physical Systems</i>)
IP	Protocolo de internet (Internet Protocol)
IA	Inteligência artificial (<i>Artificial Intelligence</i>)
IoS	Internet de serviços (<i>Internet os Services</i>)
IHM	Interface homem máquina
N/A	Não se aplica
TI	Tecnologia da informação
TCP	Protocolo de controle de transmissão (<i>Transmission Control protocol</i>)
URI	Universidade Regional Integrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Objetivos	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 Estrutura do trabalho	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 Histórico industrial e Indústria 4.0.....	16
2.1.1 Sistemas físicos cibernéticos	16
2.1.2 Internet das coisas	17
2.1.3 Internet de serviços	17
2.1.4 Fábrica inteligente	17
2.1.5 Princípios para implementação da Indústria 4.0.....	18
2.2 Automação Industrial	19
2.2.1 Pirâmide da automação.....	20
2.2.2 Projeto de Automação.....	21
2.3 Manufatura	22
2.3.1 Montagem	22
2.3.2 Manuseio e armazenamento	23
2.3.3 Inspeção e teste	23
2.3.4 Embalagem	24
2.3.5 Controle da produção.....	24
2.4 Controladores Lógicos Programáveis	24
2.4.1 Arquitetura do controlador lógico programável	25
2.4.2 Linguagem de programação <i>Ladder</i>	27
2.5 Inversor de Frequência.....	28
2.5.1 Arquitetura do inversor de frequência	28
2.6 Sensores.....	29
2.6.1 Sensor de Pressão	30
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 Descrição do fluxo produtivo	32
3.1.1 Descrição do processo industrial atual	32
3.1.2 Requisitos da automação	34
3.2 Descrição do sistema proposto	35
3.2.1 Fluxograma da automação	35
3.3 Materiais utilizados	37
3.3.1 Controlador Lógico Programável	38
3.3.2 Inversor de frequência WEG CFW10.....	38
3.3.3 Interface homem máquina (IHM)	40
3.3.4 Célula de Carga.....	41
3.3.5 Transmissor de peso	42
3.3.6 Aplicador de fita gomada.....	43
3.4 Arquitetura da comunicação.....	44
3.5 Programação do controlador lógico programável	45
3.6 Configuração da interface gráfica	46
3.6.1 Mapeamento das memórias e endereçamento	47
3.7 Parametrização do inversor de frequência	48
3.8 Configuração do Conversor de peso.....	50

3.9 Telas da IHM.....	50
3.10 Orçamento do projeto.....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
4.1 Simulação do TPW-04 no <i>software</i> TPW-PCLINK	55
4.1.1 Registro das informações.....	55
4.1.2 Simulação das entradas e saídas	55
4.2 Simulação do inversor de frequência no <i>software</i> CADeSIMU	57
4.3 Simulação da IHM MT8071ip no <i>software</i> EasyBuilder Pro	58
4.3.1 Tela inicial	59
4.3.2 Tela de lista de pedidos.....	59
4.3.3 Tela de operação	60
4.3.4 Telas de gerenciamento	61
4.3.4.1 Verificação de tempos e pesos	62
4.3.4.2 Controle do tempo de linha parada.....	63
4.4 Teste em bancada da comunicação entre os dispositivos.....	64
5 CONCLUSÃO.....	67
5.1 Sugestão para Continuação do Trabalho.....	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICE A – LÓGICA DA PROGRAMAÇÃO EM LADDER DA AUTOMAÇÃO. 72	

1 INTRODUÇÃO

A Indústria atual está passando por avanços sem precedentes e simultâneos em várias áreas do conhecimento humano. Inteligência Artificial (IA), robótica, internet das coisas, impressão 3D, nanotecnologia, biotecnologia, ciência dos materiais, armazenamento de energia, computação quântica e outros, estão redefinindo as indústrias e criando novas oportunidades. Isso está sendo chamado de “A Quarta Revolução Industrial”, e está mudando fundamentalmente a maneira de como vivemos, trabalhamos e nos relacionamos uns com os outros (SCHWAB, 2016).

A sociedade moderna exige que os produtos relacionados a bens e serviços apresentem bons preços, boa qualidade e diversidade de ofertas. Para que isso aconteça, é preciso aumentar a produtividade e a flexibilidade dos meios de produção. A automação da produção é um meio poderoso para atendimento das exigências sociais. (FILHO, 2014).

Os sistemas de produção são organizados de acordo com as características, variedade e volume dos produtos produzidos. Cada sistema apresenta necessidades próprias de automação de acordo com sua organização (FILHO, 2014).

Tendo em vista as necessidades e exigências dos consumidores e a ascensão da tecnologia, esse trabalho propõe uma automação de uma linha de montagem que garanta um aumento de produtividade por meio do controle das variáveis do sistema, mas também pelo gerenciamento das informações que podem ser armazenadas e utilizadas pela empresa para reparar falhas no processo, mitigando que os erros ocorridos cheguem até o consumidor.

A integração da automação é realizada por meio da programação de um CLP, simulação computacional e teste em bancada. Uma célula de carga é mencionada como sensor de peso, que envia um sinal analógico ao controlador lógico, para realizar a simulação. Todos os periféricos da linha de montagem são simulados no CLP, como entradas digitais e saídas digitais, para que seja possível o controle e armazenamento das informações. Uma saída analógica do controlador é ativada, simulando o controle de velocidade analógico do inversor de frequência.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são classificados em geral e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

- Estudar e desenvolver a automação de uma linha de montagem industrial.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar um modo de controlar a velocidade da esteira de acordo com o produto ou processo informado.
- Pesquisar sensores que possam ser implementados no final da esteira para contagem das peças.
- Estudar métodos para pesagem das caixas no final da linha de montagem que identifique a ausência de peças.
- Realizar a simulação dos dispositivos da planta.

1.2 Estrutura do trabalho

A estruturação deste trabalho está dividida em cinco capítulos, no primeiro capítulo foi descrita a Introdução, que aborda em si a automação e a devida importância que a mesma desempenha na indústria moderna.

No segundo, foi contextualizada a revisão bibliográfica que se utilizou como suporte e amparo para a realização do estudo, através de publicações de autores especialistas na área da Indústria 4.0, automação industrial, acionamentos elétricos, bem como artigos e trabalhos acadêmicos de especialização com o mesmo assunto abordado.

O terceiro capítulo é voltado à metodologia de estudo aplicada para a obtenção dos resultados, através das avaliações realizadas e levantamentos de dados.

No quarto capítulo, se abordam os resultados e discussões sobre o estudo realizado, onde se apresentam os resultados obtidos com as avaliações e levantamentos, assim como as discussões sobre os mesmos.

O último capítulo trata das considerações finais sobre os resultados obtidos com a realização projeto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem por objetivo apresentar conceitos de diversos autores em relação à indústria 4.0, automação industrial e ainda conceitos e particularidades relacionadas a CLPs, sensores e inversores de frequências.

2.1 Histórico industrial e Indústria 4.0

A primeira revolução industrial foi um conjunto de mudanças que aconteceram na Europa e se estendeu de aproximadamente 1760 a 1840. Alavancada pela construção de ferrovias e pela invenção da máquina a vapor, ela deu início à produção mecânica. Com a segunda revolução industrial, que começou no final do século XIX e no início do século XX, tornou possível a produção em massa, fomentada pelo advento da eletricidade e da linha de montagem. A terceira revolução industrial iniciou na década de 1960 e também é conhecida como a revolução digital porque foi desencadeada pelo desenvolvimento dos semicondutores e da criação do mainframe (década de 1960), computação pessoal (década de 1970 e 80) e internet (década de 1990) (SCHWAB, 2016).

O termo Indústria 4.0 foi anunciado pela primeira vez pelo governo alemão como uma das principais iniciativas que destaca uma nova revolução industrial, com sistemas e processos mais produtivos. Empresas têm procurado a adaptação correta deste termo, tendo em vista que os critérios de realização e as medidas de desempenho da transformação para a Indústria 4.0 ainda são incertos, assim como a estrutura do roteiro de implementação ainda não está claro. Com essa nova era industrial, surgiram muitas melhorias nos sistemas de fabricação e de serviços, com mudanças notáveis e rápidas na área de manufatura e tecnologia da informação. Esses avanços levaram ao aumento da produtividade, porém empresas de manufatura têm enfrentado desafios substanciais devido à necessidade na coordenação e conexão de conceitos da indústria 4.0.(USTUNDAG e CEVIKCAN, 2018).

Herman, Pentek e Otto (2015) apresentam quatro componentes-chave que são considerados como a base da Indústria 4.0: Sistemas Físicos Cibernéticos, Internet das Coisas, Internet de Serviços e Fábrica Inteligente.

2.1.1 Sistemas físicos cibernéticos

De acordo com Schlick et al. (2014), sistema físico cibernético (CPS) é o espaço cibernético capaz de realizar a fusão entre o mundo virtual e físico por meio da internet e rede de dados sem precedentes.

Para Vogel-Heuser (2014), os sistemas físicos cibernéticos podem monitorar o ambiente diretamente com seus sensores correspondentes, avaliar os dados com a ajuda de serviços disponíveis em rede e executar tarefas no mundo físico com a ajuda de atuadores.

2.1.2 Internet das coisas

A Internet das coisas (IoT), segundo Schlick et al. (2014), estende o conceito da internet clássica, que se limita puramente ao mundo virtual, enquanto a internet das coisas pode ter suas informações oriundas do mundo físico como lugar, posição e condição e destrói a ideia que há uma separação do mundo físico e virtual.

Para Gilchrist, (2016), a internet industrial é uma derivação da IoT que oferece uma maneira de obter melhor visibilidade e percepção das operações e dos ativos da empresa por meio da integração de sensores de máquina, software, sistemas de computação e armazenamento em nuvem. Assim sendo, fornece um método para transformar processos operacionais de negócios usando como *feedback* os resultados obtidos ao se utilizar grandes conjuntos de dados por meio de análises avançadas. Os ganhos de negócios são alcançados através de ganhos de eficiência operacional e produtividade acelerada, o que resulta em redução do tempo de inatividade não planejado e eficiência otimizada, resultando em lucros.

2.1.3 Internet de serviços

Para Kangermann (2014), a computação em nuvem cria virtualmente qualquer recurso de TI, aplicativos de software, serviços on-line ou até mesmo processos de negócios que podem ser acessados a qualquer momento e eles serão a base para novos serviços inovadores. Novas infraestruturas de serviços estão surgindo agregando serviços inteligentes para todas as áreas da vida e das redes de negócios.

As abordagens de Arquitetura Orientada a Serviços estão atualmente se adequando aos dispositivos que apresentam processamento e comunicação incorporados. Como resultado, esses serviços obtêm a capacidade de ser hospedados em máquinas de ponta e dispositivos de recursos sem fio, implementados em qualquer equipamento (BALAKRISHNAN e SANGAIAH, 2016).

2.1.4 Fábrica inteligente

As fábricas inteligentes, segundo Cravo (2019), são plantas que se utilizam da tecnologia para mudar totalmente seus processos em busca de melhores resultados. Isso é

possível por meio da combinação entre sistemas de computação e automação industrial. Cravo (2019) ainda classifica três características básicas nesse sistema. Para ele as fábricas inteligentes precisam ser:

- responsivas - a resposta é imediata a todos os estímulos internos e externos;
- flexíveis - qualquer processo pode ser alterado facilmente de acordo com a demanda;
- conectadas - tudo deve estar interligado e trocar informações entre si de forma simples.

A interação entre todos os componentes que formam a fábrica deve permitir que eles se comuniquem e tomem decisões de acordo com as variáveis de produção. A função do colaborador nesse contexto deixa de ser de produzir, passando a ser a de controlar. Cravo (2019) enfatiza que mesmo com os altos custos para implementação, é necessário que as empresas tragam o conceito de fábricas inteligentes para alguns processos, iniciando assim essa evolução.

2.1.5 Princípios para implementação da Indústria 4.0

Para Hermann, Pentek e Otto (2015), em sua revisão de bibliografia, os componentes-chave são usados para definir os princípios de implementação para os cenários da Indústria 4.0. Esses princípios de implementação apoiam as empresas na identificação de possíveis roteiros. Em termos gerais, seis princípios básicos podem ser derivados da Indústria 4.0. Esses princípios estão diretamente ligados aos pilares base da indústria 4.0, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Relação entre princípios de implementação e os componentes-chave.

Sistemas Físico Cibernéticos	Sistemas Físico Cibernéticos	Internet das Coisas	Internet de Serviços	Fábrica Inteligente
Interoperabilidade	X	X	X	X
Virtualização	X	-	-	X
Descentralização	X	-	-	X
Análise de Dados em Tempo Real	-	-	-	X
Orientação a Serviços	-	-	X	-
Modularização	-	-	X	-

Fonte - Adaptado de Hermann, Pentek e Otto (2015).

1. Interoperabilidade: Significa que todos os CPSs na fábrica são capazes de se comunicar. As empresas, CPSs, e seres humanos se conectam via Internet das Coisas e Internet de Serviços.
2. Virtualização: significa que CPSs são capazes de monitorar processos físicos. Cria-se uma planta virtual do mundo físico por meio de sensores colocados em todos os lugares. Assim, em caso de falha os operadores do sistema podem ser notificados.
3. Descentralização: é a capacidade que os CPSs têm de tomarem decisões dentro das fábricas inteligentes.
4. Análise de dados em tempo real: é a capacidade de coletar e analisar dados e fornecer feedback imediatamente.
5. Orientação a serviços: é a oferta de serviços online para empresas e pessoas através da Internet de Serviços.
6. Modularização: é a adaptação flexível das fábricas inteligentes para mudanças de requisitos, substituindo ou expandindo módulos individuais.

Para Hermann, Pentek e Otto (2015) Indústria 4.0 é um termo coletivo para tecnologias e conceitos que valorizam a organização em cadeia. Dentro das Fábricas Inteligentes, estruturadas modularmente, o CPS monitora processos, cria uma cópia virtual do mundo físico e toma decisões descentralizadas. A IoT e o CPS se comunicam e cooperam entre si e com os humanos em tempo real. Através da IoS, os serviços internos e entre organizações são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia produtiva.

2.2 Automação Industrial

O termo automação surgiu nos anos 40, quando um engenheiro da *Ford Motor Company*, descreveu como sistemas de ações e controles automáticos que substituíam o esforço e a inteligência dos homens. Nessa época, os dispositivos de controle eram eletromecânicos e a parte lógica era realizada por meio de relés, temporizadores, botões e sensores, que podiam realizar sequências simples de movimento lógico ao ligar e desligar motores e atuadores. Com o avanço dos computadores e dos dispositivos de hardware na década de 70 e 80, esses controles se tornaram menores, mais flexíveis e com menor custo de implementação e modificação (LAMB, 2015).

Moraes e Castrucci (2010) trazem como conceito de automação, um sistema, baseado em computadores, que substitua ou diminua o trabalho humano em favor das pessoas e organizações, com benefícios em segurança, qualidade dos produtos, rapidez da produção e redução de custos.

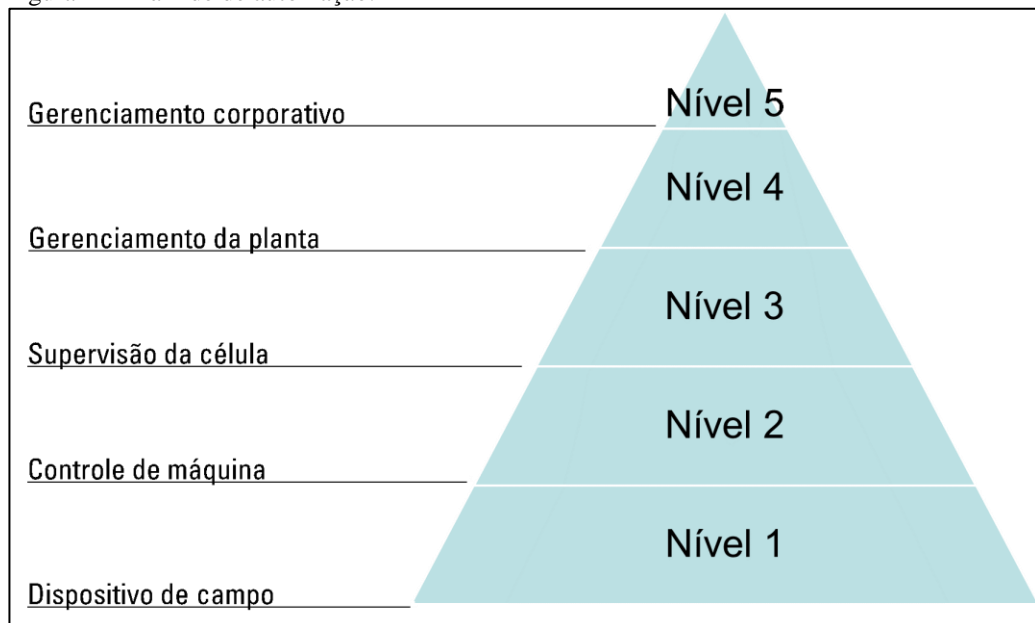
Segundo Lamb (2015), Automação é se utilizar de comandos lógicos programáveis e de equipamentos mecanizados para substituir as atividades manuais que envolvem tomadas de decisão. Além disso, a automação traz algumas vantagens:

- Executar tarefas repetitivas e pesadas.
- Executar tarefas em ambientes perigosos, radioativos e com temperaturas extremas.
- Manusear cargas grandes e pesadas, assim como elementos minúsculos e sensíveis.

2.2.1 Pirâmide da automação

Para Moraes e Castrucci (2010), a automação industrial exige a realização de muitas funções e os diferentes níveis de automação estão representados em forma de pirâmide na Figura 1.

Figura 1 - Pirâmide de automação.



Fonte - Adaptado de Silva (2017).

A pirâmide estabelece os níveis do processo produtivo, desde sua base até o topo de forma hierárquica:

Nível 1: Na base da pirâmide, estão os equipamentos mais próximos ao produto: sensores, botoeiras, atuadores, entre outros. O montante de informação é pequeno, no entanto a velocidade do processamento é alta (CAPELLI, 2013).

Nível 2: É o nível dos controladores digitais, dinâmicos e lógicos, e de algum tipo de supervisão associada ao processo. Aqui se encontram concentradores de informações sobre o Nível 1, e as Interfaces Homem-Máquina (IHM) (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

Nível 3: Inicia-se com a supervisão e o controle dos recursos e a otimização do processo. Além disso é responsável pelo controle geral de todo o processo produtivo (CAPELLI, 2013).

Nível 4: É onde ocorre a programação e o planejamento da produção, realizando o controle e a logística dos estoques (MORAES e CASTRUCCI, 2010).

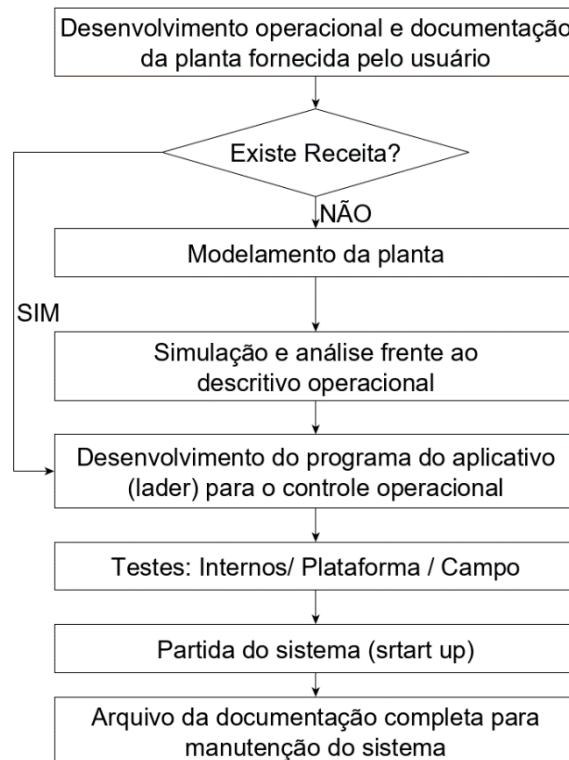
Nível 5: No topo da pirâmide que acontece a gestão estratégica da empresa. Os computadores trabalham no controle corporativo, desde a entrada de material até a gestão de recursos (CAPELLI, 2013).

2.2.2 Projeto de Automação

Segundo Moraes e Castrucci (2010), existem duas modalidades diferentes de projeto em automação. Na primeira, o projetista recebe todas as ações para automação e define os passos a serem executados. Na segunda, o usuário somente define o resultado final, cabendo ao engenheiro de projeto definir a lógica das ações.

O diagrama de blocos da Figura 2, descreve as etapas para implementação da automação nas duas modalidades.

Figura 2 - Etapas da automação.



Fonte - Adaptado de Moraes e Castrucci (2010).

Bevilaqua (2018) divide a automação de uma caldeira em três etapas. Na primeira etapa é levantado os dados do modelo construtivo e do processo operacional atual. No segundo

momento é definido as variáveis da automação que serão controladas e os dispositivos que serão utilizados no controle, assim como sensores e atuadores. Na terceira fase é desenvolvido o fluxo de funcionamento e a programação do CLP.

Nas próximas seções serão abordadas as principais etapas do processo de manufatura, assim como o controlador programável, inversor de frequência, sensores e demais dispositivos a serem utilizados neste trabalho.

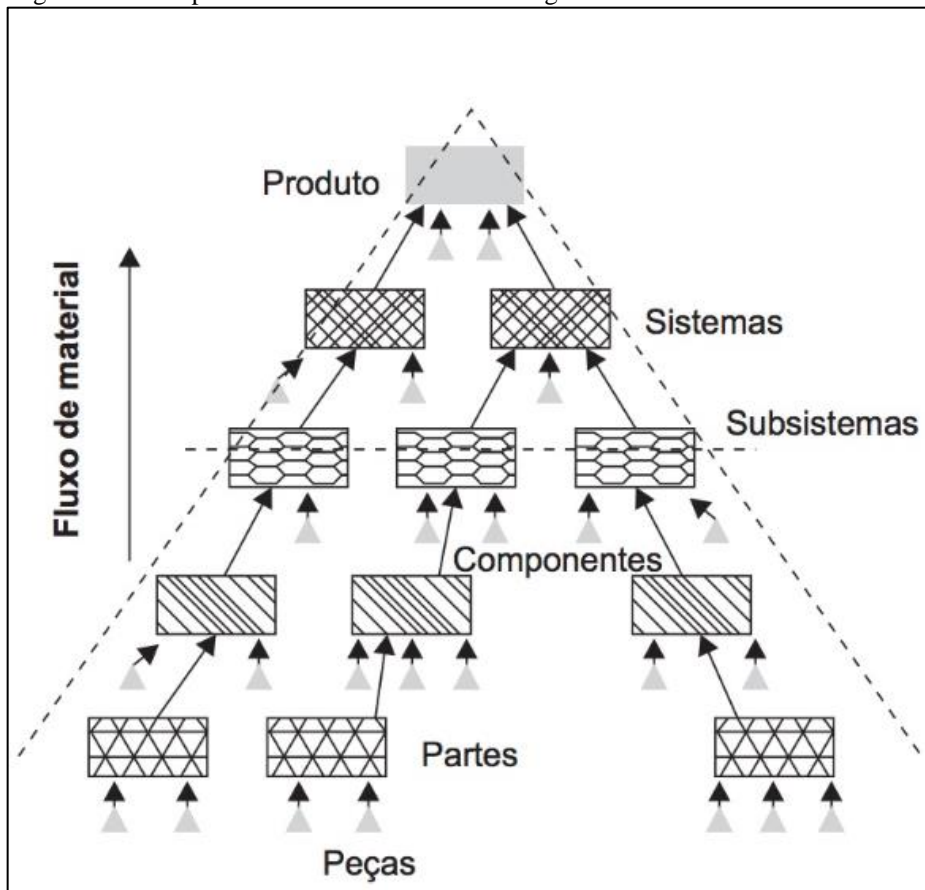
2.3 Manufatura

Para Filho (2014), a grande maioria das indústrias de fabricação é caracterizada por ações de manufatura. Ele resume os processos de manufatura em cinco funções básicas.

2.3.1 Montagem

A montagem caracteriza-se pela junção de duas ou mais peças para formar um componente. A união de dois ou mais componentes resultam em um subsistema, que formam os sistemas que se juntam para a obtenção do produto final como pode ser visto na Figura 3. (FILHO, 2014)

Figura 3 - Fluxo produtivo de uma linha de montagem.

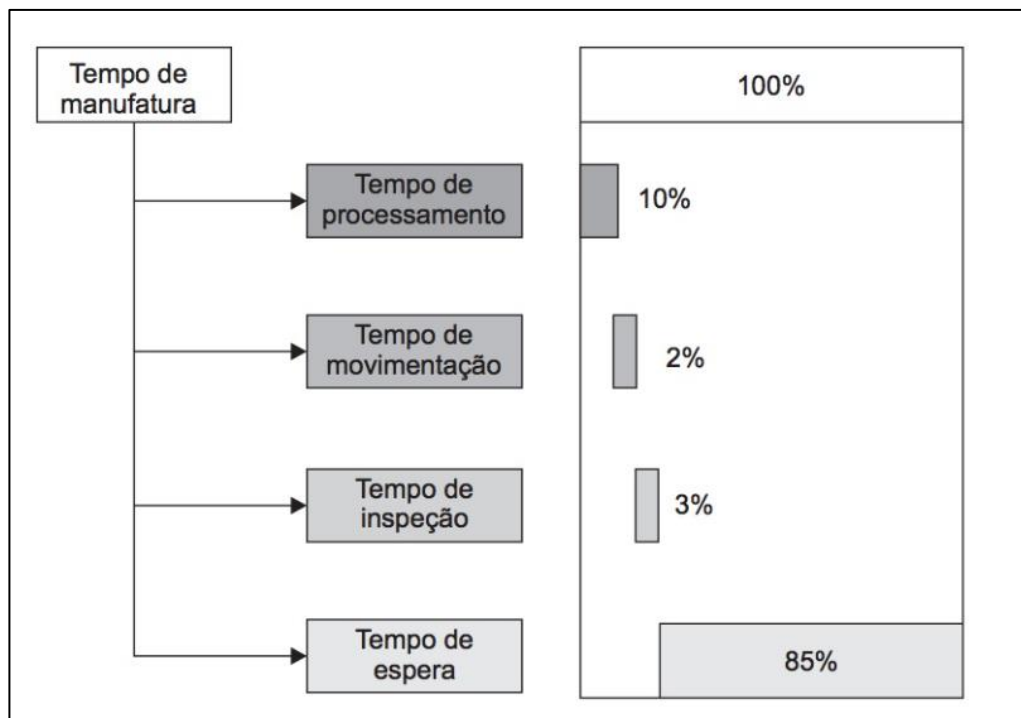


Fonte - Filho (2014).

2.3.2 Manuseio e armazenamento

Consiste na movimentação de materiais dentro das funções de processamento e montagem. Normalmente, materiais, peças e componentes são transportados de um ponto para outro. O material fica parado durante esse armazenamento temporário. Esse tempo é chamado de “tempo de espera”. Na maioria dos casos de processos de manufatura, o tempo de espera dentro da sequência de produção é o maior como mostra a Figura 4, podendo alcançar até 85% do tempo total de fabricação. Esse tempo também considera o tempo que o produto final fica estocado (FILHO, 2014).

Figura 4 - Tempos de um processo de manufatura.



Fonte - Filho (2014).

2.3.3 Inspeção e teste

A inspeção e os testes são instrumentos que garantem a qualidade do produto. A inspeção verifica se o produto atende às especificações do projeto e das normas, além de verificar também as fases intermediárias da produção como peças, componentes e sistemas. Os testes têm como objetivo examinar se o produto final atende plenamente às funções para o qual foi projetado (FILHO, 2014).

2.3.4 Embalagem

Embalagem é o acondicionamento do produto final em uma cápsula de proteção. A embalagem é utilizada na maioria dos processos de manufatura. Produtos, tais como eletrodomésticos e eletroeletrônicos, necessitam ser devidamente embalados antes da expedição. O Automóvel é um exemplo de produto que não possui embalagem (FILHO, 2014).

2.3.5 Controle da produção

Todas as funções anteriores valorizam o produto, pois todas entram em contato com o material em produção. Outra função muito importante é o controle da produção, ela não entra em contato com o material produzido, mas é responsável por controlar as cinco demais funções. O controle tem por objetivo verificar se o desempenho da produção está de acordo com a programação estabelecida. Além disso, ele tem a função de medir e avaliar parâmetros que visam manter os custos de produção no menor patamar possível. Ele coleta, processa e transmite informações da produção para o melhor gerenciamento (FILHO, 2014).

2.4 Controladores Lógicos Programáveis

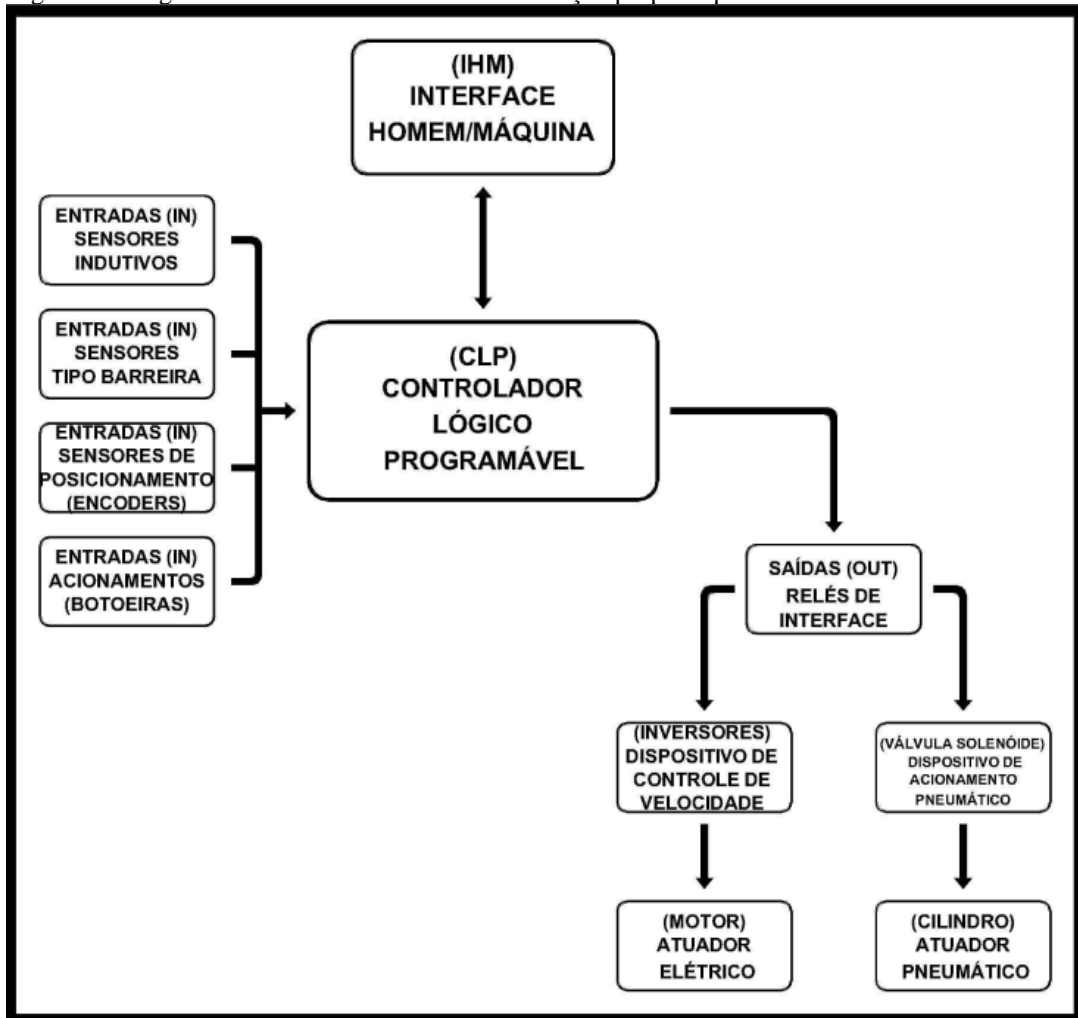
Para Moraes e Castrucci (2010) a grande vantagem em utilizar sistemas que envolvam diretamente a informatização é a possibilidade da expansão utilizando recursos de fácil acesso; nesse contexto, são de extraordinária importância os CLPs, que tomam a automação industrial uma realidade presente em todos os lugares.

Segundo Petruzella (2014), o CLP é um computador com capacidade de operar em ambientes severos que pode ser programado para executar funções específicas. Os CLPs apresentam diversos benefícios em um projeto, entre eles, a redução da fiação, facilidade de programação e instalação, controle em alta velocidade de processamento, compatibilidade de integração à rede, além de serem extremamente confiáveis.

Os CLPs são atualmente os dispositivos de controle de processos industriais mais utilizados e são considerados um sistema que opera em tempo real, onde a saída depende da entrada do sistema (PETRUZELLA, 2014).

Souza (2013) utiliza o CLP em seu trabalho para automação em uma indústria de *paver*. O sistema descrito envolve sensores que informam ao CLP a posição dos dispositivos que são movimentados por atuadores que são controlados pelo próprio CLP, representado na Figura 5. O sistema ainda realiza a leitura de botoeiras e o controle de velocidades de um motor por meio de um inversor de frequência.

Figura 5 - Diagrama de blocos do sistema de automação proposta por Souza.



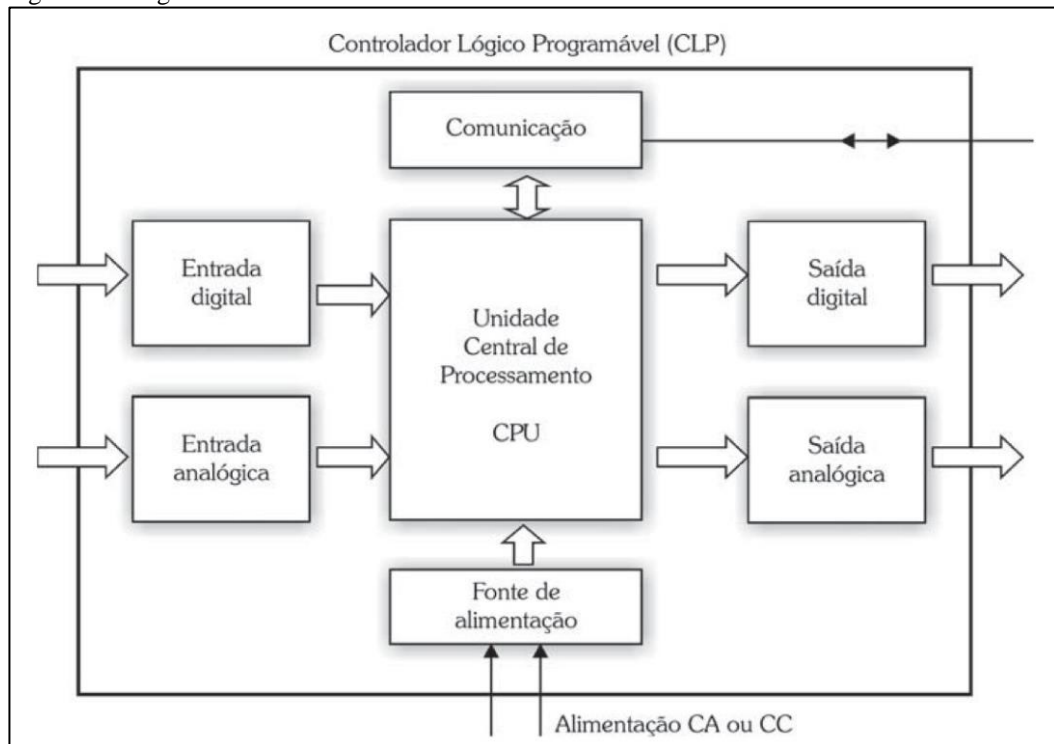
Fonte - Souza (2013).

Silva (2017) refere-se ao CLP em seu projeto de automação de uma linha de montagem, como o equipamento responsável pela comunicação entre a bancada de atuadores pneumáticos e hidráulicos com os demais componentes do sistema. O dispositivo ainda recebe os dados dos sensores e realiza a comunicação com um sistema supervisor.

2.4.1 Arquitetura do controlador lógico programável

Um CLP de acordo com Franchi (2009) apresenta sua arquitetura dividida em cinco partes representadas na Figura 6.

Figura 6 - Diagrama de Blocos do CLP.

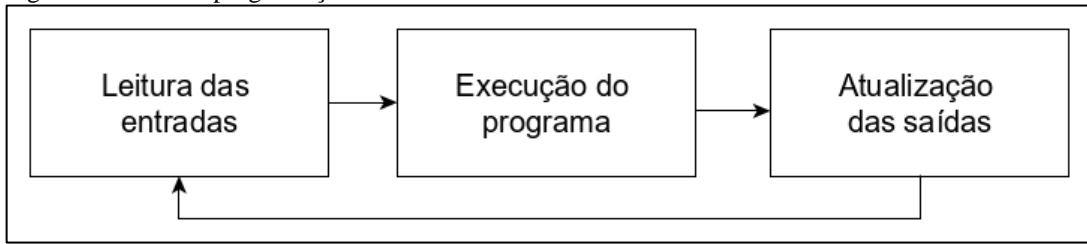


Fonte - Franchi (2009).

- Fonte de alimentação: Fornece a energia necessária para a CPU e para os módulos de entrada e saída.
- Unidade central de processamento (CPU): É formada pela memória e pelo processador e tem a função de controlar todas as atividades do CLP.
- Interface de entradas: Informam para CPU níveis de tensão e corrente, na forma digital e analógica.
- Interface de saídas: A CPU envia níveis de tensão e corrente, na forma digital e analógica para acionamento dos atuadores.
- Interface de comunicação: É via comunicação que se introduz o programa no CLP e é também por meio desta interface que é possível monitorar todas as operações, transmitir dados para um sistema supervisor e se comunicar com outros dispositivos.

O CLP funciona como um sistema microprocessado onde há uma estrutura de software que realiza ciclos de leitura, de forma contínua. Esse sistema é dividido em três processos conforme a Figura 7, sendo eles a leitura das entradas, a execução do programa e a atualização das saídas. O CLP realiza a leitura dos dispositivos via interface de entrada, executa o programa que se encontra gravado na memória e aciona os dispositivos por meio da interface de saída (FRANCHI, 2009).

Figura 7 - Ciclo de programação.



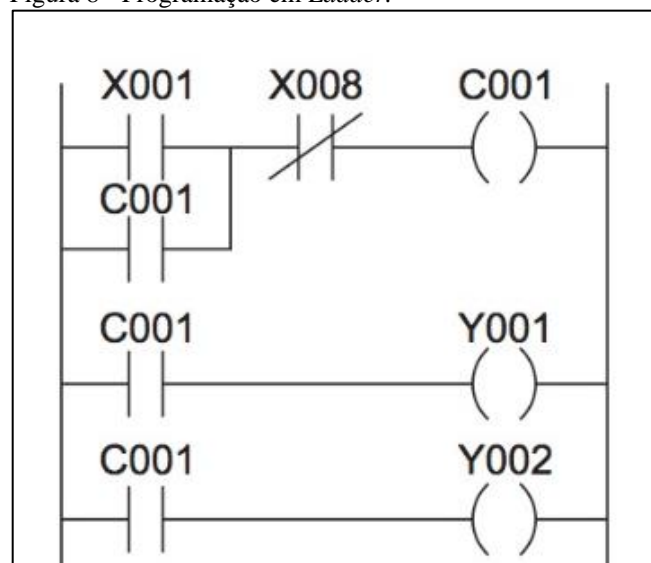
Fonte - Adaptado de Franchi (2009).

2.4.2 Linguagem de programação *Ladder*

Para Petruzella (2014), a linguagem de programação do CLP é o método pelo qual o programador comunica a informação ao CLP. A comunidade industrial internacional (IEC), normatizou e dividiu as linguagens de programação em cinco tipos diferentes. Filho (2014), seleciona as três principais maneiras básicas de programação dos CLPs:

- Diagrama *Ladder*: Uma representação gráfica de um processo com diagrama de contatos.
- Diagrama de blocos: A forma gráfica representada em blocos de funções lógicas.
- Lista de instruções: Uma linguagem baseada em texto, de baixo nível, onde os comandos são reproduzidos de maneira literal.

A linguagem em diagrama *Ladder*, segundo Petruzella (2014), é a linguagem mais disseminada entre os usuários, e é projetada para copiar a lógica utilizada na automação com relés. A Figura 8 demonstra um trecho de programação em linguagem *Ladder*.

Figura 8 - Programação em *Ladder*.

Fonte - Filho (2014).

Para realizar a programação e gravá-la no CLP é necessário a utilização de um software e de um computador pessoal (PETRUZELLA, 2014). A maioria dos fabricantes fornece ou vende pacotes de software para programação, edição e transferência do programa para o CLP (FRANCHI, 2009).

2.5 Inversor de Frequência

O inversor de frequência permite um motor acionar cargas que operam em diferentes velocidades. Conforme a necessidade de operação da carga, o controle de velocidade do motor aumenta a eficiência e o desempenho de uma instalação com motores (PETRUZELLA, 2013).

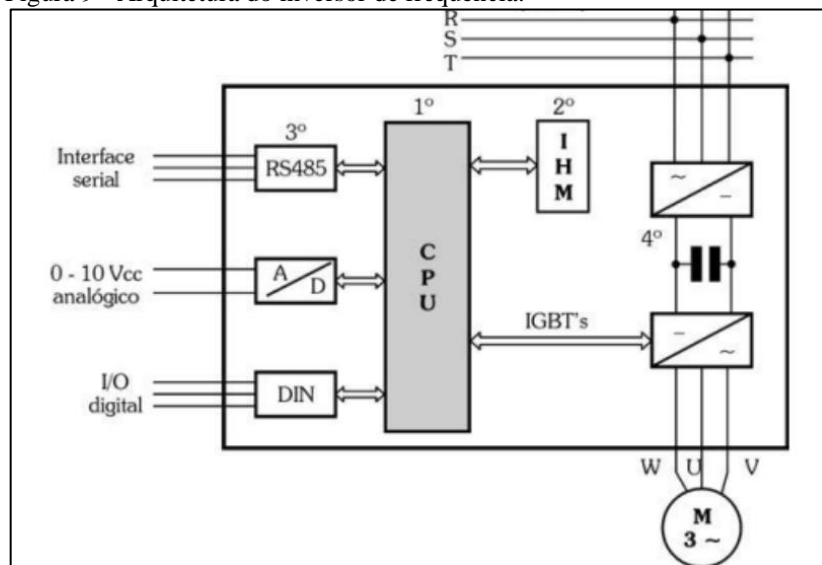
Franchi (2013), descreve o inversor de frequência como um equipamento versátil e dinâmico, sendo o método mais eficiente para controle de velocidade de motores de indução trifásico por ser um dispositivo que propicia as menores perdas na variação de velocidade.

Bevilaqua (2018) utiliza o inversor em seu trabalho para controlar a velocidade do motor de um exaustor. Ele configura a saída analógica do CLP que repassa esse valor ao inversor de frequência. Bevilaqua (2018) ainda emprega o inversor para o controle de velocidade de outros motores em sua planta de automação.

2.5.1 Arquitetura do inversor de frequência

Segundo Franchi (2013), a arquitetura de um inversor de frequência pode ser representada na Figura 9 e é dividida em quatro blocos.

Figura 9 - Arquitetura do inversor de frequência.



Fonte - Franchi (2013).

- 1º Bloco - A CPU de um inversor de frequência pode ser formada por um microprocessador ou por um microcontrolador. A CPU não apenas armazena os dados e parâmetros do inversor, como também executa a lógica de controle para o funcionamento do equipamento, como a geração dos pulsos de disparo,
- 2º Bloco - É por meio da IHM (Interface Homem/Máquina) que se pode visualizar o que está ocorrendo no inversor (display) e efetuar a parametrização de acordo com a aplicação (teclas). No IHM é possível visualizar as grandezas do motor, como tensão, corrente, frequência e ainda verificar status de alarme, selecionar sentido de giro, ligar e desligar o equipamento.
- 3º Bloco – As interfaces de entrada e saída de dados do inversor podem ser classificadas em analógicas, digitais e comunicação serial. Elas são utilizadas para receber um controle externo, de forma remota. Os sinais analógicos podem ser de tensão (0 a 10 Vcc) ou de corrente (0 a 20 mA, 4 a 20 mA) e são responsáveis por fazer o controle de velocidade (entrada) e leituras de corrente ou velocidade (saída). Os sinais digitais executam basicamente funções simples, como selecionar o sentido de rotação, bloquear o inversor, selecionar velocidades pré-definidas, etc. As portas de comunicação serial permitem o inversor ser controlado ou monitorado a distância por um computador. Essa comunicação é executada por pares de fios, podendo ser conectados vários inversores a um computador ou a um CLP. Os tipos de comunicação mais comuns nos CLPs são as redes *field bus*, RS 232 ou RS 485.
- 4º Bloco - A potência do inversor é composta por um circuito retificador, que alimenta o circuito de saída por meio do barramento de corrente contínua (CC).

2.6 Sensores

Para Moraes e Castrucci (2010), sensores são dispositivos que transformam variáveis físicas, como posição, velocidade, temperatura, etc., em grandezas manipuláveis como tensão ou corrente, podendo ser amplificadas e modificadas por dispositivos eletrônicos.

Muitas vezes o sensor não tem as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de controle. O sinal de saída deve ser manipulado e isso geralmente é realizado com um circuito de interface para transformação em um sinal que possa ser lido pelo controlador. O dispositivo completo com o sensor e essa interface são chamados de transdutor. Esse conjunto transforma uma grandeza física (temperatura, pressão etc.) em um sinal de tensão

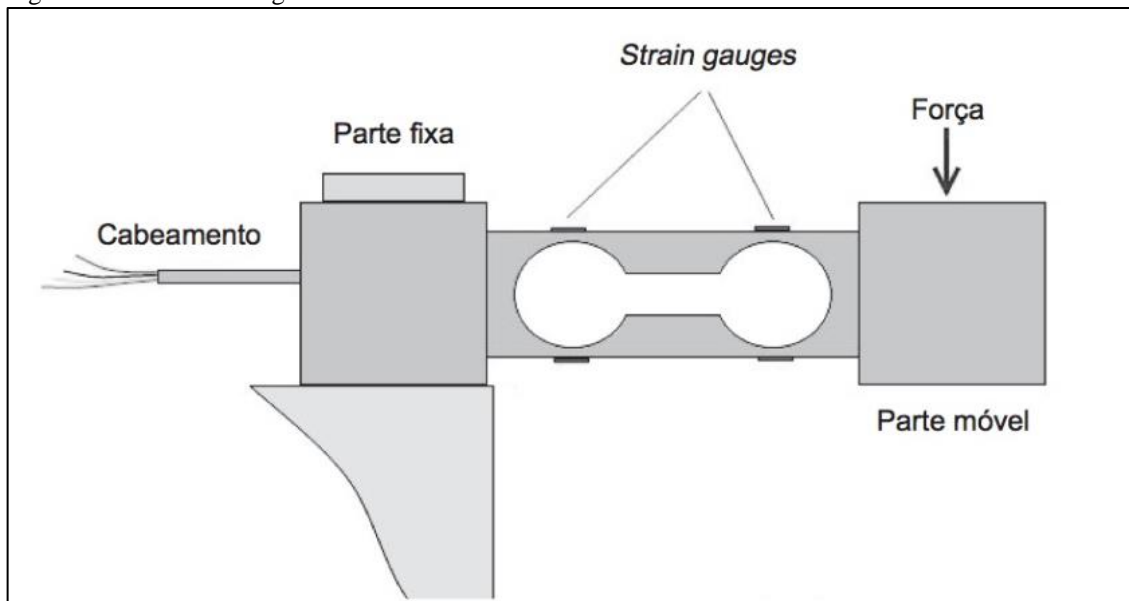
ou corrente que pode ser facilmente interpretado por um sistema de controle (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011).

Fehrenbach (2017) aproveita a célula de carga em sua automação para controle de dosagem em uma indústria de ração. Ele cita a importância da utilização do sinal elétrico entregue pelo sensor para monitoramento e controle em seu dispositivo.

2.6.1 Sensor de Pressão

Segundo Franchi (2014) os sistemas de medição de pressão podem ser adquiridos por meio de células de carga, como mostra a Figura 10. Fiala (2014) classifica as células de carga como estruturas mecânicas que se deformam ao receber um esforço para qual foram projetadas. Essa pequena deformação é suficiente para gerar um sinal de saída linear e condizente com a carga. O princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um extensômetro (*strain-gage*) quando submetido a deformação.

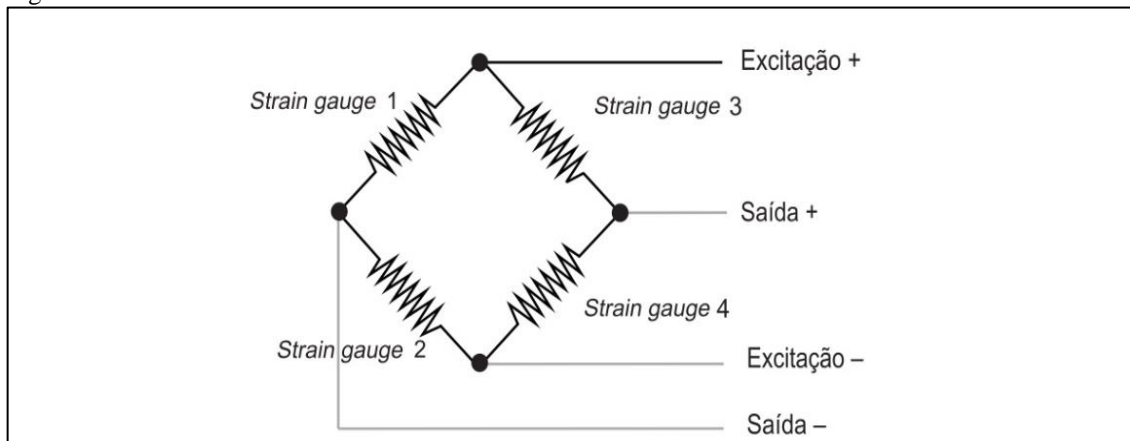
Figura 10 - Célula de carga.



Fonte - Franchi (2015).

Franchi (2015), afirma que os *strain gauges* são interligados por meio de uma Ponte de Wheatstone (Figura 11) conectada a uma fonte de energia. Assim, quando uma tensão de excitação, na faixa de volts, é aplicada à ponte, é obtida uma tensão de saída na faixa de milivolts.

Figura 11 - Ponte de Wheatstone.



Fonte - Franchi (2015).

As especificações típicas de uma célula de carga segundo Franchi (2015) são:

- Capacidade (kg);
- Tensão de saída (mv);
- Tensão de excitação (v);
- Sensibilidade (tensão de saída/tensão de excitação mv/v);
- Resistência de entrada (ohms);
- Resistência de saída (ohms).

3 METODOLOGIA

O objetivo deste capítulo é descrever os procedimentos metodológicos utilizados para a elaboração do projeto proposto. Para obter os resultados esperados é imprescindível primeiramente conhecer as etapas do fluxo produtivo atual. Em seguida determinar quais partes desse sistema será controlado, para assim poder escolher os dispositivos utilizados para realizar esse controle. Na terceira etapa é onde se realiza o fluxograma da automação a ser executada e a escolha da linguagem de programação do CLP. Por fim, são realizados os testes no código para verificação e funcionamento.

A automação proposta é baseada em uma linha de montagem de uma fábrica de cadeiras. Os produtos estudados podem ser constituídos basicamente por três partes principais: o corpo da cadeira, o encosto e os braços.

3.1 Descrição do fluxo produtivo

Conforme abordado no capítulo 2 deste trabalho, o processo de manufatura em uma linha de montagem industrial envolve uma grande quantidade de etapas e processos produtivos. A automação industrial permite uma grande melhoria de produtividade e eficiência, quando implementada de maneira inteligente, pode ser aplicada em quase qualquer etapa produtiva de uma indústria.

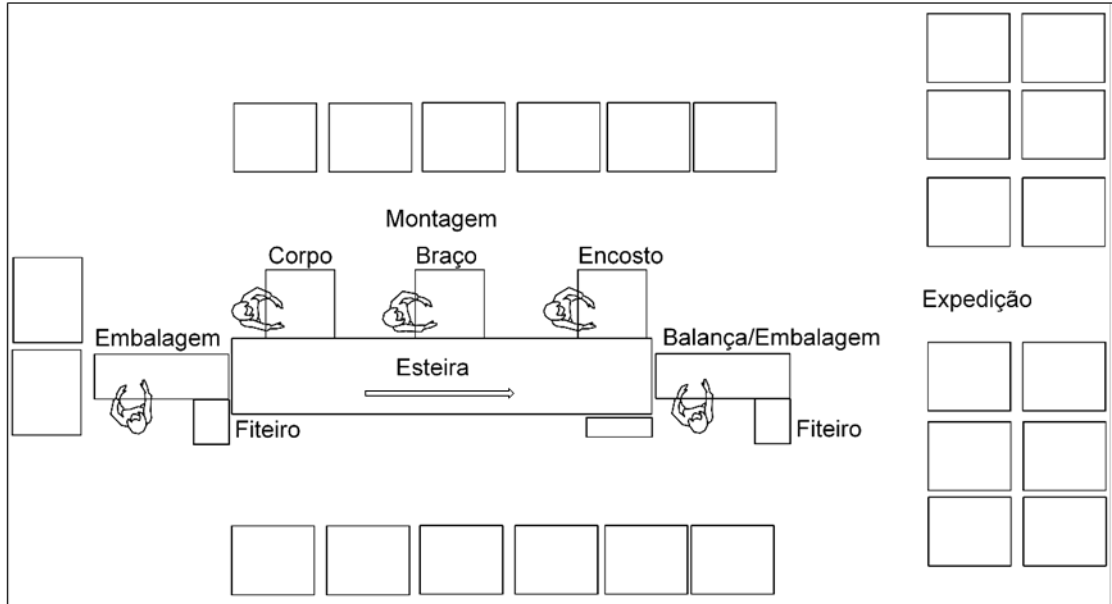
3.1.1 Descrição do processo industrial atual

Para realizar o projeto de automação da linha de montagem industrial é necessário o entendimento da sequência produtiva. A linha de produção é basicamente uma sequência específica de processos de montagem e embalagem. Os produtos oriundos de outros processos chegam à linha de montagem que se caracteriza pela união de peças e componentes para a obtenção dos produtos finais, que são embalados e enviados à expedição para ser estocado e transportado. Os principais dispositivos do sistema atual são:

- Botoeiras de acionamento e parada da esteira;
- Inversor de frequência para acionamento do motor;
- Esteira rotativa para linha de montagem com motor de indução trifásico;
- Balança de 50 kg;
- Aplicador de fita gomada para embalagem.

A Figura 12 traz esquema simplificado do processo de montagem e embalagem dos produtos atualmente.

Figura 12 - Sistema atual.



Fonte - Elaborado pelo autor.

No caso da linha de montagem analisada, são identificados os seguintes tipos de processos:

- (a) Definição do produto: O produto, quando inserido em lista de pedidos, aguarda até que seus componentes e suas peças sejam selecionados pelos colaboradores. Nessa etapa do processo já estão atribuídos ao modelo do produto, as suas características como a cor, o tamanho da caixa, a quantidade de componentes que fazem parte do produto final e a quantidade de itens que serão produzidos.
- (b) Processo inicial de embalagem: A caixa é preparada para ser utilizada e a parte inferior é fechada com uma fita. O tamanho da fita é definido pelo tamanho da caixa acrescido de 20 cm e é alterado manualmente pelo operador entre as trocas de produto. Em seguida a caixa é posta sobre a esteira, que é ligada no início do turno de trabalho e desligada no encerramento das atividades.
- (c) Montagem do produto: As peças são manuseadas e montadas ao longo da esteira pelos funcionários, formando componentes e em seguida o produto final. As peças e os componentes variam de acordo com o modelo de cada produto e precisam ser selecionados com antecedência.

- (d) **Pesagem e Conferência:** Existe uma balança no final da linha de montagem, onde se faz a conferência, de forma visual, do peso das caixas, já contendo o produto final em seu interior. Essa etapa é realizada para avaliar se todas as partes do produto estão inclusas.
- (e) **Processo final de embalagem:** Após pesar e conferir, a parte superior da caixa é fechada em um processo semelhante ao inicial, onde também é necessário fazer o ajuste do tamanho da fita em cada mudança de produto.

A linha de montagem descrita opera com diversos modelos de produtos e cada um desses modelos pode conter componentes acessórios diferentes. Isso faz com que o peso da caixa de um mesmo modelo tenha diversos pesos associados.

O peso total do produto está associado a soma dos pesos do corpo do produto com a dos seus acessórios, ou seja, um produto do modelo A com braço também do modelo A e encosto do modelo B tem um peso diferente ao um produto do modelo B, com o braço do modelo B e encosto do modelo D. Nesse trabalho foram utilizados 5 modelos de produto e cada um deles pode ser combinado com quatro modelos de braço e quatro modelos de encosto diferentes. Os pesos de todos componentes que formam o produto final são conhecidos e estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tabela de pesos.

Corpo	Peso [kg]	Braço	Peso [kg]	Encosto	Peso [kg]
Modelo A	8,3	N/A	0	N/A	0
Modelo B	8,7	Modelo A	1	Modelo A	0,3
Modelo C	9,3	Modelo B	1,3	Modelo B	0,5
Modelo D	9,5	Modelo C	2	Modelo C	0,7
Modelo E	10,0	Modelo D	2,5	Modelo D	0,85

Tabelas de informações

3.1.2 Requisitos da automação

O processo de manufatura descrito na seção anterior possui alguns pontos críticos. A definição dos requisitos de sistema é um fator importante na elaboração de um projeto de automação. Eles definem no projeto as variáveis que deverão ser manipuladas para alcançar os resultados esperados. O sistema proposto deve cumprir os seguintes requisitos:

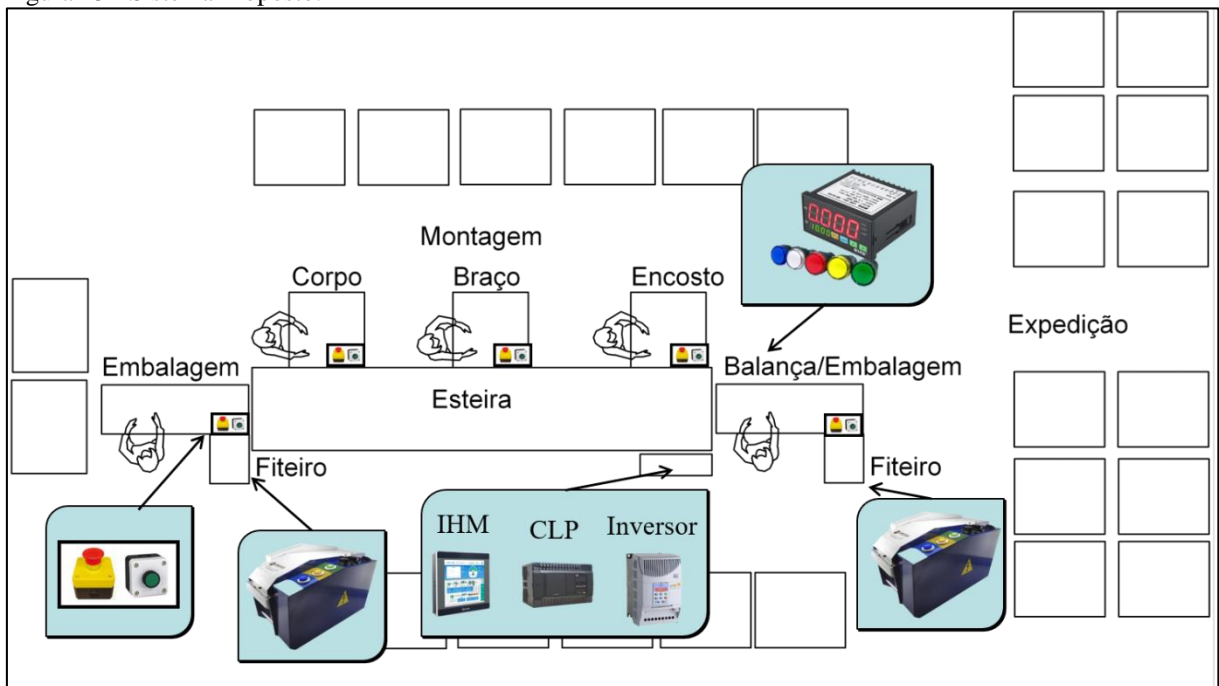
- (a) **Controlar a velocidade da esteira:** O sistema atual opera com velocidade fixa, relacionada a rotação nominal do motor da esteira. Há necessidade de alterar essa velocidade de acordo com as características do produto.
- (b) **Contar as caixas:** A contagem das caixas é realizada, em conjunto, na entrada do estoque. Para melhor gerenciamento é indispensável que isso ocorra em tempo real no final da linha.

- (c) Pesar as caixas: O controle de peso é executado de forma visual, suscetível a erro humano. É fundamental para o sistema, um dispositivo que identifique o peso real das caixas, compare-o com o peso pré-estabelecido e sinalize em caso de irregularidades.
- (d) Controlar e registrar as paradas: Para gerenciamento e controle é preciso saber o custo de cada produto. Para isso é essencial conhecer o tempo dos processos e possíveis motivos que propicie o atraso de conclusão dos produtos.

3.2 Descrição do sistema proposto

A automação proposta encontra-se baseada em obter o resultado final, por meio das lógicas de ação, sem seguir uma receita pré-definida, ou seja, é apresentado o problema e em função dele se executa a automação. Após a descrição dos processos e dos requisitos, é necessário elaborar um fluxograma da automação sugerida. Para facilitar a visualização e a compreensão, a Figura 13 mostra o fluxo produtivo do sistema proposto.

Figura 13 - Sistema Proposto.

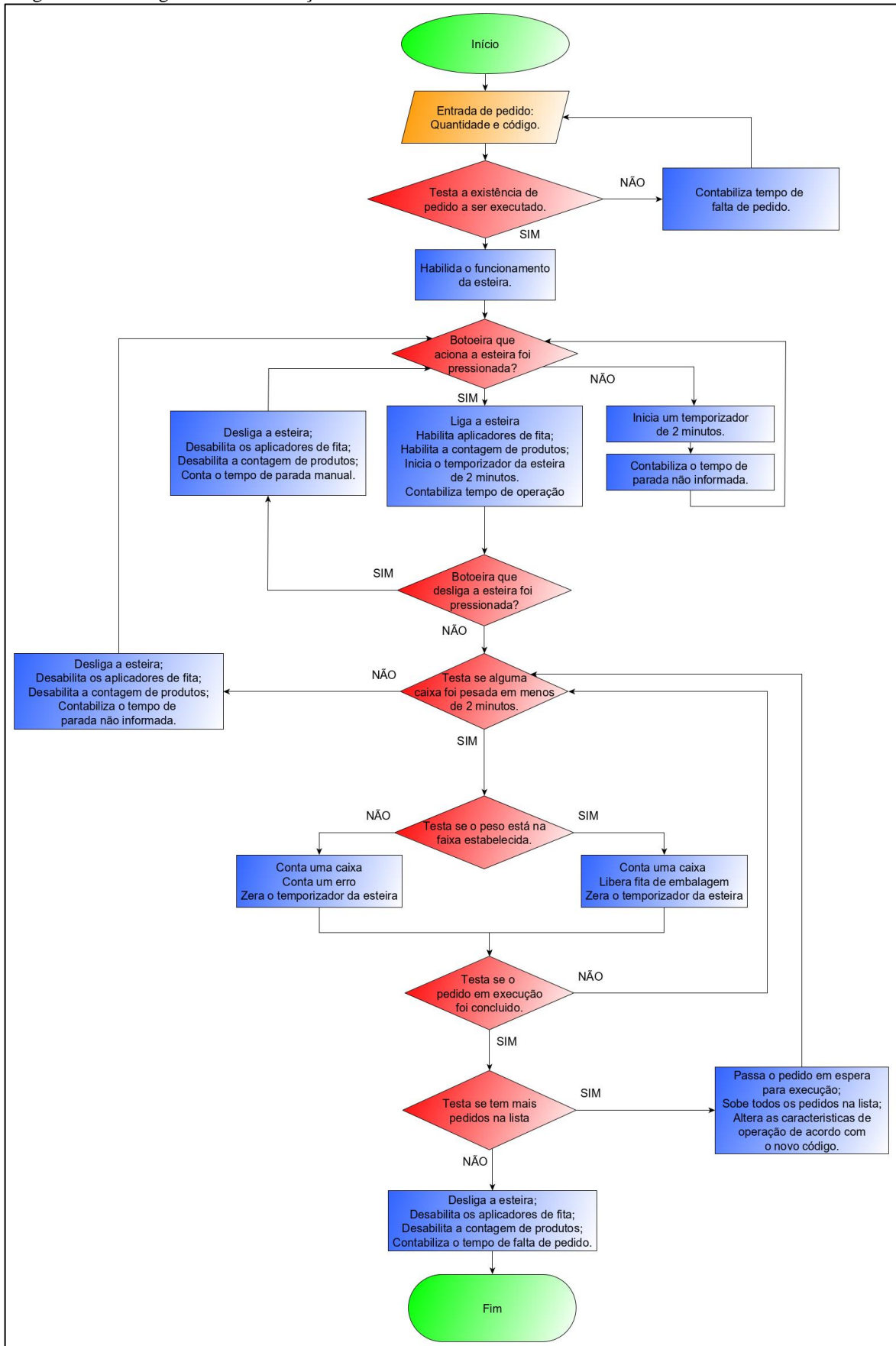


Fonte - Elaborado pelo autor.

3.2.1 Fluxograma da automação

O fluxograma é uma representação gráfica que descreve os passos e etapas sequenciais de um determinado processo. Para a elaboração do fluxograma da Figura 14, será utilizada a simbologia padrão definida pela ANSI (*American National Standards Institute*).

Figura 14 - Fluxograma da Automação.



Fonte - Elaborado pelo autor

As etapas do fluxograma de funcionamento da automação estão descritas a seguir:

- Etapa 1 - Entrada do pedido: É nessa etapa que é definido, de acordo com as características do produto, o tamanho da embalagem e da fita seladora, o peso do produto, a velocidade da esteira e a quantidade de produtos que são anexados ao pedido. Esses dados são convertidos e registrados no CLP.
- Etapa 2 - Início de ciclo: O operador dá início ao processo, pressionando a botoeira de partida. O CLP informa ao Inversor de frequência, a que velocidade o motor deve trabalhar. A cada produto novo uma botoeira é pressionada, informando ao CLP, que aciona uma saída digital temporizada para o aplicador de fita. Um temporizador de funcionamento da esteira também é habilitado nessa etapa e resetado toda vez que um produto é contabilizado no final da linha. Caso nenhum produto passe pela esteira durante o tempo estabelecido, a esteira é desligada.
- Etapa 3 – Leitura das paradas: O projeto possui uma botoeira de parada manual que, toda vez que é pressionada, desliga a esteira e registra o tempo de pausa no CLP. Se a esteira for desligada automaticamente por passar um tempo de funcionamento sem contagem de caixas, é contabilizado o tempo de parada não informada. Em caso de ausência ou término de pedidos, o tempo de falta de pedido é incrementado.
- Etapa 4 – Controle de Velocidade: Em caso de mudança de produto, onde haja aumento da velocidade programada, o CLP compara as velocidades e mantém a velocidade de menor valor pelos próximos dois ciclos de operação. Isso permite a montagem dos produtos que ainda estão sobre a esteira e requerem mais tempo.
- Etapa 5 – Final do Ciclo: Quando a caixa chega no final da esteira, ela é pesada por uma célula de carga, que envia um sinal para o CLP. O CLP compara o peso com o que está registrado em sua memória e se estiver dentro da faixa pré-estabelecida, é realizada a contagem do produto em tempo real e acionado o aplicador de fita. Na ocorrência de não conformidade de peso, é contabilizado um produto e também um erro, nesse caso a caixa não é selada e fica aguardando inspeção.

3.3 Materiais utilizados

Para desenvolver uma automação em condições rigorosas como é o caso do ambiente industrial, é preciso utilizar dispositivos que suportem essas condições. As próximas subseções são responsáveis para descrever os principais equipamentos para realizar a automação da linha de montagem citada.

3.3.1 Controlador Lógico Programável

O CLP utilizado no projeto é o TPW04, modelo 360BR-D, fabricado pela WEG. O TPW04, Figura 15, é um dispositivo completo, e atende a todos os requisitos de projeto proposto. As principais características desse modelo são:

- Tensão de alimentação de 24VCC;
- 36 entradas digitais;
- 4 entradas analógicas (módulo de expansão);
- 24 saídas digitais;
- 2 linguagens de programação, *Ladder* e lista de instruções;
- Relógio de tempo real integrado.

Figura 15 - Controlador lógico programável TPW04.



Fonte - Manual do TPW04

O Controlador Lógico Programável da WEG, possui ainda comunicação serial RS 485, presente na maioria dos dispositivos de automação, podendo atender a inúmeras aplicações. O TPW04 é programado por meio de software, via computador.

O *software* de programação do CLP utilizado é o TPW-PCLINK versão 1.0, a WEG disponibiliza esse software gratuitamente em seu site. O TPW-PCLINK possui duas linguagens de programação e para a execução desse projeto será utilizado a linguagem *Ladder*.

3.3.2 Inversor de frequência WEG CFW10

Para controlar a velocidade da esteira será utilizado o Inversor de frequência modelo CFW10, Figura 16, produzido pela WEG. Esse modelo possui diversos parâmetros de

configuração, onde vários deles estão designados para controle de velocidade e suas principais especificações são:

- Modelo: CFW10-0040S2024PSZ;
- Número de Fases de entrada: Monofásico;
- Número de Fases de saída: Trifásico;
- Potência: 1 CV;
- Corrente nominal de saída: 4 A;
- Tensão de alimentação: 220 V;
- Modelo Standard: com I/Os digitais e analógicos;
- Entradas digitais: 4.

Será utilizado o controle de velocidade analógico, sendo possível configurar diferentes velocidades por meio da variação de tensão de 0 a 10 V na entrada analógica do CFW10. Essa configuração depende da frequência máxima e mínima parametrizadas no inversor.

Figura 16 - Inversor de frequência CFW10.



Fonte - Manual do CFW10.

O dimensionamento deve ser feito em função da corrente nominal do motor utilizado, que deve ser menor ou igual a corrente nominal de saída do CFW10. O motor da esteira possui

potência mecânica no eixo de 1/2 CV, com corrente elétrica nominal de 2,07A, portanto esse inversor atende às especificações necessárias.

3.3.3 Interface homem máquina (IHM)

A IHM utilizada no projeto é produzida pela empresa tailandesa Weintek, modelo MT8071ip. Este modelo de IHM possui capacidades gráficas de alta resolução, com grande resistência a condições adversas como temperatura e poeira. Possui portas de comunicação RS232, RS485 e ethernet, o que permite sua comunicação com diversos tipos de equipamento. Além disso, o software de programação e simulação é gratuito. A IHM MT8071ip, Figura 17, é um dispositivo completo e atende a todos os requisitos de projeto proposto. As principais características desse equipamento são:

- Tela de 7" com resolução de 800x480 pixels;
- Processador 32 bit RISC CPU 600 MHz;
- Memória RAM de 128MB;
- Memória Flash 128MB (16MB para telas);
- 1 porta ethernet 10/100mbps;
- 1 porta serial 485 2w/4w, 422;
- 1 porta USB 2.0;
- Alimentação 24Vcc \pm 20%, 500mA;

Figura 17 – IHM Weintek MT8071ip.



Fonte - Manual do IHM MT8071ip

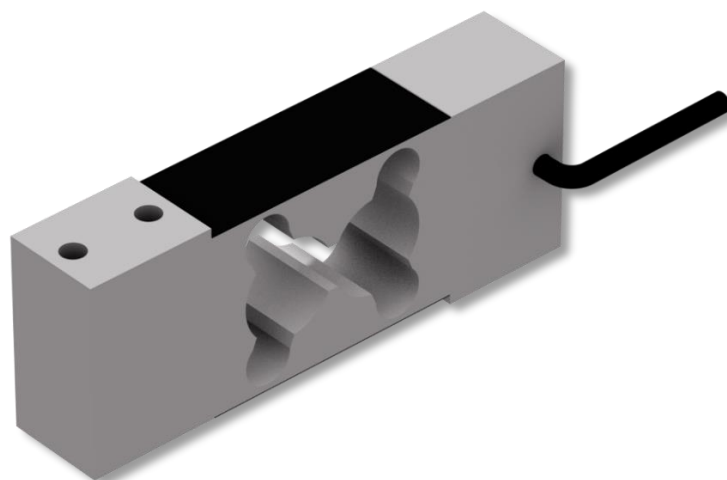
A interface escolhida pode ser programada e simulada no software *EasyBuilder Pro*. Este programa permite fazer inúmeras representações gráficas, pois possui ferramentas que facilitam o desenvolvimento do projeto. Ele permite também fazer cálculos de conversões de valores para representá-los na tela de acordo com a necessidade do programador. Todos os processos de programação e comunicação estão disponíveis no manual de Programação do Software *EBPro*.

3.3.4 Célula de Carga

A célula de carga selecionada para esse trabalho é o modelo G, Figura 18, fabricada pela empresa Alfa Instrumentos. A célula de carga modelo G é insensível a forças laterais e torções, permitindo a montagem da plataforma de pesagem diretamente sobre a célula, simplificando o desenho da balança. Suas propriedades básicas são:

- Capacidade Nominal: Até 50 kg;
- Material: Alumínio;
- Sensibilidade: $2\text{mV} / \text{V} \pm 10\%$;
- Temperatura de Trabalho: - 5 a + 60°C;
- Temperatura Compensada 0 a 50° C;
- Máxima Sobrecarga: 150 % da capacidade nominal;
- Sobrecarga de ruptura 300% da capacidade nominal;
- Número de Divisões 5.000;
- Classe de Proteção IP 67.

Figura 18 - Célula de carga.



Fonte - Alfa instrumentos.

Esse modelo de célula pode pesar até 50 kg, atendendo assim as características nos produtos apresentados. O sinal de saída desses modelos é extremamente baixo, e necessita de um transmissor para convertê-lo em sinais comuns a sistemas de automação.

3.3.5 Transmissor de peso

O transmissor para Célula de Carga LM8-NND da Figura 19 é destinado a realizar a conversão do sensor para medição de peso (célula de carga) em sinais padronizados. Este equipamento possui uma saída analógica e duas saídas digitais via relé. Seus principais atributos são:

- Modelo: LM8-NND (display de 4 dígitos);
- Display: Display LED;
- Fonte de alimentação: 110 /220 Vca;
- Precisão: 0,2% FS \pm 2dígitos;
- Consumo de energia: 5Vca;
- Taxa de amostragem: 16vezes/segundo;
- Entrada (célula de carga): 1 a 4 células de carga;
- Saída: 2 digitais (relés) e 1 analógica (4 a 20mA);
- Relé: 250 VAC, 3 A ou 30 VDC, 3 A;
- Auxiliar de alimentação:5 Vcc.

Figura 19 - Transmissor de peso.



Fonte - Mypin.

O Transmissor de pesagem LM8-NND possui entrada para célula de carga compatível com a descrita na seção anterior. Ele tem também saídas analógicas compatíveis com o CLP proposto para o projeto.

3.3.6 Aplicador de fita gomada

O aplicador de fita eletrônico da Figura 20 possui a função para umedecer e cortar a fita gomada na medida determinada para fechamento de caixas de papelão. O acionamento é feito por meio de dois botões que permitem ajustes individuais de comprimento de fita. O comprimento da fita pode ser regulado, através do potenciômetro, de 130 mm a 1.500 mm. Há um terceiro botão que opera de forma onde o comprimento da fita depende do tempo que o botão permanece pressionado.

Esse aparelho atende as especificações da norma NR12. Garantindo a segurança do operador. Trabalha tanto em 110/220 Volts, com seletor automático.

Figura 20 - Aplicador de fita gomada.



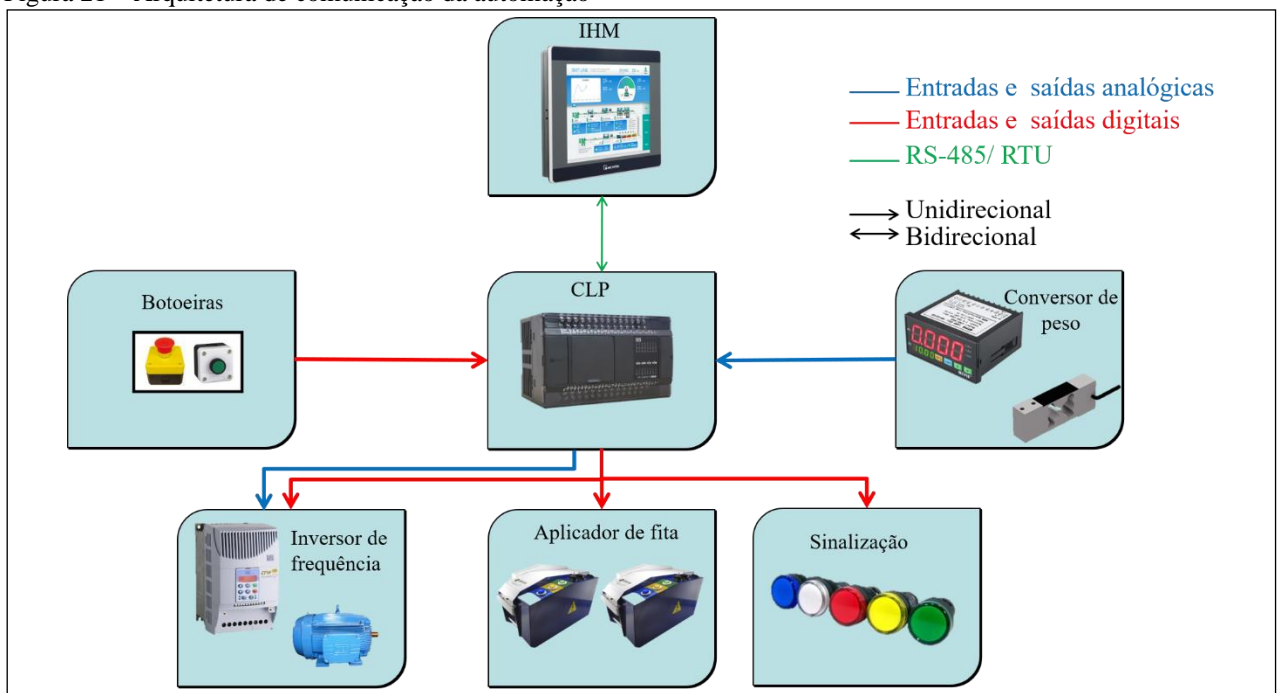
Fonte - Suplypack.

3.4 Arquitetura da comunicação

Partindo dos equipamentos e instrumentos propostos para essa automação foi elaborada a arquitetura física de comunicação, Figura 21, entre os dispositivos. O CLP é conectado com a IHM por protocolo de comunicação RS-485/RTU usando endereçamento hexadecimal. A comunicação entre o inversor de frequência e o controlador lógico é realizado por meio de uma saída analógica e uma saída digital do CLP. A saída digital habilita o inversor para funcionamento e a saída analógica é responsável pelo controle de velocidade do motor pelo inversor.

O conversor de peso utilizado possui uma saída analógica que informa ao clp, a leitura de peso da célula de carga conectada. O Controlador lógico indica condição de peso por meio de lâmpadas ligadas às suas saídas digitais. Os aplicadores de fitas também estão conectados ao CLP por meio das saídas digitais. Nas entradas digitais do CLP são conectadas as botoeiras de acionamento e desligamento do motor, além do acionamento do aplicador de fita posicionado no início da linha.

Figura 21 – Arquitetura de comunicação da automação



Fonte – Elaborado pelo autor.

Para a IHM se comunicar com o TPW-04 é necessário que o protocolo de comunicação seja igual em ambos os dispositivos. Os principais parâmetros a configurar são: a taxa de comunicação serial, a quantidade de bits de dados, determinar se a paridade da informação é par, ímpar ou não é utilizada e também definir a quantidade de bits de parada.

Para essa automação foi realizada a seguinte configuração:

- Taxa de comunicação serial: 19200
- Quantidade de bits de dados: 8 bits;
- Paridade: Nenhum;
- Bits de parada: 2 bits.

3.5 Programação do controlador lógico programável

Para dar início à programação é preciso identificar os elementos de conexão nas entradas e saídas do CLP. Os dispositivos conectados às entradas fornecem as informações necessárias para o funcionamento da automação. Esses dados são interpretados e transformados pelo programa, que ativa as saídas físicas do dispositivo. Para a realização da programação foram utilizadas 3 entradas digitais e 6 saídas digitais, uma entrada analógica e uma saída analógica. A nomenclatura das entradas analógicas (AI) e entradas digitais (X), assim como das saídas analógicas (AO) e saídas digitais (Y), estão representadas na Tabela 3 e na Tabela 4, respectivamente.

Tabela 3 - Descrição das Entradas

Entradas	Descrição do sinal
AI01	Leitura analógica do conversor de peso (4 a 20mA)
X003	Botoeira de início de ciclo
X006	Botoeira de parada manual
X011	Botoeira do Aplicador de fita do início da linha

Fonte - Elaborado pelo autor

Tabela 4 - Descrição das Saídas

Saídas	Descrição do sinal
AO01	Saída analógica para controle de velocidade (0 a 10V)
Y000	Sinalização que o peso medido está correto
Y001	Sinalização que o peso medido está incorreto
Y002	Sinalização que o peso medido está em zero
Y003	Saída para habilitar o inversor
Y004	Saída temporizada para o aplicador de fita do início da linha
Y005	Saída temporizada para o aplicador de fita do final da linha

Fonte - Elaborado pelo autor

A configuração da comunicação RS-485 no TPW-04 é realizada na própria programação *Ladder*. Para isso foi preciso mover valor 137, referente ao protocolo escolhido, para o endereço D8120, responsável por armazenar essa informação.

O *software* TPW-PCLINK disponibiliza diversas outras ferramentas que são usadas na criação da lógica disposta no apêndice A. Para realização deste trabalho foram utilizados elementos movedores e comparadores que facilitam a programação e permitem que valores sejam gravados para utilização posterior. Registradores de endereço, memórias, contadores e temporizadores permitem a alocação de valores, instruções e condições de funcionamento que podem ser analisadas em tempo real. Esses elementos são utilizados para realização de intertravamento, promovendo a correta execução das tarefas da automação.

Em caso de falta de alimentação elétrica, todas as saídas são desativadas, desligando os equipamentos controlados pelo CLP. Ao retornar a energia o operador deverá reiniciar o sistema, porém todas as variáveis ficam salvas na memória do TPW-04 que possui uma bateria interna.

3.6 Configuração da interface gráfica

A configuração da comunicação é realizada quando se inicia o software *EBPro*, juntamente com a escolha do modelo da Interface gráfica. A Figura 22 mostra a tela de configuração e os valores de comunicação escolhidos para essa automação.

Figura 22 – Configuração RS-485/ Modbus na IHM

COM Port Settings

COM : COM 2

Baud rate : 19200

Data bits : 8 Bits

Parity : None

Stop bits : 2 Bits

Timeout (sec) : 1.0

Turn around delay (ms) : 0

The number of resending commands : 0

* 76800 baud rate requires OS version 20160824 or later.

OK Cancel

Fonte – Elaborado pelo autor.

3.6.1 Mapeamento das memórias e endereçamento

Para realizar a programação da automação proposta são utilizados uma grande quantidade de blocos de linguagem *Ladder*. Cada bloco possui um número responsável pelo endereço onde fica armazenada essa informação e de onde ela é extraída para ser utilizada ou mostrada na interface gráfica, o mapeamento dessas memórias está disponível no manual do TPW-04. Na Tabela 5 podem ser visualizados os endereços Modbus/RTU em hexadecimal das entradas e saídas, analógicas e digitais utilizadas no CLP.

Tabela 5 - Mapeamento das Entradas e saídas

Entradas e Saídas	Descrição do sinal	Modbus/RTU
AI01	Leitura analógica do conversor de peso (4 a 20mA)	642C
X003	Botoeira de início de ciclo	0003
X006	Botoeira de parada manual	0006
X011	Botoeira do Aplicador de fita do início da linha	0009
AO01	Saída analógica para controle de velocidade (0 a 10V)	63F5
Y000	Sinalização que o peso medido está correto	0100
Y001	Sinalização que o peso medido está incorreto	0101
Y002	Sinalização que o peso medido está em zero	0102
Y003	Saída para habilitar o inversor	0103
Y004	Saída temporizada para o aplicador de fita do início da linha	0104
Y005	Saída temporizada para o aplicador de fita do final da linha	0105

Fonte - Elaborado pelo autor

Na Tabela 6 podem ser visualizadas as variáveis de comunicação definidas para enviar a IHM os sinais binários da automação, ou seja, valores que pode assumir apenas dois valores, zero ou um.

Tabela 6 - Mapeamento dos sinais binários utilizados na IHM

Entradas e Saídas	Descrição do sinal	Modbus/RTU
M15	Zera todos os contadores de peças	0209
M16	Botoeira de início de ciclo	0210
M17	Botoeira de parada manual	0211
M23	Botoeira do Aplicador de fita do início da linha	0217
M29	Zera todos os temporizadores	021D

Fonte - Elaborado pelo autor

As variáveis que podem possuir caráter não binário, ou seja, assumir mais de dois valores, são chamadas de *words*. Na Tabela 7 podem ser visualizadas as *words* definidas para enviar e receber sinais da IHM.

Tabela 7 - Mapeamento das *words* utilizadas na IHM

Memórias	Descrição do sinal	Modbus/RTU
C100	Contador de produtos produzidos	4264
C131	Contador de minutos em operação	4883
C135	Contador de minutos de parada desconhecida	4287
C145	Contador de minutos de parada manual	4291
C150	Contador de produtos na esteira	4296
C155	Contador de minutos de parada por falta de pedido	429B
C200	Contador de produtos produzidos com erro de peso	42C8
D000	Peso do corpo do produto	4338
D001	Contador de produtos produzidos com peso correto	4339
D002	Peso do braço	433A
D004	Peso do encosto	433C
D010	Soma com o peso total do produto a ser produzido	4342
D030	Tempo do último ciclo	4549
D172	Soma total dos minutos (operação e paradas)	43E4
D400	Quantidade de produtos a serem produzidos	44C8
D404	Variação de peso admissível	44CC
D507	Velocidade do motor	4533
D600	Tamanho das fitas para fechamento das caixas	4590
T030	Tempo do ciclo atual	401C

Fonte - Elaborado pelo autor

3.7 Parametrização do inversor de frequência

O inversor de frequência tem como principal função controlar a velocidade da esteira, de acordo com o produto que está em operação. Para isso o CFW10 recebe um sinal analógico do CLP na faixa de 0 a 10 V, de acordo com a necessidade de operação. Antes de ser realizada a parametrização do inversor, o manual do equipamento aconselha realizar o carregamento das configurações de fábrica. Para isso é necessário configurar o parâmetro 204 com o número cinco.

Em seguida é necessário alterar o modo de operação do CFW10 de local para remoto e manter o controle de velocidade como analógico. Isso fará com que o inversor obedeça a configuração analógica externa recebida do controlador lógico. Além disso, é essencial ajustar as velocidades mínimas e máximas de operação para 30 Hz e 60 Hz. Para funcionar nas condições descritas nesse projeto, é preciso parametrizar o inversor de frequência conforme a Tabela 8.

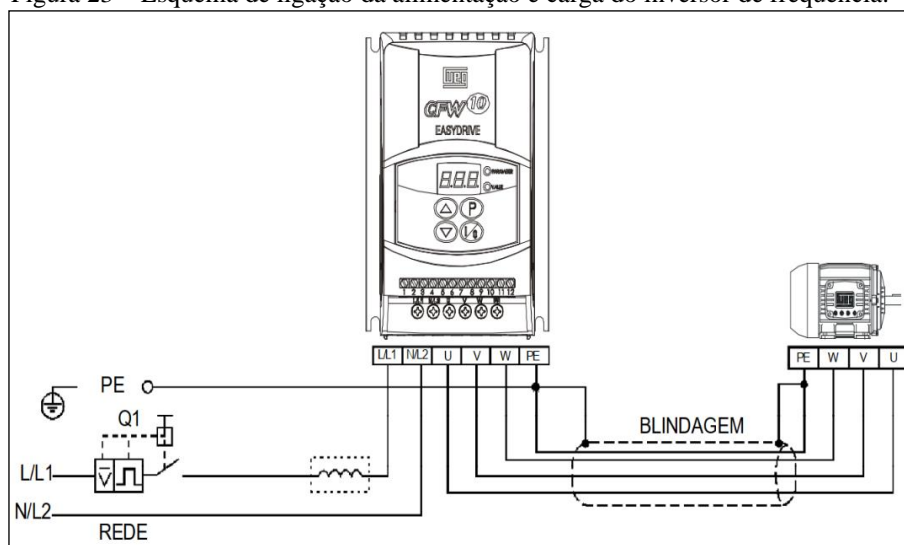
Tabela 8 – Parâmetros do inversor de frequência

Função	Ajuste de fábrica /Ajuste de funcionamento	
P000-Parâmetro de acesso	0	5
P100-Tempo de aceleração [s]	5,0	6,0
P101-Tempo de desaceleração [s]	10,0	6,0
P133-Frequência mínima [Hz]	3,0	30,0
P134-Frequência máxima [Hz]	66,0	60,0
P220-Seleção da fonte (remota)	2	1
P222-Seleção de velocidade remota (analógica)	1	1
P263-Entrada digital 1 (habilita geral)	0	0
P266-Entrada digital 4 (gira/pára)	8	8

Fonte - Elaborado pelo autor

As configurações das entradas digitais do projeto são similares as que estão pré-definidas no ajuste de fábrica, por esse motivo não é necessário que sejam alteradas. A Figura 23 mostra o esquema de ligação necessário para realizar a alimentação do inversor e também a conexão entre o inversor e motor. A alimentação do inversor é monofásica em 220 volts, e a saída para o motor é trifásica também em 220 volts.

Figura 23 – Esquema de ligação da alimentação e carga do inversor de frequência.



Fonte – Manual do CFW10.

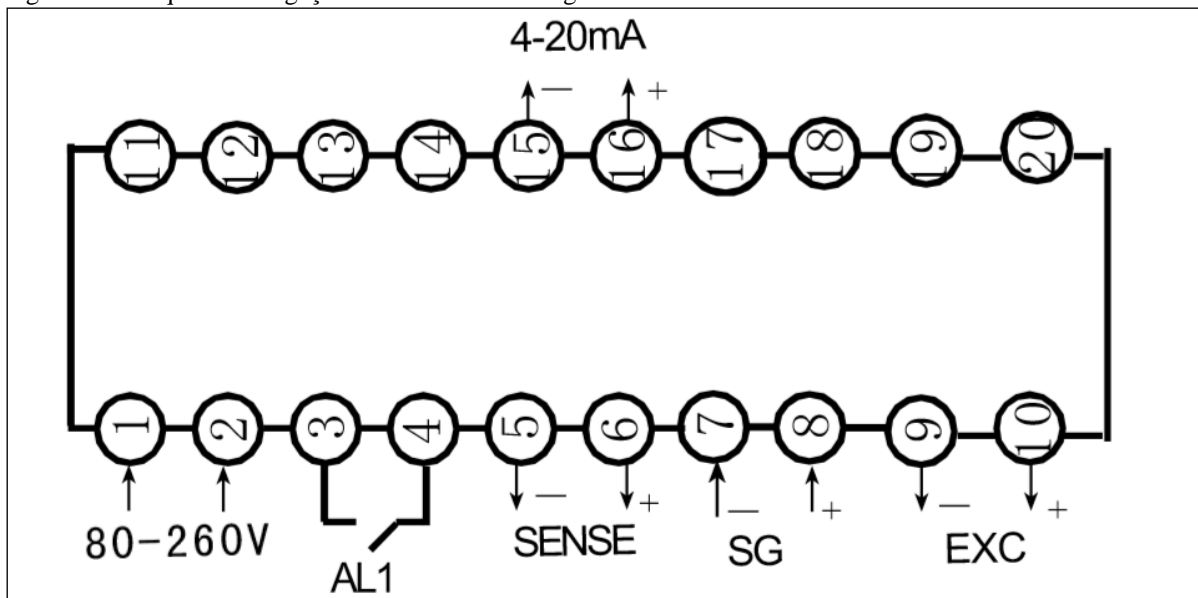
3.8 Configuração do Conversor de peso

O conversor de peso deste projeto possui um display que apresenta ao operador qual é o peso instantâneo do produto e conta também com uma saída analógica por corrente, de 4 a 20 mA, que informa ao CLP qual é essa medida. Para que o funcionamento da balança seja coerente é necessário calibrá-la. Isso pode ser feito utilizando um peso padrão, ou seja, um objeto que possua um peso exato. Na calibração dessa balança foi utilizado um peso de 2 kg.

Para realizar a calibração é preciso deixar a balança sem peso algum sobre ela e então gravar o peso zero. Em seguida é preciso informar ao conversor qual peso será posto sobre a balança (nesse caso, 2 kg), então colocar o objeto sobre ela e registrar o valor informado, referente ao peso atual.

O próximo passo é configurar a saída analógica. Para tanto, é preciso ajustar os parâmetros dos valores mínimo e máximo do projeto. O valor mínimo referente a 4 mA configurado para essa automação é de 0 kg e o valor máximo condizente a 20 mA é de 50kg. Por fim, é realizada a ligação entre a célula de carga e a conversor e ainda a alimentação da energia elétrica conforme mostra a Figura 24.

Figura 24 – Esquema de ligação do conversor de carga.



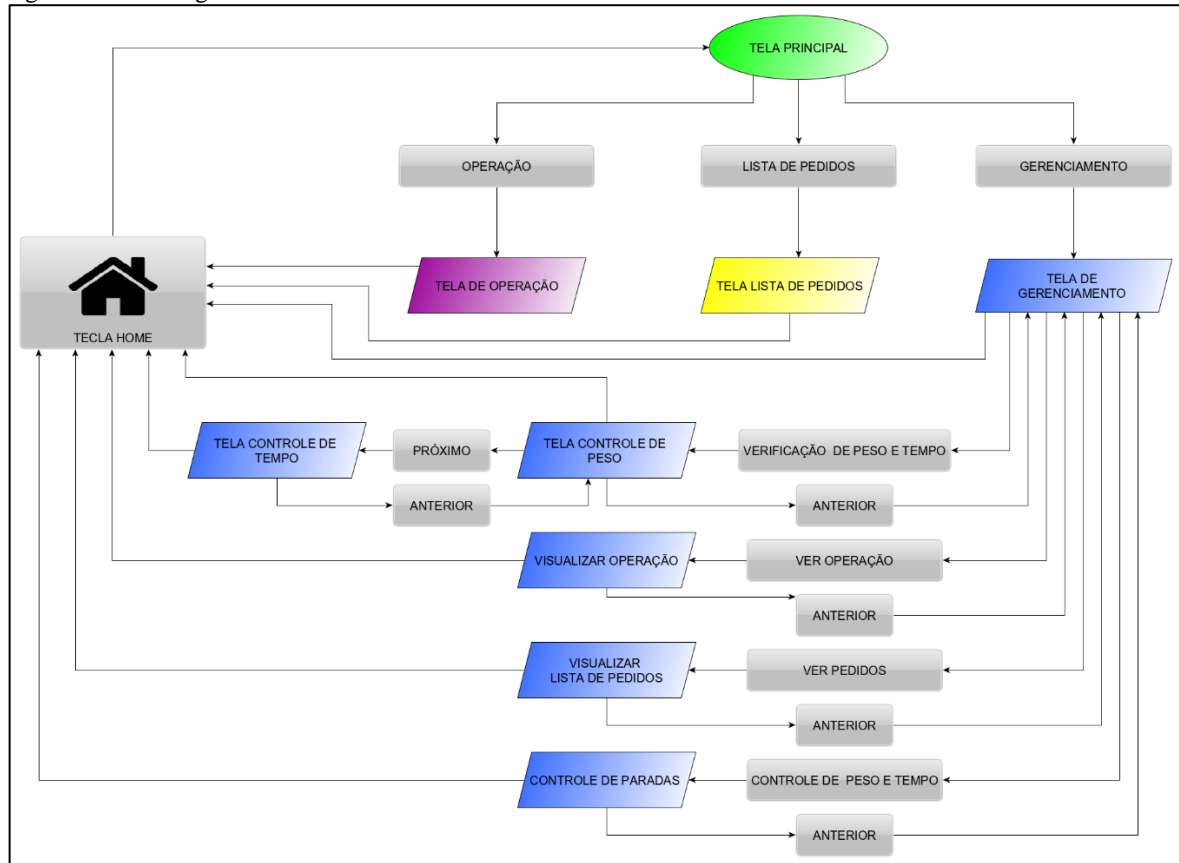
Fonte – Manual do conversor de peso Mypin.

3.9 Telas da IHM

Para atender os requisitos do sistema proposto e apresentar as informações adquiridas é necessário desenvolver o fluxograma da Figura 25 a fim de organizar as telas da interface gráfica. A automação parte da tela principal é dividida em três áreas distintas: entrada dos pedidos, operação e gerenciamento. Além das teclas que selecionam cada área a ser acessada,

os botões ‘home’, ‘próximo’ e ‘anterior’ também são responsáveis pela comutação entre as telas. A área de gerenciamento também é subdividida, o que facilita a orientação e a organização do sistema.

Figura 25 – Fluxograma das telas da IHM



Fonte - Elaborado pelo autor

O software *EasyBuilder Pro* ainda conta com uma aba para gravação dos projetos na IHM, onde o modo de comunicação pode ser escolhido via serial ou por *ethernet*. Para esse projeto foi utilizado a gravação via *ethernet*, onde é atribuído números de identificação (IP) distintos tanto para o computador quanto para própria IHM. Para configurar esse tipo de ligação é necessário selecionar o protocolo de TCP/IP nas configurações de rede do computador.

3.10 Orçamento do projeto

Para ser possível mensurar a viabilidade econômica do projeto proposto é necessário fazer o levantamento dos valores dos principais dispositivos da planta estudada. A Tabela 9 mostra os valores dos dispositivos citados após ter sido realizados três orçamentos.

Tabela 9 – Valores dos equipamentos.

Função	Unidades	Valor
Aplicadores de fita gomada	2	R\$ 3.545,00
Célula de Carga 50kg	1	R\$ 269,00
CLP TPW04 com expansão analógica	1	R\$ 1.765,00
Conversor de peso Mypin	1	R\$ 749,00
IHM Weintek MT8071ip	1	R\$ 1.369,00
Inversor de frequência CFW10	1	R\$ 685,00
Motor WEG ½ CV	1	R\$ 449,00
TOTAL	8	R\$ 8.831,00

Fonte - Elaborado pelo autor

Todos os orçamentos apresentados foram realizados em empresas nacionais, mesmo que alguns equipamentos sejam importados. A linha de montagem estudada já contém dois aplicadores de fita, o inversor de frequência, o motor da esteira e a célula de carga. Portanto para a implementação do sistema proposto é necessária apenas a aquisição da IHM, CLP e do conversor de peso, o que reduz o custo da implantação em aproximadamente 73%, deixando de possuir um valor de R\$ 8.831,00 para custar apenas 2.385,00.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem como finalidade descrever os resultados obtidos a partir dos procedimentos metodológicos adotados. Foi realizada uma análise do comportamento do sistema de automação em duas etapas. A primeira direcionada a simulação em três *softwares*: TPW-PCLINK, para realizar testes na programação do CLP, no CADeSIMU para projeções de velocidades no inversor de frequência e no *EBPro* para simulação da IHM. Na segunda etapa foi montada uma bancada, para ajustar a programação e corrigir alguns erros, efetuar o monitoramento das variáveis controladas pela IHM e ainda realizar ligação entre todos os dispositivos para testes de comunicação.

Para realização dessas etapas é necessário a conversão dos valores recebidos pelo CLP. Com a utilização de proporção direta, é possível transformar os pesos dos produtos, de quilogramas (kg) para corrente elétrica (mA), onde os valores de 0 a 50 kg representam 4 a 20 mA. O TPW04 da WEG possui um conversor de 12 bits, conseguindo assim registrar 4096 informações digitais. Dessa forma, a corrente aplicada na entrada analógica que varia entre 4 e 20 mA, representa para o CLP, 0 a 4096 bits. A conversão dos pesos dos produtos e dos componentes, para bits, estão representados nas Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12, respectivamente.

Tabela 10 - Conversão dos pesos dos Produtos.

Modelo do produto	[kg]	[bits]	[mA]
A	8,3	680	6,66
B	8,7	713	6,78
C	9,3	762	6,98
D	9,5	778	7,04
E	10,0	819	7,20

Fonte - Elaborado pelo autor

Tabela 11 - Conversão dos pesos do braço.

Modelo do braço	[kg]	[bits]	[mA]
N/A	0	0	4,00
A	1,0	82	4,32
B	1,3	106	4,42
C	2,0	164	4,64
D	2,5	205	4,80

Fonte - Elaborado pelo autor

Tabela 12 - Conversão dos pesos do encosto.

Modelo do encosto	[kg]	[bits]	[mA]
N/A	0	0	4,00
A	0,3	25	4,10
B	0,5	41	4,16
C	0,7	57	4,22
D	0,9	70	4,80

Fonte - Elaborado pelo autor

A mesma relação foi feita com o controle de velocidade, porém a saída analógica do CLP está programada para tensão, respeitado uma faixa entre 0 e 10V. A frequência em Hertz também foi comparada com 4096 bits digitais. A Tabela 13 mostra os valores encontrados em um inversor parametrizado para trabalhar com uma variação de velocidade de 30 Hz.

Tabela 13 - Conversão de frequências.

Frequência [Hz]	bits	[V]
30	0	0,0
35	683	1,7
40	1365	3,3
45	2048	5,0
50	2731	6,7
55	3413	8,3
60	4096	10

Fonte - Elaborado pelo autor

As medidas das fitas da embalagem foram convertidas em tempo como mostra Tabela 14. Sabendo que o aplicador de fita opera com comprimentos de até 1500 mm, e isso é equivalente a ficar ligado por 2 segundos, se pode encontrar o tempo para produção de cada caixa. O TPW 04 registra o tempo para essa operação a cada 10 ms.

Tabela 14 - Conversão de medidas.

caixa [mm]	fita [mm]	tempo [s]	tempo [x10ms]
0	0	0,00	0
500	700	0,93	93
600	800	1,07	107
700	900	1,20	120
800	1000	1,33	133

Fonte - Elaborado pelo autor

4.1 Simulação do TPW-04 no *software* TPW-PCLINK

A plataforma de simulação oferecida pelo software TPW PCLINK facilita a realização dos testes virtuais de funcionamento e ainda disponibiliza uma interface gráfica para simulação e monitoramento das variáveis.

4.1.1 Registro das informações

Os valores encontrados são agregados ao programa do CLP, de forma que quando um produto é selecionado, registra os valores calculados em endereços do dispositivo. O mesmo acontece com os valores dos componentes. O programa, com auxílio de somadores, guarda a soma em novos endereços. Cada produto selecionado contém, agregado a ele, um peso, um tempo de acionamento do aplicador de fita e a velocidade que a esteira deve operar. Também são designados endereços para informar ao CLP a quantidade de produtos que devem ser produzidos. O TPW-PCLINK possui uma interface de simulação onde é possível verificar se os valores estão precisamente guardados como mostra a Figura 26.

Figura 26 - Função mover na programação *Ladder*



Fonte - Elaborado pelo autor

4.1.2 Simulação das entradas e saídas

Na simulação das entradas e saídas consegue-se verificar o correto funcionamento dos tempos propostos na automação, bem como os registros de contagem de produtos. O software contém um acessório onde se pode forçar o funcionamento de uma entrada, Figura 27, e assim verificar as consequências que ocorrem com essa interação. Nessa etapa pode-se analisar o cumprimento de vários requisitos propostos, como o registro e identificação das paradas, onde o tempo, com auxílio de um contador, é transformado em minutos e salvo em endereços referentes a cada tipo especificada de parada. O tempo de acionamento do aplicador de fita do início da linha também pode ser verificado nessa etapa.

Figura 27 - Interface para alterar dispositivos.

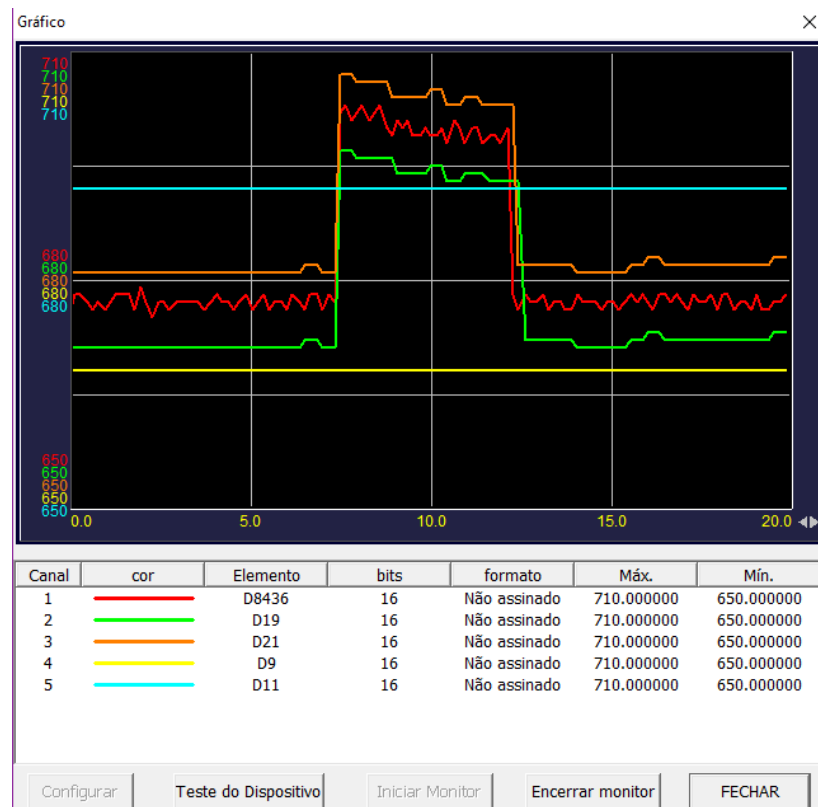
The image shows a software dialog box titled "Modificação de Dispositivo". It is divided into two main sections. The first section, "Dispositivo de Bit", contains a text input field with the value "X000" and three buttons: "Energia LIGADA", "Energia DESLIGADA", and "Força de Chavear". The second section, "Dispositivo de Palavra", contains an empty text input field, a label "Valor de configuração:", a text input field with the value "0", a dropdown menu set to "DEC", another dropdown menu set to "16 bit integer", and a "configurar" button. A "fechar" button is located at the bottom right of the dialog box.

Fonte - Elaborado pelo autor

Com essa interface também é possível configurar valores para os registradores e assim atribuir um valor específico de entrada analógica. Essa ferramenta foi usada no trabalho para simular possíveis pesos recebidos pelo transmissor. Com isso pode-se verificar que quando os valores relacionados ao peso estiverem coerentes, ou seja, dentro das faixas estabelecidas e se manter estável por um determinado tempo, o programa contabiliza um produto e ativa a saída do aplicador de fita do final da linha. Caso o valor recebido, não for ideal, o programa contabiliza um produto e um erro, mas não habilita a saída do aplicador de fita. Foram habilitadas também três saídas digitais com lâmpadas de sinalização que identificam em qual faixa, a leitura analógica referente ao peso, se encontra e também se não possui valor de leitura atribuído, ou seja, peso igual a zero.

Outra ferramenta utilizada no *software* é o monitor gráfico, Figura 28. Esse instrumento visual é necessário para a visualização das variáveis manipuladas, bem como para conferência dos resultados esperados e ajustes durante a programação.

Figura 28 - Simulação da estabilidade da entrada analógica



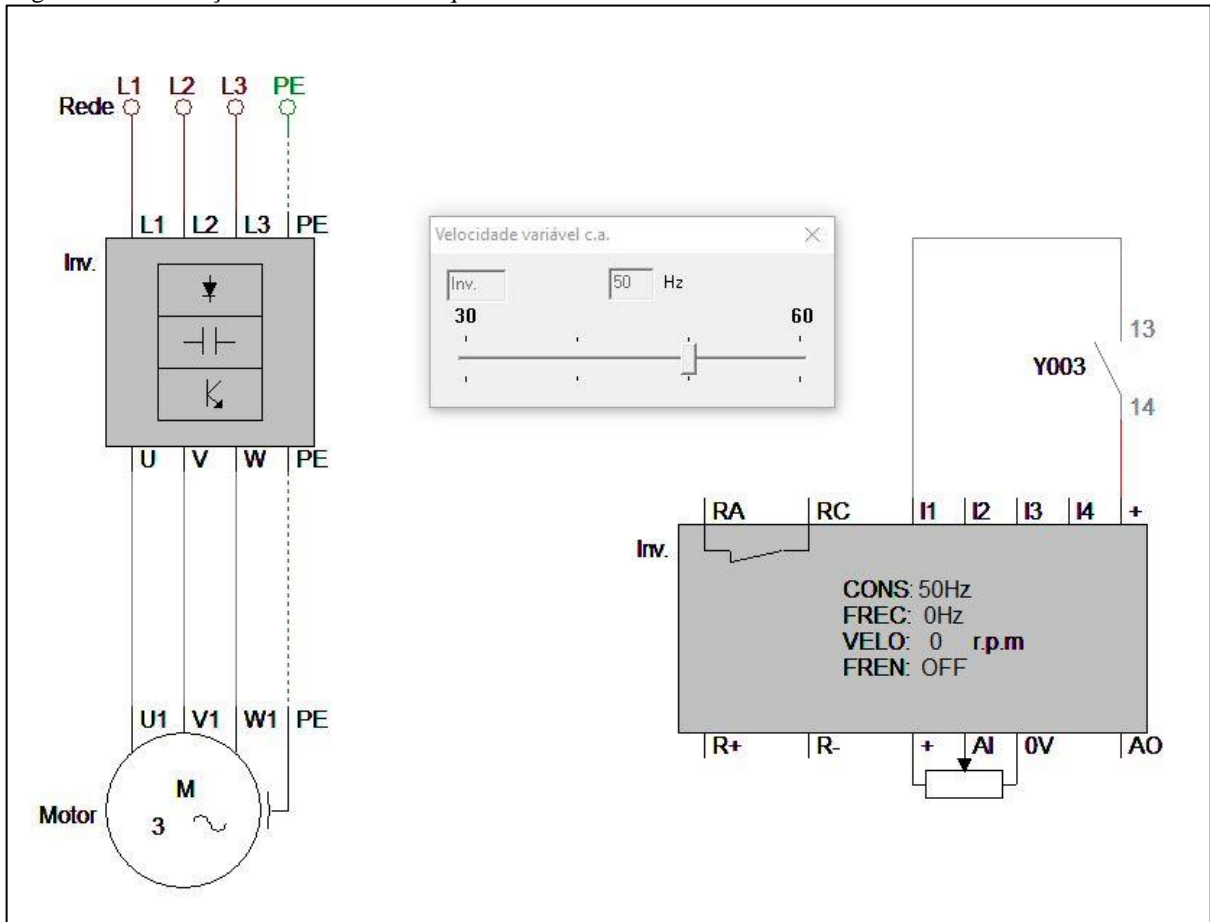
Fonte - Elaborado pelo autor

A linha vermelha representa a leitura de entrada analógica simulando um peso recebido da balança. A linha amarela e linha azul são os limites definidos como mínimo e máximo para um determinado produto. A linha verde e linha laranja são espelhos da entrada analógica atribuídos ao controle de estabilidade da leitura de peso. Elas possuem um *offset* negativo e positivo, respectivamente e um atraso de um ciclo de processamento do programa. Assim quando houver uma oscilação em que valor da leitura analógica do peso ultrapasse os limites de estabilidade, durante uma pequena faixa de tempo, o sistema não realiza a leitura do peso do produto.

4.2 Simulação do inversor de frequência no *software* CADeSIMU

Por meio do *software* CADeSIMU V3 foi possível comparar os valores de velocidade simulados com os calculados e apresentados na Tabela 13. O *software* possibilita a verificação de mudança de velocidade de acordo com a variação de tensão na entrada analógica do inversor. A Figura 29 mostra a velocidade de ensaio proposta na tabela onde para uma tensão de 50 Hz é necessária uma tensão de 6,7V.

Figura 29 - Simulação do Inversor de frequência



Fonte - Elaborado pelo autor

Essa etapa foi fundamental para validar o tipo de controle a ser utilizado, uma vez que o controle analógico se torna mais eficiente levando em conta que o número de velocidades que se pode atribuir ao sistema é maior que no controle digital.

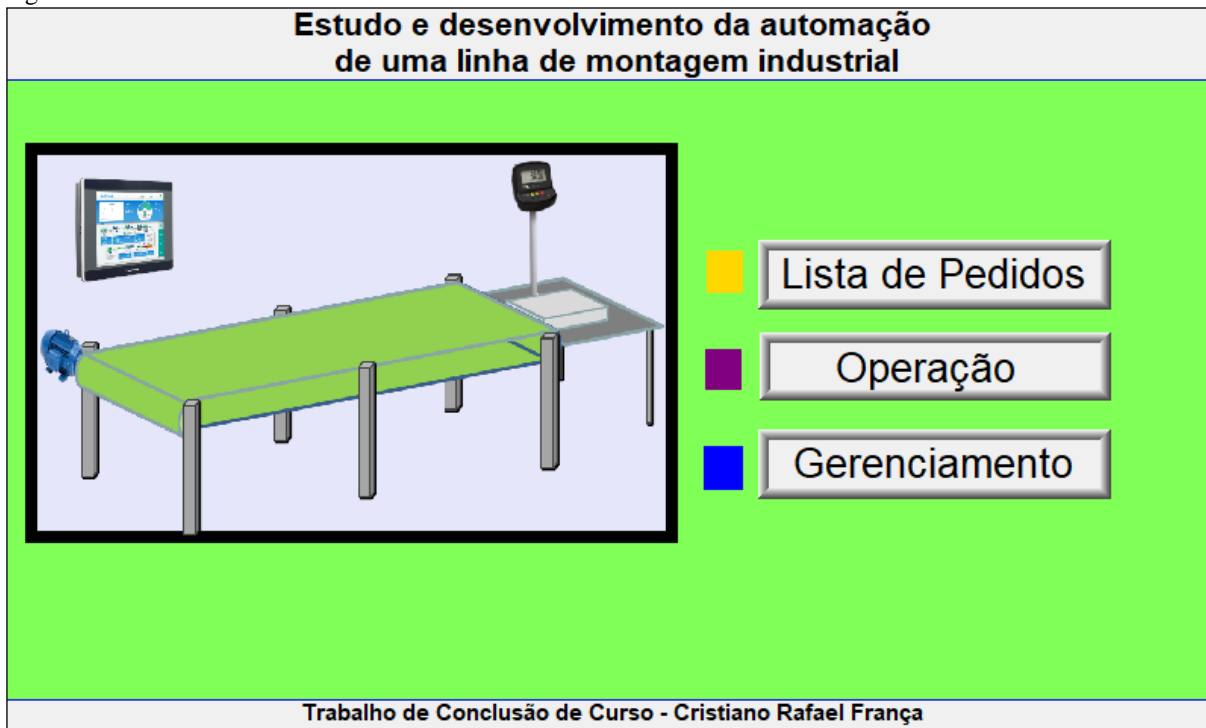
4.3 Simulação da IHM MT8071ip no software *EasyBuilder Pro*

Para programar as telas da automação, foi necessária a utilização do software *EasyBuilder Pro*, onde foi possível converter os dados recebidos do CLP em informações que possam ser visualizadas. Além disso, o software conta com uma vasta biblioteca de ícones e imagens para representação gráfica e ainda uma grande quantidade de ferramentas que auxiliam na elaboração do projeto. No programa ainda é possível fazer a simulação do projeto elaborado conectado ao controlador lógico programável. Com o objetivo de atender os requisitos do sistema proposto e baseado no fluxograma da Figura 25, foram criadas as telas para operar o processo e apresentar as informações adquiridas.

4.3.1 Tela inicial

A tela inicial apresentada na Figura 30 mostra a divisão das três áreas comentadas na sessão anterior e cada uma delas também é diferenciada por uma cor. Esta tela é responsável por direcionar o usuário para seu objetivo. Toda vez que a tecla *home* de qualquer tela da automação é pressionada, o usuário é encaminhado novamente para essa tela inicial.

Figura 30 – Tela inicial



Fonte – Elaborado pelo autor.

4.3.2 Tela de lista de pedidos

Na tela de lista de pedidos, Figura 31, é onde o operador entra com o código que caracteriza o pedido. Este código é formado por três caracteres, onde o primeiro está associado ao modelo do produto, o segundo é referente ao modelo do braço e o terceiro representa o modelo do encosto. É nessa tela também que se indica ao sistema a quantidade de produtos que serão produzidos.

Nesta tela o usuário pode preencher uma lista com os próximos pedidos que serão produzidos na linha de montagem, com o código do modelo e a quantidade. Toda vez que um pedido se encerra, todos os produtos da lista sobem uma posição na fila e o primeiro da lista entra em execução. Caso um pedido com urgência necessite ser produzido antes da lista, o operador pode adicioná-lo ao espaço reservado para esse tipo de produto, onde o sistema entende que se houver um valor atribuído a quantidade desse tipo de pedido, e o executa antes da lista de espera.

Para finalizar o pedido em execução e iniciar a produção do pedido urgente instantaneamente, deve-se alterar o valor da quantidade do produto que está em operação para o número de produtos já fabricados, isso fará com que o pedido atual se encerre.

Figura 31 – Tela da lista de pedidos para venda.

Lista de Pedidos para Venda						
Quantidade	Código do Produto 1			Quantidade	Pedido em execução	
200	5	1	1	0	1	0
Quantidade	Código do Produto 2			Quantidade	Pedido Urgente	
42	4	4	3	20	5	3
Quantidade	Código do Produto 3			Quantidade	Pedido na espera	
300	5	1	2	200	5	1
Quantidade	Código do Produto 4					
360	2	3	4			

Trabalho de Conclusão de Curso - Cristiano Rafael França

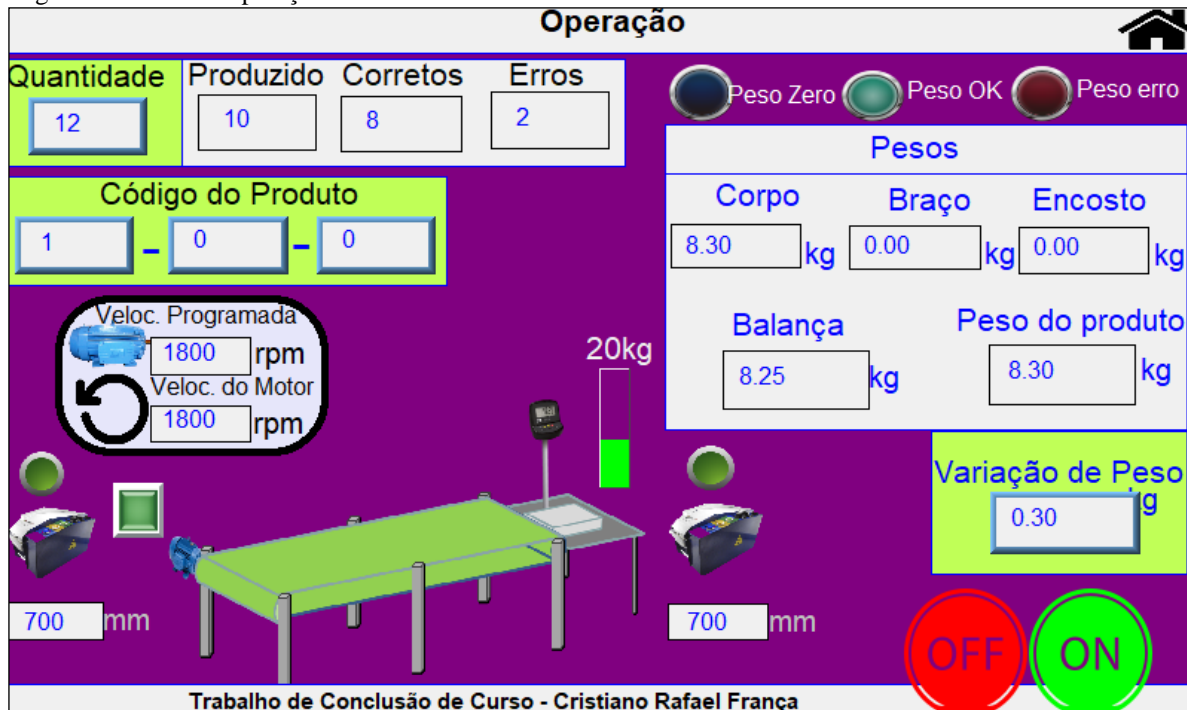
Fonte – Elaborado pelo autor.

4.3.3 Tela de operação

A tela de operação da Figura 32 tem como objetivo mostrar o pedido que está em execução, a quantidade de produtos do pedido, a contagem dos produtos em tempo real e ainda os acertos e erros referentes ao peso associado a cada produto da linha de montagem. Toda vez que o pedido se encerra, e outro se inicia com características diferentes, pode ser visto nessa tela que os valores relacionados ao peso do produto, velocidade da esteira e tamanho da fita se alteram automaticamente, o que agiliza o processo, garantindo um ganho de eficiência na linha de montagem.

As medidas são apresentadas somente após passar pela função *macro*, que é responsável por realizar operações matemáticas, convertendo o valor recebido em bits do CLP para seu equivalente em quilogramas, milímetros ou rotações por minutos. Nessa tela ainda podemos ligar e desligar o ciclo de operação, acionar o fiteiro do início da linha e alterar o valor de variação de peso admissível para o produto.

Figura 32 – Tela de operação.

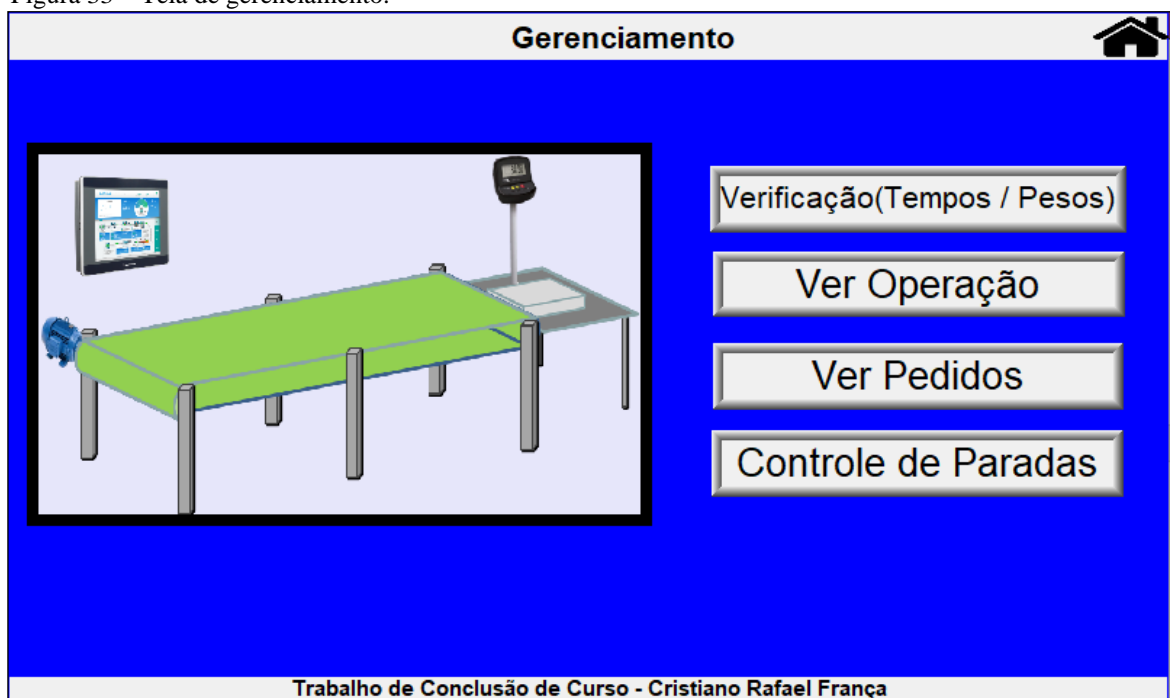


Fonte – Elaborado pelo autor.

4.3.4 Telas de gerenciamento

A tela principal de gerenciamento é utilizada para direcionar o gestor que deseja monitor a linha de montagem ou visualizar os dados coletados. Essa área da automação é dividida em 4 partes como pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 – Tela de gerenciamento.



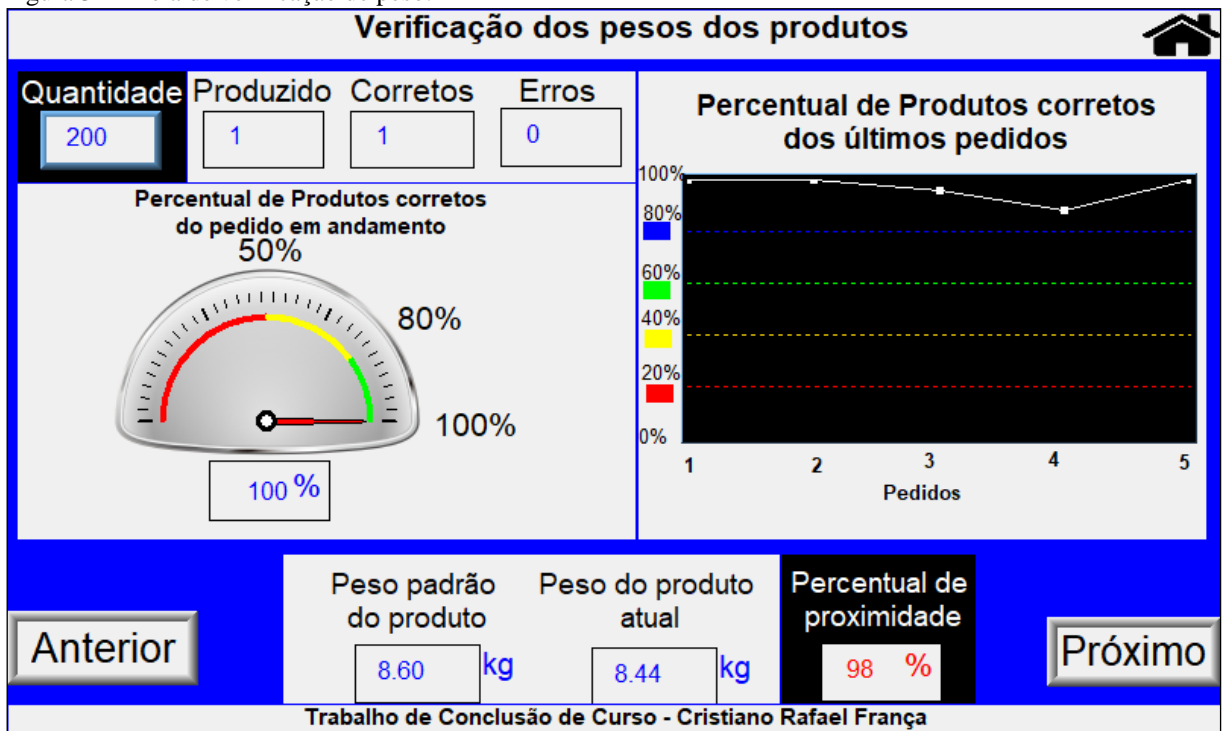
Fonte – Elaborado pelo autor.

As telas para visualizar a lista de pedidos e a operação são similares as apresentadas nas sessões anteriores, com a diferença de que não possuem características de operação ou mudança de variáveis, ou seja, são telas meramente demonstrativas que servem apenas para acompanhar o andamento do processo.

4.3.4.1 Verificação de tempos e pesos

Para verificar se os produtos estão sendo produzidos conforme os pesos estipulados para cada um, e qual é a taxa de erro associado ao produto individualmente e ao pedido em um todo foi criado a tela de verificação de peso apresentada na Figura 34. Nela, o gestor pode identificar o percentual dos produtos corretos do pedido em andamento em relação ao total produzido, além disso, a tela mostra também um gráfico desses valores referentes aos últimos pedidos. Caso o percentual de erro esteja alto, pode-se acompanhar ainda qual é a proximidade do peso atual do produto com o peso padrão estipulado para ele, isso ajuda em possíveis correções ou falhas providas de processos anteriores.

Figura 34 – Tela de verificação de peso.

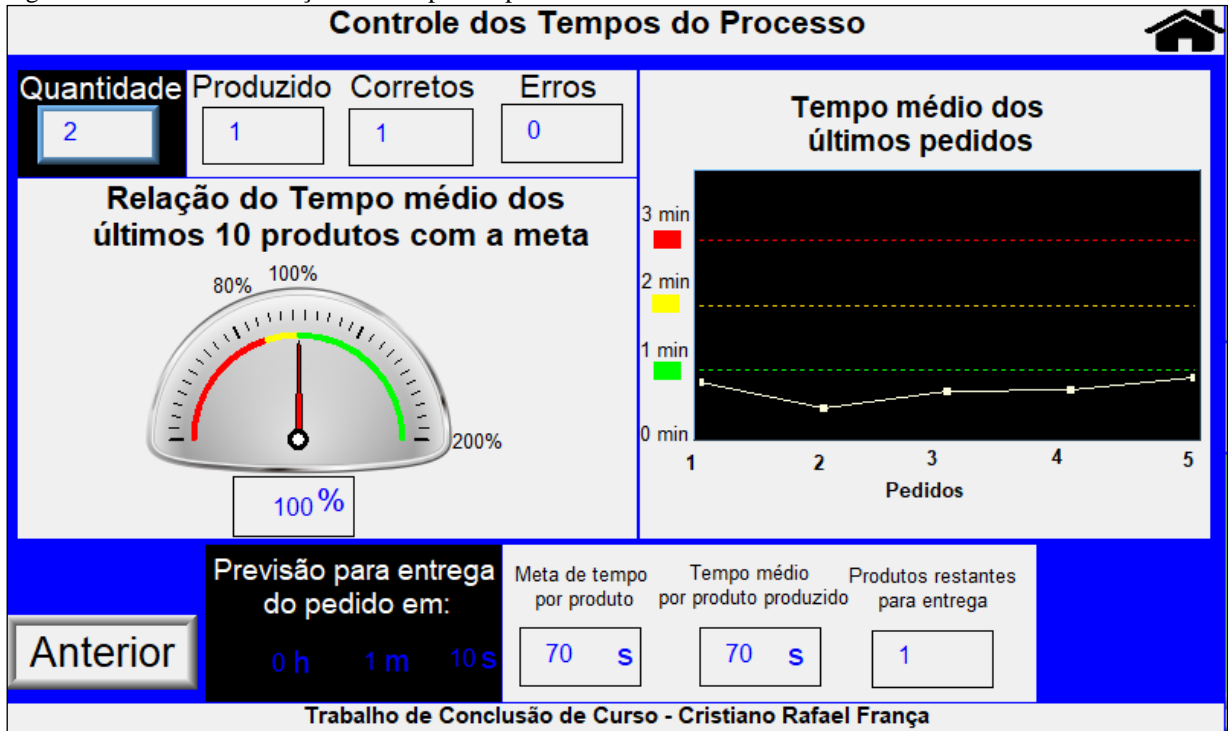


Fonte – Elaborado pelo autor.

Na tela de verificação dos tempos do processo, Figura 35, é possível acompanhar o tempo que cada produto demora a ser fabricado e ainda compará-lo com a meta estipulada para ele. A meta de tempo de cada produto foi calculada de acordo com a velocidade do motor, o raio do rolo da esteira e o comprimento da esteira. A tela traz ainda um gráfico apresentando o

tempo médio dos últimos pedidos produzidos. A média de tempo dos produtos do pedido em andamento foi calculada para estimar em quanto tempo o pedido será concluído, podendo assim programar os próximos pedidos da linha de forma mais precisa e organizar os prazos de entrega.

Figura 35 – Tela de verificação dos tempos do processo.



Fonte – Elaborado pelo autor

4.3.4.2 Controle do tempo de linha parada

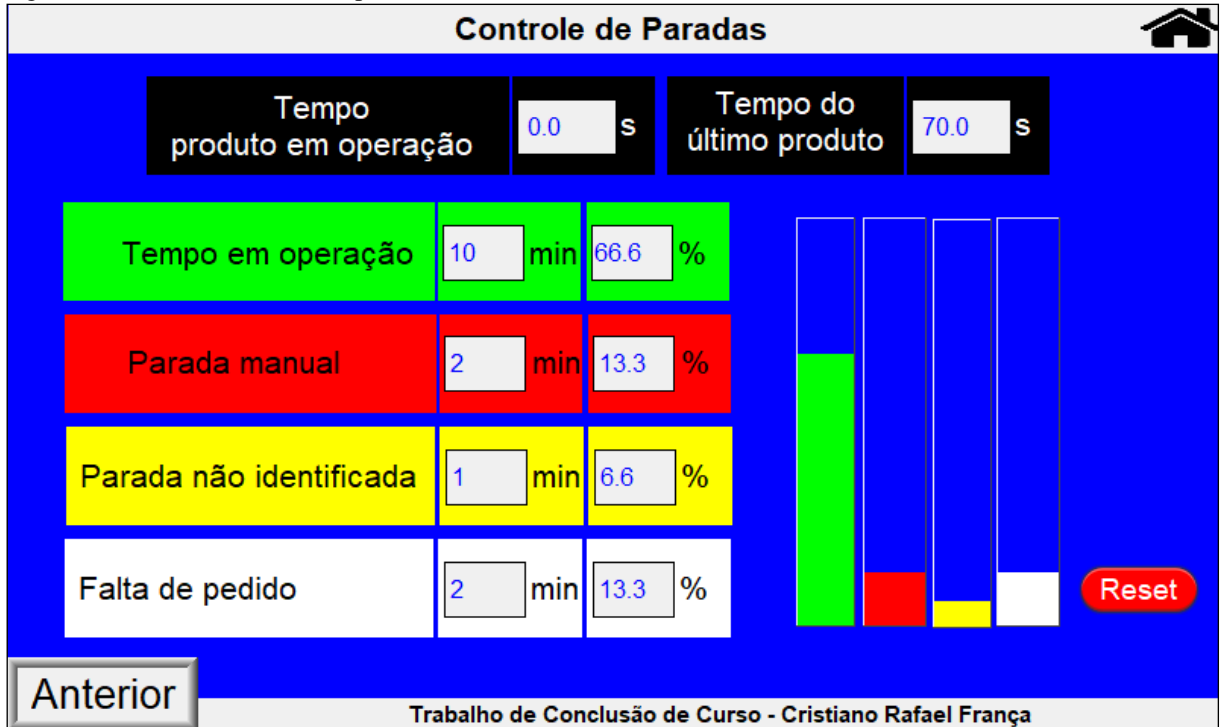
Para realizar o monitoramento das paradas de produção no decorrer dos pedidos foi criado uma tela de controle de paradas mostrada na Figura 36, onde pode-se identificar três tipos de paradas que acontecem ocasionalmente e ainda contabilizar os minutos de cada parada e do tempo que a linha se mantém em operação.

O tempo de operação de linha está ligado ao funcionamento da esteira, enquanto a esteira se mantém ligada, soma-se automaticamente os minutos no tempo de operação. Quando a linha não possui produto disponível, ou seja, as quantidades dos produtos da lista de pedidos para venda forem iguais a zero, incrementa-se o contador de parada por falta de pedido. Quando o último pedido se encerra a esteira se desliga e entra nesse tipo de parada.

Se o operador utilizar da botoeira de desligamento da esteira para realizar alguma outra atividade, são contabilizados os minutos de parada manual. Isso só acontece se a esteira estiver parada e houver pedidos pendentes na lista. Em caso da esteira permanecer ligada por três

minutos sem o CLP computar pedidos, a esteira se desliga automaticamente e entra em parada não informada.

Figura 36 – Tela de controle das paradas.



Fonte – Elaborado pelo autor.

Todos os valores são mostrados na tela em minutos e comparados com o valor total, gerando assim o percentual que cada um representa. Esses valores também são apresentados em forma de gráfico. Além disso, a tela traz a informação do tempo do produto que está em execução e do último produto produzido e ainda um botão de reset faz com que todas as variáveis apresentadas nessa tela sejam zeradas.

4.4 Teste em bancada da comunicação entre os dispositivos

Para execução de teste da automação foi fundamental a montagem de uma bancada em laboratório, Figura 37. Nessa fase foram feitas as comparações entre os valores medidos, com os valores calculados e simulados. Além disso, foi possível monitorar por meio dos *softwares* o comportamento das variáveis em tempo real e compará-las com as entradas e saídas. Nessa etapa também foi realizada a comunicação entre os dispositivos, a calibração do conversor de peso, as configurações das entradas e saídas analógicas do controlador lógico programável e a parametrização do inversor de frequência para controle de velocidade.

Para esse procedimento foi preciso utilização de botoeiras para testes das entradas digitais e ainda lâmpadas de sinalização e relés para as saídas dos aplicadores de fita e acionamento do

inversor. Foi necessário a utilização de uma estrutura para a célula de carga e a confecção de uma caixa para a instalação do conversor de peso. Foi montada também uma base para instalação da IHM, do CLP e do Inversor de frequência. Para realizar os testes em bancada não foi utilizado o inversor CFW10, mas o modelo CFW11, disponível no laboratório de eletrônica do curso de engenharia elétrica da URI de Erechim.

Figura 37 - Bancada de testes.



Fonte - Elaborado pelo autor.

Os valores de tensão elétrica medidos na saída analógica do controlador lógico programável, designados ao controle de velocidade do inversor de frequência foram medidos com o voltímetro e comparados com os valores calculados. Esses valores são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 - Valores calculados e medidos na saída analógica do CLP.

Frequência [Hz]	bits	Tensão calculada[V]	Tensão medida [V]
30	0	0,0	0,0
35	683	1,67	1,65
40	1365	3,33	3,30
45	2048	5,0	5,02
50	2731	6,67	6,68
55	3413	8,33	8,35
60	4096	10	10

Fonte - Elaborado pelo autor

Para realizar testes, alguns valores foram medidos na saída analógica do conversor de peso, que informam ao CLP qual é a corrente elétrica referente ao peso do produto. Essas

medidas são comparadas com os valores calculados e apresentados na Tabela 16. Para a realização dos testes de operação, foi preciso confeccionar objetos com pesos similares a dos produtos produzidos na linha de montagem.

Tabela 16 - Valores calculados e medidos na saída analógica do conversor de peso.

Peso [kg]	bits	Corrente calculada [mA]	Corrente medida [mA]
8,3	680	6,66	6,64
9,5	778	7,04	7,03
1,0	82	4,32	4,33
2,0	164	4,64	4,64
0,5	41	4,16	4,15
0,9	70	4,80	4,81

Fonte - Elaborado pelo autor

Foi realizado também ensaios para testar os tamanhos das fitas que selam as caixas. Com os tempos informados pelo fabricante, houve uma discrepância nos resultados previstos, onde as fitas ficaram com o tamanho menor do que o esperado. Os tempos foram ajustados e testados novamente para a obtenção de tamanhos compatíveis com as caixas.

Por fim, foram criadas condições de funcionamento onde as tarefas só podem ser executadas em determinado momento. O sistema de embalagem e contagem de produtos só funciona após a esteira estar ligada, evidenciando que para isso é necessário ter um pedido na lista, evitando o desperdício de embalagem e manobras que possam vir a confundir o gerenciamento dos tempos de cada parte do processo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs o desenvolvimento de um projeto de automação em linha de montagem visando a obtenção de dados para gerenciamento. Baseado no processo produtivo de uma linha de montagem industrial, onde foi possível levantar as informações referentes à produtividade e também à quantidade de produtos que apresentam erros durante a fabricação. Esses dados foram relevantes para o desenvolvimento do projeto.

Conforme apresentado nos resultados, as informações armazenadas oriundas dos requisitos da automação são armazenadas no controlador lógico programável. Esses dados podem ser utilizados, tanto na identificação de problemas, como para tomada de decisão. A implantação da IHM como interface gráfica, faz com que as variáveis adquiridas pelo sistema sejam dispostas em tempo real à gerência e facilitam a operação da linha de montagem.

Os gráficos apresentados na IHM também ajudam na interpretação de eficiência do processo. A verificação dos pesos dos produtos auxilia na correção relacionada a processos anteriores que possam estar ocasionando desperdício de material ou erros associados a estrutura do produto. O controle de tempo faz com que os gestores e líderes de produção possam analisar, melhorar a produtividade e ainda estipular novas metas quando necessário. O registro das paradas permite também que se possa identificar e corrigir o desperdício de tempo.

A automação mostrou capacidade de trabalhar com diversos produtos diferentes. Quando o pedido é alterado, todas as características dos produtos mudam instantaneamente. Essa capacidade de mudança faz com que diminua o desperdício de tempo entre a troca de produtos.

O controle de velocidade se mostrou eficiente e com erro relativo extremamente baixo em relação às medições. Além disso, a eficiência de produção pode dobrar com a utilização de diferentes velocidades utilizadas no inversor de frequência. O controle de estabilidade dos valores analógicos do conversor de peso apresentou-se eficiente, tanto na simulação, como nos testes em bancada, o que torna sua aplicação vantajosa trazendo benefícios de produtividade e controle, mitigando os erros relacionados ao produto. A utilização de um único sensor para controle de peso e contagem de produtos, reduzem os custos para uma futura implantação do sistema.

Todos os dispositivos apresentados e utilizados nesse projeto possuem similaridades de comunicação, o que possibilitou a implementação prática da automação proposta nesse trabalho. Dessa forma a execução prática mostra-se oportuna, pois irá cumprir com todos os requisitos do sistema apresentado nesse trabalho, proporcionando um melhor funcionamento

da linha descrita, além de diminuir possíveis falhas relacionadas à tomada de decisão operacional.

5.1 Sugestão para Continuação do Trabalho

Sempre que um sistema de automação é proposto, tendem a surgir novas sugestões para aprimorar as condições de funcionamento. Muitas vezes não são implementadas por não possuírem a função principal designada para a automação. Porém podem tornar-se de grande ajuda para ganho de eficiência e melhoria de desempenho do sistema. Abaixo estão citadas algumas sugestões que podem ser integradas a essa automação, mas que não foram implementadas por não estarem no escopo principal do trabalho:

- Desenvolver uma tela para fazer a conferência dos produtos ao término dos pedidos, onde pode-se utilizar a contagem dos erros e também o código do produto, mantendo assim as suas características como peso e embalagem, melhorando a eficiência também nessa etapa do processo.
- Colocar a variação de peso associada ao código do produto, assim não será necessário a alteração deste parâmetro todas as vezes que se troca de produto.
- Ligação da automação em um sistema supervisorio com banco de dados que possua mais memória que o CLP e a IHM, para preenchimento da lista de pedidos e para o aumento do armazenamento de informações em um período de tempo maior.
- Utilização de código de barras na entrada da linha para discriminar o tipo do produto.
- Monitorar o erro percentual associado a cada componente e compará-lo com o valor atribuído ao mesmo. Com isso pode-se identificar erros de fabricação relacionado as partes do produto individualmente e também de componentes oriundos de outras etapas do processo. Essa ferramenta pode ser conectada ao sistema de qualidade da empresa.

REFERÊNCIAS

- BALAKRISHNAN, S. M.; SANGAIAH, A. K. **Integrated QoUE and QoS approach for optimal service composition selection in internet of services (IoS)**. New York: Ed. Springer, 2016
- BEVILAQUA, J. A. **Estudo e Desenvolvimento de um Sistema de Automação em Malha Fechada para uma Caldeira Geradora de Vapor**. Trabalho de conclusão de curso - Curso Superior de Engenharia Elétrica, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Erechim, 2018.
- CAPELLI, A. **Automação Industrial: Controle e Movimento de Processos**. 3ª ed. São Paulo: Ed. ÉRICA, 2013.
- CRAVO, M. **Fábricas inteligentes na era da Indústria 4.0**. v. 1, 2019. Disponível em <<http://www.industria40.ind.br/artigo/17849-fabricas-inteligentes-na-era-da-industria-40>> Acesso em 16/06/2019.
- DLG. **Conversor para Célula de Carga - Manual do Usuário**. Disponível em:< <http://www.dlg.com.br/manuaisdownload/MAN-PT-DE-XJ102.pdf>> Acesso em 4 de maio de 2019.
- FEHRENBACH, R. B. **Desenvolvimento de Sistema Automatizado para Controle de Dosagem de Ração Animal**. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário. Lageado, 2017
- FIALA, L. K. **Automação de caldeira industrial por CLP**. 2014. Trabalho de conclusão de curso – Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- FILHO, G. F. **Automação de Processos e de Sistemas**. 1ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2014.
- FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. **Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2009.
- FRANCHI, C. M. **Inversores de Frequência: Teoria e Aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2013.
- FRANCHI, C. M. **Sistemas de Acionamentos Elétricos**. 1ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2014.
- GILCHRIST, A. **Industry 4.0: The Industrial Internet of Things**. Nonthaburi: Ed Apress, 2016.
- HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**, 2015.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**, Hawaii: 2016.

KAGERMANN, H. **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Chancen von Industrie 4.0 nutzen**. Ed. Springer, 2014.

LAMB, F. **Automação Industrial na Prática**. 1ª ed. Porto Alegre: Ed. AMGH, 2015.

MORAES, C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2010.

PETRUZELLA F. D. **Controladores Lógicos Programáveis**. 4ª ed. Porto Alegre: Ed. AMGH, 2014.

PETRUZELLA F. D. **Motores Elétricos e Acionamentos**. 1ª ed. Porto Alegre: Ed. AMGH, 2013.

SCHLICK, J.; STEPHAN, P.; LOSKYLL, M.; e LAPPE, D. **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung**. Ed. Springer, 2014.

SCHWAB, K. **Industry 4.0: The Fourth Industrial Revolution**. Geneva: World Economic Forum, 2016.

SILVA, L. F. **Projeto de automação CLP-SCADA de uma linha de produção simulada de portas automotivas**. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Engenharia Automotiva, Universidade de Brasília. Brasília, 2017.

SOUZA, L. **Implementação de um Sistema Automatizado Para Controlar uma Linha de Forma e Desforma de Paviers**. Trabalho de conclusão de curso - Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 8ª ed. São Paulo: Ed. Érica, 2011.

USTUNDAG, A.; CEVIKCAN, E. **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**. Istanbul: Ed Springer, 2018.

VOGEL-HEUSER, B. **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik**. Ed. Springer, 2014.

WEG. **Inversor de Frequência CFW10 - Manual do Usuário**. 2013. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0d/h99/WEG-cfw10-manual-do-usuario0899.5860-2.xx-manual-portugues-br.pdf>> Acesso em 4 de maio de 2019.

WEG. **Controlador Lógico Programável Série TPW-04 - Manual de Programação**. 2015. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-controlador-logico-programavel-tpw04-manual-de-programacao-10003853205-manual-portugues-br.pdf>> Acesso em 14 de maio de 2019.

WEG. EasyBuilder Pro - Manual de programação. 2015. Disponível em:< <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h5d/h80/WEG-tutorial-software-ebpro-manual-portugues-br.pdf>> Acesso em 20 de outubro de 2019.

Weintek. Interface Homem Máquina Série MT8000 - Manual de instalação. 2015. Disponível em:< <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h03/h66/WEG-guia-de-instalacao-mt6071-mt8071-mt8101ie-pt.pdf>> Acesso em 24 de setembro de 2019.

APÊNDICE A – Lógica da programação em *Ladder* da automação.

