

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA

VINÍCIUS CABRAL DE SERRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PALETIZAÇÃO DE
CAIXAS PARA O POSTO DE EXPEDIÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE
ELETRÔNICOS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Manaus/AM

2022

VINÍCIUS CABRAL DE SERRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PALETIZAÇÃO DE CAIXAS PARA
O POSTO DE EXPEDIÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS DO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentado à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: DSc. Walter Prado de Souza Guimarães

Manaus
2022

Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia - EST

Reitor:

Cleinaldo de Almeida Costa

Vice-Reitor:

Cleto Cavalcante De Souza Leal

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Ingrid Sammyne Gadelha Figueiredo

Coordenador do Curso de Engenharia de Elétrica

Israel Gondres Torné

Banca Avaliadora composta por:

Data da defesa: 26/04/2022

Prof. Walter Prado de Souza Guimarães (Orientador)

Prof. Antonio Luiz Alencar Pantoja

Prof. Israel Gondres Torné

CIP – Catalogação na Publicação

de Serra, Vinícius Cabral

Desenvolvimento de um sistema de paletização de caixas para o posto de expedição de uma indústria de eletrônicos do polo industrial de Manaus / Vinícius Cabral de Serra [orientado por] Walter Prado de Souza Guimarães. – Manaus: 2022.

98 f. p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade do Estado do Amazonas, 2022.

1. Automação Industrial. 2. Controladores Lógicos Programáveis. 3. Produção

I. GUIMARÃES, Walter Prado de Souza.

VINÍCIUS CABRAL DE SERRA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE PALETIZAÇÃO DE CAIXAS PARA O
POSTO DE EXPEDIÇÃO DE UMA INDÚSTRIA DE ELETRÔNICOS DO POLO
INDUSTRIAL DE MANAUS**

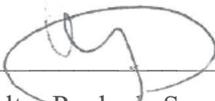
Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para a obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: _10_ (_DEZ_)

Aprovada em 26/04/2022.

Área de concentração: Automação Industrial

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Walter Prado de Souza Guimarães

Antonio Luiz Alencar Pantoja

Digitally signed by Antonio Luiz Alencar Pantoja
Date: 2022.04.27 14:44:49 -04'00'

Avaliador: Antonio Luiz Alencar Pantoja



Avaliador: Israel Gondres Torné

Manaus

2022

À minha mãe por todo o esforço, dedicação e incentivo em prol do meu desenvolvimento, aprendizado e realização dos meus sonhos. Dedico a ela como demonstração da minha gratidão

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por estar comigo ao longo de toda a caminhada nos momentos de felicidade e dificuldade, abrindo portas e me ajudando a persistir.

À minha mãe por toda a dedicação, incentivo e renúncia de muita coisa em prol do meu desenvolvimento, aprendizado e realização dos meus sonhos. A ela agradeço por toda amizade e orientação.

Ao professor Walter Prado por aceitar me orientar durante a construção desse trabalho, por toda a disponibilidade, solicitude em contribuir para um resultado satisfatório e contribuição para a minha formação.

Ao corpo docente da Escola Superior de Tecnologia pela passagem de conhecimento ao longo da graduação.

À Universidade do Estado do Amazonas pelo ambiente de formação profissional.

RESUMO

Esse trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um sistema automatizado de paletização de caixas para uma indústria do segmento de eletrônicos do polo industrial de Manaus. O projeto visa a automatizar o processo de paletização substituindo a ação manual de organizar as caixas sobre o pallet de forma unitária pelo acúmulo dos aparelhos sobre a máquina de forma que quando a capacidade máxima do pallet for atingida, as caixas sejam colocadas sobre ele de forma automática. O sistema conta principalmente com sensores, inversores de frequência, motores de indução e atuadores pneumáticos, sendo comandados por um controlador lógico programável (CLP). Com essa intervenção, busca-se diminuir o tempo do processo de forma que a capacidade de produção da linha seja expandida, obter ganhos operacionais com decréscimo da repetitividade do processo e do esforço empregado pelo operador e que uma quantidade menor de pessoas envolvidas na atividade seja necessária.

Palavras-chave: Automação Industrial. Motores de indução. Controladores Lógicos Programáveis. Produção.

ABSTRACT

This assignment has as its goal to develop an automated system for boxes palletizing for an industry of electronics located in Manaus' industrial pole. The project aims automatizing the process of palletizing by replacing the manual action of organizing the boxes over the pallet per unity, for the accumulation of the devices on the machine in such way that when the maximum capacity of the pallet is reached, the boxes are placed over it automatically. The system is composed by sensors, frequency inverters, induction motors e pneumatic cylinders, being commanded by a programmable logical controller (PLC). With this intervention, the target is to reduce the time of the process in a way that production capacity be expanded, have operational gains with the decreasing of the process' repetition and the effort made by the operator and diminish the number of necessary people in the activity.

Keywords: Industrial Automation. Induction Motors. Programmable Logical Controllers. Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motor trifásico com rotor gaiola de esquilo	17
Figura 2 - Relação entre campos magnéticos	18
Figura 3 - Estator de um motor de indução	18
Figura 4 - Estator trifásico	19
Figura 5 – Tensão e corrente induzidas nas barras do rotor pelo campo magnético	20
Figura 6 - Interação dos campos magnéticos girantes - produção do conjugado	20
Figura 7 - Retificador trifásico em ponte.....	22
Figura 8 - Formas de onda dos diodos.....	22
Figura 9 - Etapas do inversor de frequência	23
Figura 10 - Resistor de frenagem	24
Figura 11 - Sistema de controle.....	26
Figura 12 - Partes do controlador	26
Figura 13 - Representação da Linguagem Ladder.....	28
Figura 14 - Contato Normalmente aberto.....	28
Figura 15 - Contato Normalmente Fechado	28
Figura 16 - Bobinas	29
Figura 17 - Disjuntores mono, bi e tripolar	30
Figura 18 - Botoeira de emergência	31
Figura 19 - Modelos de chave seccionadora (baixa tensão).....	33
Figura 20 - Funcionamento da barreira de segurança.....	34
Figura 21 - Modelos de relés de segurança	34
Figura 22 - Hierarquia de protocolos.....	37
Figura 23 - Comunicação através do protocolo SLMP	37
Figura 24 - Comunicação usando SLMP	38
Figura 25 - Comunicação prática SLMP entre dois dispositivos	38
Figura 26 - Comunicação SLMP com o formato das mensagens e fluxo de informações.....	39
Figura 27 - Sistema de paletização	41
Figura 28- Funcionamento simplificado do equipamento.....	42
Figura 29 - Disposição simplificada do sistema elétrico do equipamento	45
Figura 30 - Diagrama de alimentação.....	47
Figura 31 - Diagrama do inversor CIMR-JT2A0010BAA.....	48
Figura 32 - Diagrama de força.....	49

Figura 33 - Circuito de segurança (Barreiras)	50
Figura 34 - CPU do controlador	52
Figura 35 - Borneira IO LINK TG7-1H40CA 40 pinos.....	52
Figura 36 - Disposição das entradas e saídas do cartão da CPU	53
Figura 37 - Disposição das entradas e saídas do cartão de expansão 1	53
Figura 38 - Ligação sink input.....	54
Figura 39 - Ligação sink output.....	54
Figura 40 - Esquema de ligação (entradas X0~X7)	56
Figura 41 - Esquema de ligação (entradas X10~X17)	57
Figura 42 - Esquema de ligação (entradas X20~X27)	58
Figura 43 - Sinalização tower lamp	60
Figura 44 - Sistema eletropneumático	61
Figura 45 - Acionamentos dos inversores e freios	62
Figura 46 - Projeto inicial - painel elétrico.....	63
Figura 47 - Painel montado	64
Figura 48 - Sinalização do painel (220 VAC e 24VDC).....	65
Figura 49 - Válvulas pneumáticas	65
Figura 50 - Sensores de barreira e difuso	66
Figura 51 - Sensores indutivos	66
Figura 52 - Micro switch - acúmulo máximo	67
Figura 53 - Comandos do operador	67
Figura 54 - Sistema montado.....	68
Figura 55- Tela de login do roteador	69
Figura 56 - Tela da escolha de setup do roteador	69
Figura 57 - Procedimento de mudança de idioma do roteador.....	70
Figura 58 - Wireless Setup do roteador	71
Figura 59 - Definição de IP do roteador	72
Figura 60 - Definição de IP do Controlador	73
Figura 61 - Configuração de dispositivos externos	73
Figura 62 - Configuração IHM.....	74
Figura 63 - Comandos do inversor Yaskawa.....	75
Figura 64 – Tela 1 - IHM (monitoramento)	78
Figura 65 - Tela 2 - IHM (setup/comandos).....	83
Figura 66 - Tela 3 - IHM (entradas)	83

Figura 67 - Tela 4 - IHM (saídas).....	84
Figura 68 - Tela 5 - IHM (modo manual/manutenção)	84
Figura 69 - Acúmulo	88
Figura 70 - Paletizador	88
Figura 71 - Caixas prontas para serem postas no pallet	89
Figura 72 - Caixas prontas para transporte.....	89
Figura 73 - Início do processo anterior.....	90
Figura 74 - Paletização manual	91
Figura 75 - Transporte de pallet	91
Figura 76 - Reposição de pallets.....	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Materiais utilizados	42
Tabela 2 - Funções dos terminais do relé de segurança	51
Tabela 3 - Lista de entradas do CLP	55
Tabela 4 - Lista de saídas do CLP	58
Tabela 5 - Padrão de sinalização	60
Tabela 6 - Parâmetros dos inversores	75
Tabela 7 - Descrição das funções - tela 1	79
Tabela 8 - Informações da barra de status	79
Tabela 9 - Descrição das funções - tela 2	81

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 REFERENCIAL TEÓRICO	17
1.1 MOTOR DE INDUÇÃO AC	17
1.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA.....	21
1.2.1.Resistor de frenagem.....	23
1.3 SENSOR INDUTIVO	24
1.4 SENSOR ÓPTICO	24
1.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL	25
1.5.1.Linguagem Ladder.....	27
1.6 SEGURANÇA.....	30
1.6.1.Disjuntores	30
1.6.2.Parada de emergência.....	31
1.6.3.Chave seccionadora.....	32
1.6.4.Barreira de segurança.....	33
1.6.5.Relés de segurança	34
1.7 IHM (INTERFACE HOMEM-MÁQUINA).....	35
1.8 ROTEADORES.....	35
1.9 PROTOCOLOS DE LIGAÇÃO.....	36
1.9.1.Protocolo UDP (User Datagram Protocol).....	36
1.10PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO	36
1.10.1 Protocolo SLMP (Seamless Message Protocol)	36
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
2.1 ESPECIFICAÇÕES DOS SOFTWARES UTILIZADOS	40
2.2 METODOLOGIA DE PALETIZAÇÃO.....	40
2.3 MATERIAIS ELÉTRICOS UTILIZADOS	42
2.4 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DA PALETIZADORA	44
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	45
3.1 ESQUEMAS DE LIGAÇÃO	45
3.1.1.Circuito de alimentação (AC e DC).....	45
3.1.2.Circuito de força e inversores	47
3.1.3.Circuito de Segurança	50
3.1.4.Ligações físicas do CLP	51
3.1.5.Entradas do CLP	54
3.1.6.Saídas do CLP	58
3.1.7.Sinalização	59
3.1.8.Eletropneumática	60
3.1.9.Acionamentos dos motores	61
3.2 MONTAGEM DO SISTEMA.....	62
3.2.1.Montagem do painel.....	62
3.2.2.Montagem dos demais componentes	65
3.3 CONFIGURAÇÕES.....	68
3.3.1.Roteador.....	68
3.3.2.Controlador Lógico Programável.....	72

3.3.3.Interface Homem- Máquina.....	74
3.3.4.Inversores.....	74
3.4 PROGRAMAMAÇÃO	77
3.4.1.Programação da IHM.....	77
3.4.1.1 Tela 1 (Monitoramento – quantidade de caixas)	77
3.4.1.2 Tela 2 (Setup/Comandos)	80
3.4.1.3 Tela 3 (Visualização das Entradas)	83
3.4.1.4 Tela 4 (Visualização das Saídas).....	84
3.4.1.5 Tela 5 (Acionamentos Manuais)	84
3.4.2.PROGRAMAMAÇÃO DO CLP	85
3.5 TESTES E AVALIAÇÕES	85
3.5.1.MODO MANUAL	86
3.5.2.MODO AUTOMÁTICO	86
4 RESULTADOS	87
4.1 PROCESSO.....	87
4.2 OPERACIONAL.....	90
CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
APÊNDICE A – CÓDIGO DO CLP.....	98

INTRODUÇÃO

Com indústrias buscando cada vez mais redução de perdas e erros e um aumento de produção e qualidade, levando-se em conta a alta competitividade e demandas cada vez maiores e mais rápidas, a automação surge como grande recurso para suprimento das necessidades do chão de fábrica.

Entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias e dos serviços. (Moraes & Castrucci, 2010)

Segundo (Vilela & Vidal, 2003), a automação também pode ser definida como a operação de máquina ou de sistema automaticamente ou por controle remoto, com a mínima interferência do operador humano. Automação é o controle de processos automáticos. Automático significa ter um mecanismo de atuação própria, que faça uma ação requerida em tempo determinado ou em resposta a certas condições.

O atual desenvolvimento da tecnologia e, em termos mais específicos, da automação, levou ao surgimento de novas técnicas de implementações de funcionalidades de forma a aperfeiçoar a produção industrial, a operação de equipamentos, construção de dispositivos simples e baratos em larga escala e, em último caso, fornecer um benefício ao usuário final. (Neves, et al., 2007)

Além disso, os processos automatizados cada vez mais velozes, estão menos sujeitos a erros e eliminam uma série de variáveis que devem ser consideradas quando o processo utiliza mão de obra humana. Somando-se aos benefícios às empresas, os benefícios aos colaboradores oferecidos pela automação de processos também se fazem presentes. A melhoria ergonômica de postos de trabalho, a diminuição dos esforços físicos e redução de trabalho repetitivo tem auxiliado no decréscimo do número de ocorrências de afastamento por acidentes, lesões ou doenças do trabalho.

Atualmente uma grande empresa do segmento de eletrônicos apresenta deficiências na finalização do processo de embalagem, mais precisamente na acomodação manual de televisores nos pallets de transporte. Associado a isso está principalmente o risco ergonômico, que no ambiente industrial de forma geral, é um dos responsáveis por afastamentos de trabalhadores devido a esforço repetitivo/excessivo, e a doenças do trabalho causadas pela atividade desempenhada. Além disso, a atividade humana aumenta o tempo do processo e limita a capacidade de produção.

O trabalho busca mostrar as etapas que envolvem o desenvolvimento da parte elétrica de um equipamento automatizado, cujo objetivo é fazer a paletização das caixas de aparelhos televisores de forma autônoma, desde os fatores levados em consideração na avaliação inicial, passando pela montagem e ligação dos dispositivos, configurações e parametrizações, realização de setups até os testes finais antes da entrega. O dispositivo será composto basicamente por motores de indução, cilindros pneumáticos, sensores e controlador. Uma vez implementado, o sistema pretende diminuir a interferência humana no processo reduzindo seu tempo, impactando positivamente na capacidade de produção.

Assim, a pesquisa se justifica pela grande quantidade de benefícios proporcionados pela automação ao processo produtivo e aos colaboradores, além de cobrir diversos temas concernentes à Engenharia Elétrica como: Máquinas Elétricas, Eletrônica de Potência, Instalações Elétricas, Linguagens de programação e Comandos Elétricos.

O trabalho se divide em 4 em seções:

Seção 1 – Referencial teórico: nessa parte é feita a apresentação de todos os componentes que irão fazer parte do sistema implementado, mais precisamente seu princípio de funcionamento, possíveis aplicações, formas de ajustes e recursos oferecidos. O sistema possui dispositivos como motores de indução, sensores, botoeiras e chaves de comando, IHM, CLP, inversores de frequência e componentes de segurança.

Seção II – Materiais e métodos: apresenta-se cada software usado na construção de esquemas elétricos e programação, quais são as premissas e o funcionamento da ideia a ser implementada, os materiais que foram utilizados e como eles estão dispostos na lógica do CLP.

Seção III – Desenvolvimento do projeto: nessa seção detalha-se cada etapa da construção do projeto, passando pelo dimensionamento, montagem do painel e dos demais componentes do sistema, pelas configurações iniciais e parametrizações, pela programação e encerra-se com a etapa de testes.

Seção IV – Resultados: aqui são apresentados os resultados finais obtidos com a implementação do projeto, apresentando-se os ganhos tanto para o processo quanto no âmbito operacional.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

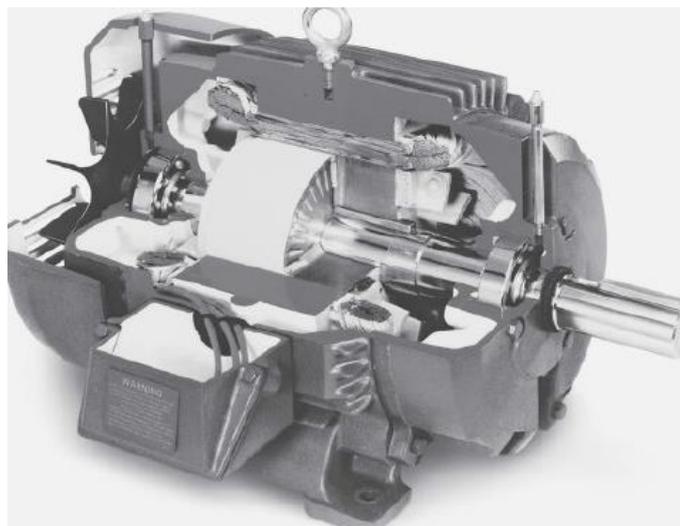
Informações necessárias para a concepção do projeto, uma vez que é necessário conhecer o funcionamento dos componentes do equipamento, seus principais aspectos, configurações e parâmetros.

1.1 MOTOR DE INDUÇÃO AC

O motor de indução com rotor gaiola de esquilo é o mais utilizado em aplicações industriais.

O motor de indução recebe esse nome devido ao fato de não ser necessário conexões elétricas físicas, a tensão é induzida diretamente nos enrolamentos do rotor. Este, por sua vez, é chamado dessa forma pois é constituído de barras condutoras colocadas nas fendas do rotor ligadas em curto-circuito através de anéis condutores.

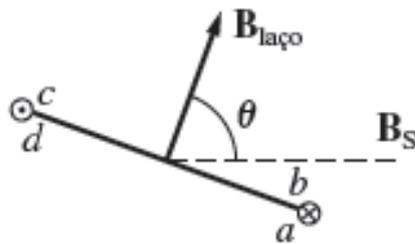
Figura 1 - Motor trifásico com rotor gaiola de esquilo



FONTE: (UMANS, 2014)

O funcionamento básico de um motor de indução se dá através da indução do conjugado. Supondo que uma espira do rotor está fazendo um ângulo arbitrário em relação ao campo magnético e que uma corrente i circula na espira. Se uma corrente circular na espira, um conjugado será induzido na mesma. O campo magnético na espira pode ser visto na Figura 2, determinado como $B_{\text{laço}}$.

Figura 2 - Relação entre campos magnéticos



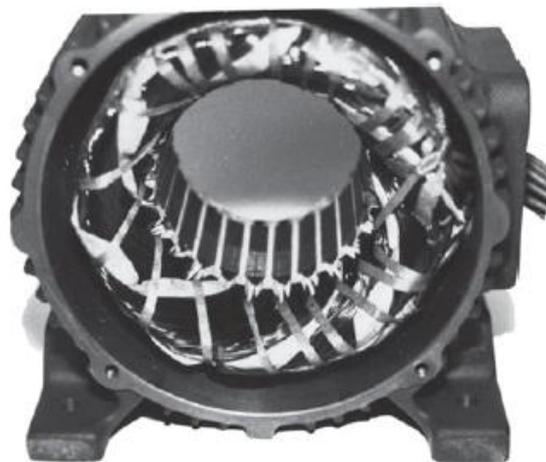
FONTE: (CHAPMAN, 2013)

Se a corrente no laço for como mostra a Figura 2, a corrente gerará uma densidade de fluxo magnético $B_{\text{laço}}$ com o sentido mostrado. Essa relação entre campos magnéticos geram o conjugado, que pode ser expresso da seguinte forma:

$$\tau_{\text{ind}} = k B_{\text{laço}} \times B_s \quad (1)$$

Aplicando tal conhecimento aos motores de indução, tem-se que seu princípio de funcionamento se baseia inicialmente na aplicação de um conjunto de tensões trifásicas, defasadas 120° entre si no estator da máquina, resultando em um conjunto de correntes.

Figura 3 - Estator de um motor de indução



FONTE: (CHAPMAN, 2013)

As correntes, por sua vez, produzem um campo magnético girante (B_s). A velocidade desse campo magnético é influenciada pela frequência da rede (f_s) e pelo número de polos da máquina (P), e pode ser definida através da seguinte equação:

$$n_s = \frac{120 \cdot f_s}{p} \quad (2)$$

Supondo-se que as correntes sejam:

$$i_{aa'}(t) = I_M \text{sen}(\omega t) \text{ A} \quad (3)$$

$$i_{bb'}(t) = I_M \text{sen}(\omega t - 120^\circ) \text{ A} \quad (4)$$

$$i_{cc'}(t) = I_M \text{sen}(\omega t - 240^\circ) \text{ A} \quad (5)$$

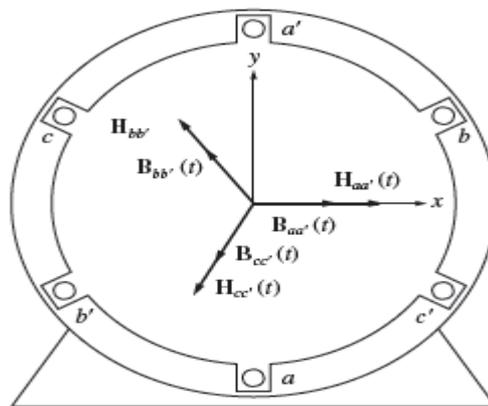
Onde a corrente da bobina aa' consiste na entrada dessa corrente pela bobina a e saída pela a', segundo a Figura 4. Sabe-se pela regra da mão direita que o campo magnético tomará a direção do polegar se os demais dedos forem colocados na direção do vetor da corrente. Assim, é possível saber a direção e o sentido dos vetores intensidade e densidade de campo magnético expressos na Figura 4, sendo estes últimos:

$$B_{aa'}(t) = B_M \text{sen}(\omega t) < 0^\circ \text{ T} \quad (6)$$

$$B_{bb'}(t) = B_M \text{sen}(\omega t - 120^\circ) < 120^\circ \text{ T} \quad (7)$$

$$B_{cc'}(t) = B_M \text{sen}(\omega t - 240^\circ) < 240^\circ \text{ T} \quad (8)$$

Figura 4 - Estator trifásico



FONTE: (CHAPMAN, 2013)

Onde:

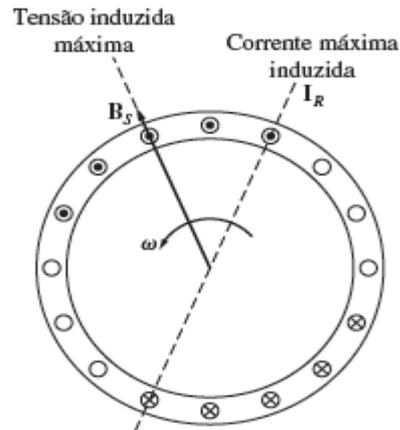
$$B = \mu H \quad (9)$$

O campo magnético que surge no estator passa então para as barras do rotor induzindo uma tensão nas mesmas. Essa tensão depende da velocidade da barra em relação ao campo

magnético (v), do vetor densidade de fluxo magnético (B) e do comprimento do condutor dentro do campo magnético (l). O valor da tensão é então expresso da seguinte forma:

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l \quad (10)$$

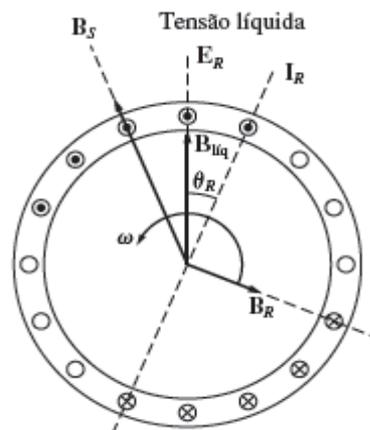
Figura 5 – Tensão e corrente induzidas nas barras do rotor pelo campo magnético



FONTE: (CHAPMAN, 2013)

Assim como ocorre no estator, a tensão do rotor também gera uma corrente, que está naturalmente defasada em relação à tensão em decorrência da indutância do rotor. A corrente do rotor cria um campo magnético girante B_R , que interagindo com o campo magnético do sistema, induz um conjugado no sentido anti-horário, determinando assim, o sentido de rotação do motor.

Figura 6 - Interação dos campos magnéticos girantes - produção do conjugado



FONTE: (CHAPMAN, 2013)

O conjugado é então determinado de acordo com a seguinte equação:

$$\tau_{ind} = k B_R \times B_S \quad (11)$$

Onde BR corresponde ao campo magnético do rotor, BS ao campo do estator e a constante k é um fator determinado pela construção da máquina.

A interação entre rotor/estator permite concluir que é necessário haver uma diferença de velocidade de seus respectivos campos magnéticos.

Se o rotor do motor de indução estivesse girando na velocidade síncrona, as barras do rotor estariam estacionárias em relação ao campo magnético e não haveria tensão induzida. Se a tensão induzida (e_{ind}), fosse igual a 0, então não haveria corrente nem campo magnético no rotor. Sem campo magnético no rotor, o conjugado induzido seria zero e o rotor perderia velocidade como resultado das perdas por atrito. Portanto, um motor de indução pode ganhar velocidade até próximo da velocidade síncrona, sem nunca a alcançar exatamente. (CHAPMAN, 2013)

Essa operação com velocidade abaixo da velocidade mecânica síncrona, caso em que o fluxo de armadura no motor de indução está à frente daquele do rotor, produz um conjugado eletromecânico que puxa o rotor como no caso de um motor síncrono. Como as correntes do rotor são produzidas por indução, uma máquina de indução pode ser vista com um transformador genérico no qual a potência elétrica é transformada entre rotor e estator juntamente com uma mudança de frequência e um fluxo de potência mecânica. (UMANS, 2014)

1.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Os inversores ou conversores de frequência, são equipamentos utilizados para variação de velocidade em motores de indução. Esses motores podem ser modelados como um transformador em que o primário é o estator e o secundário é o rotor. Dessa forma, o conjugado do motor assíncrono pode ser equacionado conforme a equação abaixo (FRANCHI, 2009):

$$\tau = \phi_m \cdot I_2 \quad (12)$$

Onde o primeiro termo da equação corresponde ao fluxo de magnetização e o segundo à corrente no rotor. A tensão no estator, por sua vez, pode ser expressa por:

$$U_1 = 4,44 \cdot F_1 \cdot N_1 \cdot \phi_m \quad (13)$$

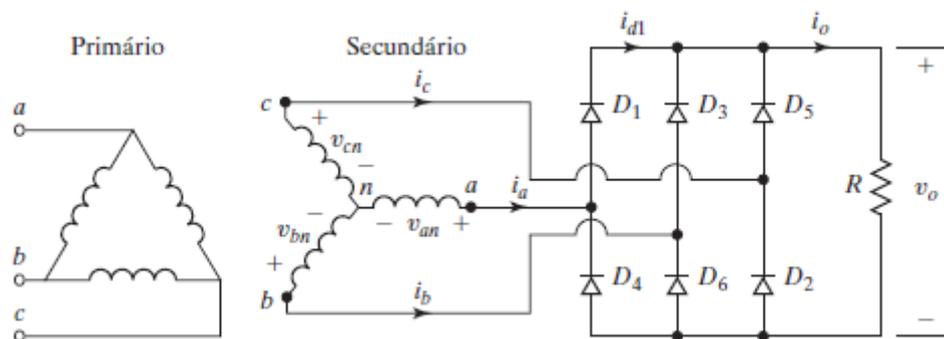
Onde F_1 é a frequência da rede, N_1 o número de espiras e ϕ_m é o fluxo de magnetização.

Para a operação do motor com torque constante para diferentes velocidades, deve-se variar a tensão U_1 proporcionalmente com a variação da frequência f_1 , mantendo assim o fluxo constante (FRANCHI, 2009).

Esses equipamentos são compostos de três partes:

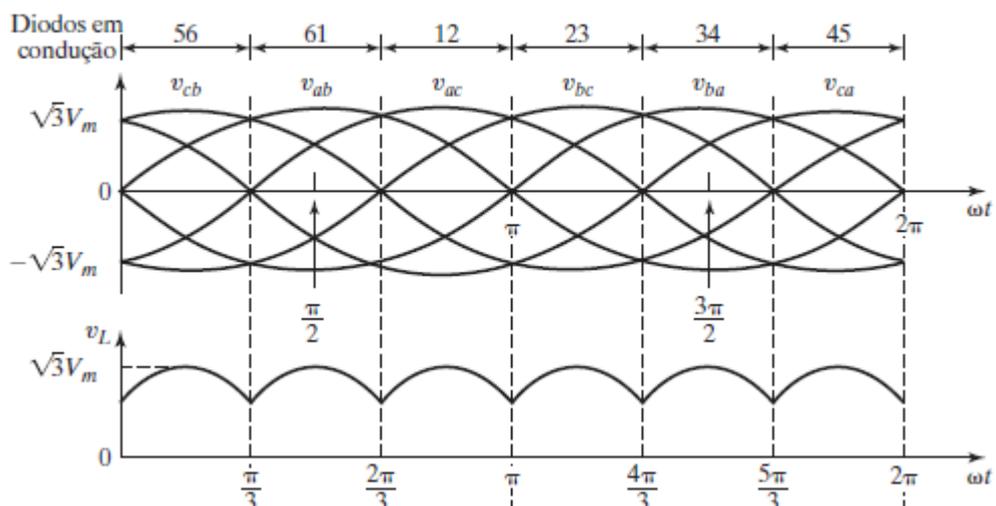
- 1) Retificador: Parte que transforma a corrente alternada em corrente contínua. A frequência na entrada do retificado é fixa em 60 Hz (frequência da rede) sendo então transformada em contínua. O processo de retificação é feito através de diodos condutores. A forma de onda resultante é pulsante, e essa ondulação é corrigida através do uso de capacitores.

Figura 7 - Retificador trifásico em ponte



FONTE: (RASHID, 2014)

Figura 8 - Formas de onda dos diodos

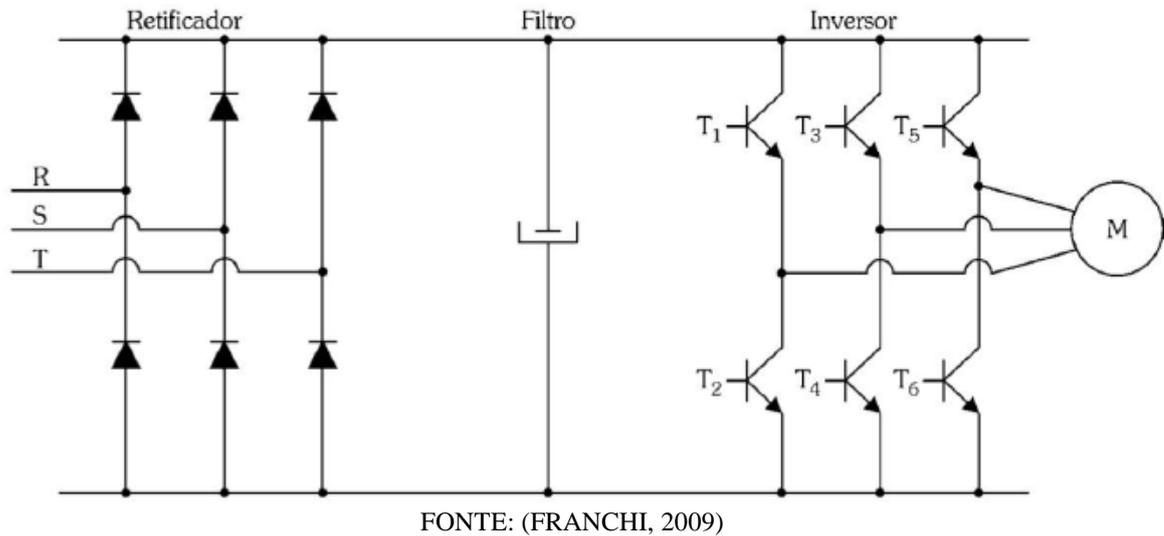


FONTE: (RASHID, 2014)

- 2) Filtro CC: Responsável pela regulação da tensão já retificada. O processo utiliza capacitores.

- 3) Inversor: Bloco que utiliza transistores para fazer a conversão CC-CA com tensão e frequência variáveis de acordo com os parâmetros configurados no controle.

Figura 9 - Etapas do inversor de frequência



Segundo (CHAPMAN, 2013), é possível estabelecer uma relação entre a frequência elétrica do estator em hertz e a velocidade mecânica resultante dos campos magnéticos em rotações (revoluções) por minuto, considerando-se o número de polos do motor. Essa relação é:

$$f_{se} = \frac{n_{sm}P}{120} \quad (14)$$

1.2.1 Resistor de frenagem

O conceito do uso de um resistor de frenagem é converter a energia cinética do eixo em calor no resistor através do efeito Joule. Durante a frenagem, o motor é desconectado da rede de alimentação e começa a operar como gerador, tendo seu estator conectado aos resistores, transformando a energia cinética em energia elétrica que será dissipada em forma de calor no resistor, evitando os efeitos indesejáveis que afetam um bom funcionamento e a vida útil de um motor. (GELK & DE BARROS, 2020)

Figura 10 - Resistor de frenagem



FONTE: (FULLOHM, 2018)

O resistor de frenagem atua da seguinte forma: um circuito comparador verifica permanentemente a tensão do barramento CC e compara a uma tensão pré-ajustada com valores que o fabricante determina como máxima tensão de trabalho do barramento CC. Quando essa tensão for maior que a de referência, o transistor do circuito comparador é saturado fechando o circuito e energizando um relé, conectando o resistor de frenagem ao barramento e dissipando a energia excedente em forma de calor. (MODENA, 2018)

1.3 SENSOR INDUTIVO

Sensor utilizado na detecção de objetos metálicos. Utilizado em larga escala em automações na indústria o sensor indutivo trabalha pelo princípio da indução eletromagnética.

Funciona de maneira similar aos enrolamentos primários e secundários de um transformador. O sensor tem um oscilador e uma bobina; juntos produzem um campo magnético fraco. Quando um objeto entra no campo, pequenas correntes são induzidas na superfície do objeto. Por causa da interferência com o campo magnético, há uma energia extraída do circuito oscilador do sensor, diminuindo a amplitude da oscilação e causando uma queda de tensão. O circuito de detecção do sensor percebe a queda de tensão do circuito do oscilador e responde mudando o estado do sensor. (MENDES, 2013)

1.4 SENSOR ÓPTICO

Os sensores ópticos podem ser divididos em dois tipos, os infravermelhos ativos e os passivos. Dentro dos infravermelhos ativos, podemos caracterizar três grupos principais, de acordo com o seu funcionamento:

- 1) Sistema por Barreira (ópticas alinhadas);
- 2) Sistema por Difusão;

3) Sistema por Reflexão. (CAZER, et al., 2005)

O sensor é ativo quando possui emissores de luz infravermelha, e é passivo quando possui apenas receptores. No caso dos sensores de barreira, um par de sensores é colocado frente a frente, sendo um emissor e um receptor. Quando a luz infravermelha que sai do emissor em direção ao receptor é interrompida, um sinal elétrico é enviado pelo sensor.

Para o sensor difuso o princípio é similar, com a diferença que o mesmo conta com emissor e receptor justapostos. Um feixe de luz é emitido e ao encontrar algum objeto, a luz é refletida para o receptor que gera um sinal.

O sistema de reflexão é parecido com o anterior. A emissão de luz infravermelha é feita em direção a um espelho. Quando o feixe sensor-espelho é interrompido, o sensor faz um chaveamento eletrônico.

1.5 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL

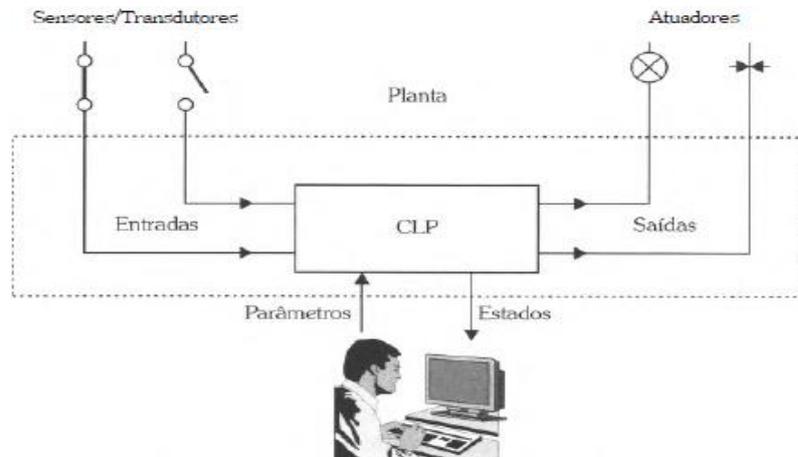
O CLP é um Sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em um ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar, através de entradas e saídas digitais ou analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas suas funções previstas. (FRANCHI & DE CAMARGO, 2008)

Esses sistemas de controle compreendem basicamente entradas, controladores e saídas. As entradas compreendem os equipamentos de comando ou sensoriamento, como botoeiras, chaves de seleção, sensores ópticos, indutivos e capacitivos. São no geral, dispositivos que convertem uma condição física desses elementos em um sinal elétrico para ser usado pelo CLP.

Os controladores, por sua vez, monitoram o status do processo em tempo real de uma planta através de um número definido de transdutores, que convertem as grandezas físicas em sinais elétricos, os quais são conectados com as entradas dos CLPs (FRANCHI & DE CAMARGO, 2008). Assim, acionam saídas através da lógica determinada pelo programador. Dependendo das condições determinadas, as saídas serão ligadas ou desligadas.

As saídas enviam o sinal elétrico do CLP para os atuadores, cuja função é converter o sinal elétrico do CLP em condições físicas, ligando ou desligando equipamentos.

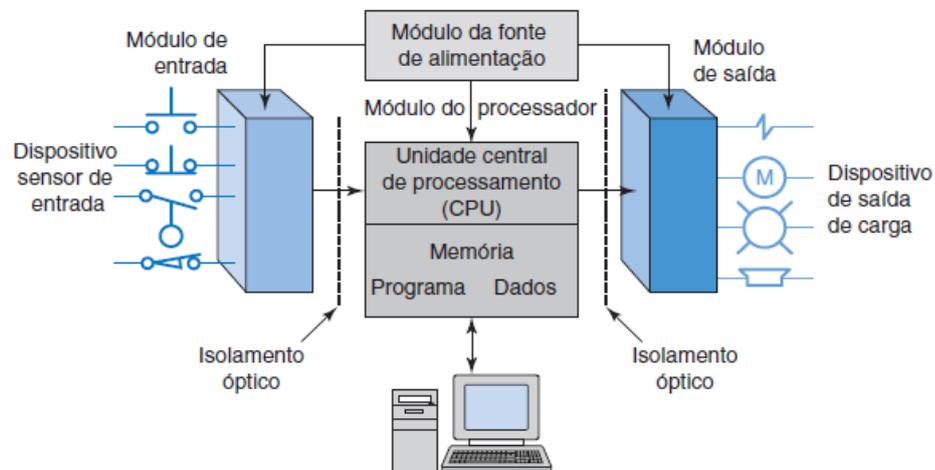
Figura 11 - Sistema de controle



FONTE: (FRANCHI & DE CAMARGO, 2008)

O controlador, mais especificamente, pode ser dividido em CPU, entradas e saídas, fonte de alimentação e dispositivo de programação.

Figura 12 - Partes do controlador



FONTE: (PETRUZELLA, 2014)

Dependendo do fabricante, os módulos de entradas e saídas podem ser fixos ou removíveis. No caso dos módulos fixos (embutidos), estes são fabricados junto com a CPU e não permitem remoção dos módulos existentes ou adição de outros. Por outro lado, os módulos removíveis (modulares) podem ser plugados separadamente no rack, permitindo maior flexibilidade e diversificação das aplicações.

A fonte de alimentação é responsável por fornecer a tensão necessária ao funcionamento dos componentes ligados ao rack.

A CPU é responsável pela implementação lógica e controle das comunicações entre os módulos. O processador conta com a memória EEPROM que é somada à memória RAM. É responsável por controlar todas as atividades e é projetada de modo que o usuário possa introduzir o programa desejado em lógica ladder. O programa do CLP é executado como parte de um processo repetitivo referido como varredura ou exploração (scan), no qual a CPU faz uma leitura do estado (ligado ou desligado) das entradas e, depois de completada a execução do programa, executa o diagnóstico interno e as tarefas de comunicação. Em seguida, o estado das saídas é atualizado, e esse processo é repetido continuamente enquanto o CLP estiver no modo de funcionamento (RUN). (PETRUZELLA, 2014)

A CPU abriga também as memórias. A memória é o elemento que armazena informação, programas e dados em um CLP. A memória do usuário de um CLP inclui espaço para o programa do usuário, bem como as posições (locações) endereçáveis da memória do dado armazenado. Os dados são armazenados nas posições de memória por um processo chamado de escrita e são obtidos de volta pelo que chamamos de leitura (PETRUZELLA, 2014). As memórias podem ser do tipo ROM (*Read Only Memory*), RAM (*Random Access Memory*), PROM (*Programmable Read Only Memory*), EPROM (*Erasable PROM*), EEPROM (*Electrically Erasable PROM*).

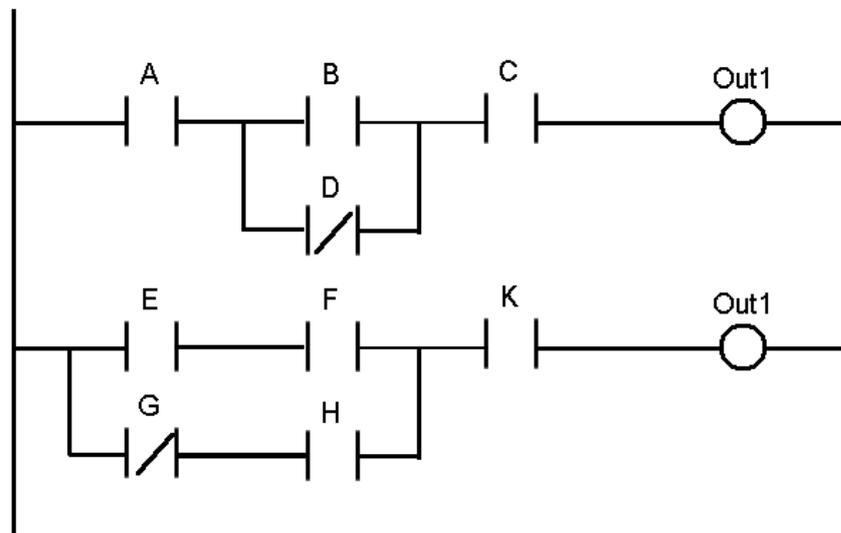
Por fim, o dispositivo de programação é usado para inserção do programa na memória da CPU utilizando lógica ladder.

1.5.1 Linguagem *Ladder*

É a linguagem mais utilizada na programação de controladores lógicos programáveis. Trata-se de um conjunto de símbolos que imitam os diagramas elétricos.

O nome *Ladder* deve-se à representação da linguagem se parecer com uma escada (do inglês, *ladder*), na qual duas barras verticais paralelas são interligadas pela Lógica de Controle, formando os degraus (do inglês, *rungs*) da escada. (Moreira, 2020)

Figura 13 - Representação da Linguagem Ladder

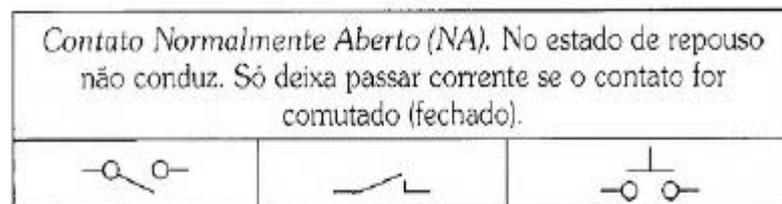


FONTE: (SILVEIRA, 2016)

Os símbolos mais comuns são contatos (chaves) e bobinas. Os contatos podem ser abertos, fechados ou de transição (borda).

- Chave aberta: Em seu estado natural não permite passagem de corrente elétrica. Transmite apenas quando estiver pressionada (fechada).

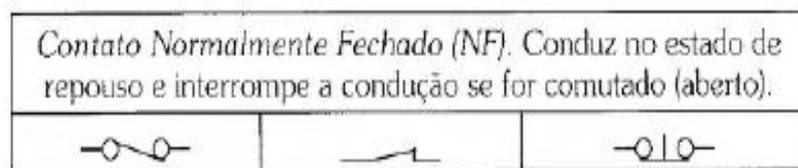
Figura 14 - Contato Normalmente aberto



FONTE: (FRANCHI & DE CAMARGO, 2008)

- Chave fechada: Em seu estado natural permite a passagem da corrente elétrica. Quando pressionada bloqueia-a.

Figura 15 - Contato Normalmente Fechado



FONTE: (FRANCHI & DE CAMARGO, 2008)

- Transição (borda) de subida: Quando o estado do símbolo muda de desligado para ligado, este contato permite passagem de corrente na linha do código até nova varredura do controlador.
- Transição (borda) de descida: Quando o estado do símbolo mudar de ligado para desligado, este contato permite passagem de corrente na linha do código até nova varredura do controlador.
- Bobina/memória: Funciona da mesma forma que os relés físicos. Os quais funcionam através de uma corrente elétrica que circula pela sua bobina, esta cria um campo magnético que atrai uma peça metálica que empurra os contatos do relé, fazendo com que eles abram ou fechem. Quando a corrente na bobina é interrompida, os contatos voltam a seu estágio original. Os controladores também possuem bobinas de Set e Reset. A bobina Set quando é acionada fica em nível lógico 1 permanentemente até que a bobina Reset, de mesmo endereço da bobina Set, seja acionada, para então ser desligada.

Figura 16 - Bobinas

Fabricante	Bobina	Bobina negada
IEC 61131-3	—()—	—(/)—
Allen-Bradley	—()—	Não disponível
GE Fanuc	—()—	—(/)—
Modicon Quantum	—○—	—⊗—
Siemens S7	—()—	Não disponível

FONTE: (FRANCHI & DE CAMARGO, 2008)

A linguagem ladder também possibilita o uso de temporizadores. Esse recurso funciona da mesma forma que os relés de retardo físicos, proporcionando ao usuário mais praticidade na alteração do tempo, na adição ou remoção de temporizadores no circuito e maior precisão.

Os temporizadores podem ser definidos como (PETRUZELLA, 2014):

- TON (Temporizador de retardo ao ligar): Quando a linha de código dá condições, conta-se o tempo setado para acionar a bobina do temporizador.
- TOF (Temporizador de retardo ao desligar): Conta o intervalo de tempo quando a instrução é falsa.

- RTO (Temporizador de retenção ao ligar): Conta o intervalo de tempo quando a instrução é verdadeira e retém o valor acumulador quando a instrução passar a ser falsa, ou quando ocorrer o ciclo de energização.
- RES (Reset): Retorna o valor acumulado da contagem do temporizador retentivo a zero;

Um outro recurso dessa linguagem de programação são os contadores. Estabelece-se um limite de contagem inicialmente. Quando as condições da linha de código do contador são atendidas, sua bobina é acionada e ele incrementa 1 bit, se for um contador crescente ou decremente se for decrescente. Quando o limite é atingido, seus contatos são acionados e permanecem assim até que a condição de reset do contador seja acionada, fazendo com que a contagem reinicie.

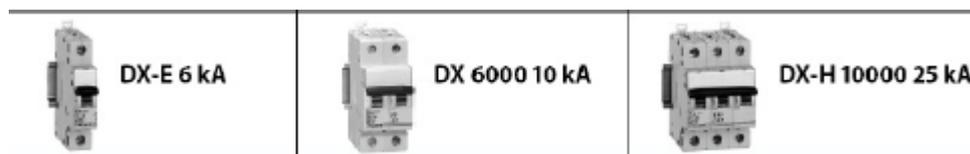
1.6 SEGURANÇA

1.6.1 Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos que proporcionam, simultaneamente, seccionamento e proteção contra correntes de sobrecarga e curto-circuito. A proteção contra sobrecarga é feita através do seu dispositivo térmico, já a proteção contra curto-circuito é feita por meio do seu dispositivo magnético.

Os disjuntores devem ter a capacidade de interromper qualquer sobrecorrente inferior ou igual à corrente de curto-circuito presumida no ponto em que o dispositivo for instalado (ABNT, 2004). Pode-se definir o disjuntor também como dispositivo mecânico de manobra e de proteção capaz de estabelecer, conduzir por tempo especificado e interromper correntes em condições anormais especificadas do circuito, tais como a de curto-circuito. (ABNT, 1998)

Figura 17 - Disjuntores mono, bi e tripolar



FONTE: (CREDER, 2016)

O disjuntor mais utilizado em circuitos de baixa tensão, principalmente, é o do tipo “quick-lag”. Esse tipo de disjuntor consiste em um disparador de proteção térmica que funciona de acordo com o princípio do bimetal, que se baseia na dilatação de duas lâminas de metais

diferentes, portanto com coeficientes de dilatação distintos, desligando o circuito na eventualidade de uma sobrecarga. No caso de ocorrer um curto-circuito, a proteção será feita através de um disparador magnético bobinado. (CAVALIN & CERVELIN, 2006)

Os disjuntores possuem o tempo de atuação para cada carga, isso determina a curva do dispositivo (TEIXEIRA, 2019):

- a) Curva B: são utilizados para carga resistiva, podendo suportar uma corrente instantânea de 3 à 5 vezes a corrente nominal;
- b) Curva C: normalmente utilizados para cargas indutivas, suportando até dez vezes a corrente nominal;
- c) Curva D: grandes cargas indutivas como grandes motores, transformadores. Suportando corrente de pico até o dobro da curva C.

O dimensionamento dos disjuntores é feito segundo o item 5.3.4.1 da ABNT NBR 5410.

$$1) I_B \leq I_n \leq I_z$$

$$2) I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

Onde:

I_B é a corrente de projeto do circuito, I_z é a capacidade de condução de corrente dos condutores, I_n é a corrente nominal do dispositivo de proteção e I_2 é a corrente convencional de atuação do disjuntor.

1.6.2 Parada de emergência

A parada de emergência é uma função que deve impedir o aumento ou reduzir o risco existente a pessoas e danos à máquina ou ao trabalho em andamento e que deve ser iniciada por uma simples ação humana quando a função de parada normal não for adequada para este fim. (ABNT, 1996)

Figura 18 - Botoeira de emergência



FONTE: (SCHMERSAL, 2019)

Os dispositivos de parada de emergência são obrigatórios em máquinas. Devem ter essa função exclusiva, não podendo ser usados como dispositivos de partida ou acionamento e devem estar em locais de fácil acesso e visualização não podendo, em hipótese alguma, ser obstruídos. Essa condição de segurança deve exigir rearme manual realizado apenas depois da correção da condição que provocou o acionamento da parada de emergência.

A Norma Regulamentadora 12, delibera a respeito desse assunto do item 12.56 até o item 12.63.1. Segundo esta norma, no item 12.58, os dispositivos de parada de emergência devem (MTE, 2010):

- a) Ser selecionados, montados e interconectados de forma a suportar as condições de operação previstas, bem como as influências do meio;
- b) Ser usados como medida auxiliar, não podendo ser alternativa a medidas adequadas de proteção ou a sistemas automáticos de segurança;
- c) Possuir acionadores projetados para fácil atuação do operador ou outros que possam necessitar da sua utilização;
- d) Prevalecer sobre todos os outros comandos;
- e) Provocar a parada da operação ou processo perigoso em período de tempo tão reduzido quanto tecnicamente possível, sem provocar riscos suplementares;
- f) Ser mantidos sob monitoramento por meio de sistemas de segurança; e
- g) Ser mantidos em perfeito estado de funcionamento.

1.6.3 Chave seccionadora

Responsável por seccionar todos os condutores vivos em todos os circuitos que compartilham esse seccionamento. A função é ligar/desligar o circuito, atuando como um dispositivo que proporciona manobras e energização inadvertida de qualquer equipamento.

Figura 19 - Modelos de chave seccionadora (baixa tensão)



FONTE: (ROCKWELL AUTOMATION, 2020)

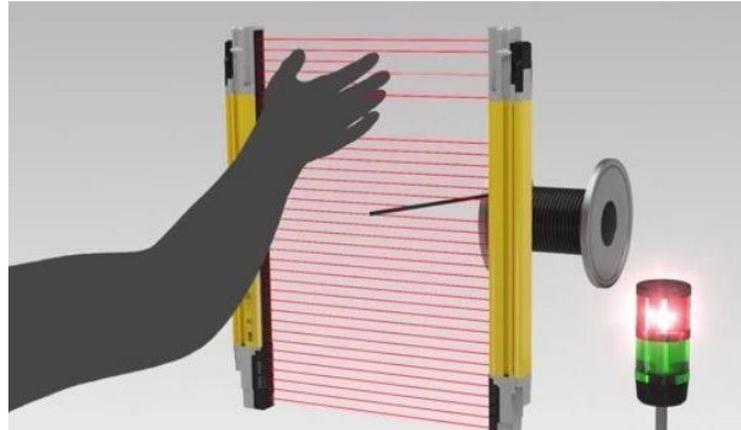
Para isso, a chave deve ter travamento com cadeado, e enquanto estiver desligada deve vir acompanhada de afixação de placas de advertência e invólucros fechados a chave. (ABNT, 2004)

1.6.4 Barreira de segurança

São equipamentos eletrônicos que são utilizados para detecção do acesso de pessoas a determinadas áreas, tornando assim possível reduzir os riscos em máquinas ou equipamentos fazendo com que os mesmos interrompam o funcionamento antes de causarem danos como esmagamento, lesões, perda de membros e até morte.

O princípio de funcionamento consiste basicamente na criação de uma barreira de detecção entre o emissor e o receptor, que detecta a invasão de algum corpo físico quando esse feixe de luz é interrompido. Esse acionamento elétrico da barreira óptica deve ser tratado pelo sistema de segurança, através de relés de segurança, evitando assim o acidente.

Figura 20 - Funcionamento da barreira de segurança



FONTE: (NR12 SEM SEGREDOS, 2020)

O anexo I da NR12 determina as distâncias de segurança e requisitos para o uso de detectores de presença optoeletrônicos.

1.6.5 Relés de segurança

O relé de segurança é um dispositivo responsável por monitorar uma função de segurança como parada de emergência, porta de proteção, cortina de luz, proteção de perímetro ou controle com duas mãos.

Figura 21 - Modelos de relés de segurança



FONTE: (ROCKWELL AUTOMATION, 2020)

Cada relé de segurança monitora uma função específica de forma programada pelo usuário, e permite o monitoramento total de uma máquina ou planta através da ligação a outros relés. Caso haja anormalidades durante o uso dos equipamentos, o relé trata as informações enviadas pelos dispositivos de segurança disponíveis e atua interrompendo o funcionamento e possibilitando rearme apenas quando a condição adversa tiver sido devidamente tratada.

1.7 IHM (INTERFACE HOMEM-MÁQUINA)

A Interface homem máquina consiste em uma tela de simplificação de comunicação entre o operador e a máquina ou dispositivo.

Esse tipo de interface proporciona os controles usados na operação da máquina, sistema ou instrumento pelo usuário. Um sistema com IHM realiza as funções que o usuário precisa para desenvolver a tarefa determinada com o mínimo de esforço enquanto aumenta a produtividade. Um sistema com IHM bem feito oferece mais que apenas funções de controle e informação; ele proporciona ao operador funções ativas para trabalhar, feedback dos resultados dessas ações e informações da performance do sistema. (EAO, 2016)

As telas de IHM são usadas principalmente em ocasiões de monitoramento, onde os dados são expostos ao usuário proporcionando tomadas de decisão e avaliações. Além disso podem ser usadas em locais onde existem muitas botoeiras de comando, o que pode confundir ou dificultar o trabalho do operador além de ocupar muito espaço; a IHM substitui essas botoeiras e otimiza o trabalho.

As IHMs podem se comunicar com CLPs. Isso se dá por meio de protocolos de comunicação, por exemplo modbus. Assim pode possibilitar a visualização de alarmes, alteração de parâmetros e configurações, movimentos manuais, tudo de uma interface próxima a máquina. (Rocha, 2021)

1.8 ROTEADORES

Roteadores são computadores que têm tanto componentes de hardware como de software. Eles possuem uma CPU, memórias RAM, ROM, NVRAM, Flash e um sistema. O roteador é um dispositivo intermediário no processo de roteamento. Basicamente, um roteador conecta redes e é responsável por entregar um pacote de uma maneira eficiente. Portanto, a eficiência da entrega depende do roteador que escolhe o melhor caminho. Em suma, um roteador é responsável por escolher o melhor caminho e também por despachar os pacotes na direção dos seus destinos. (Ferdaus & Salihi, 2015)

Segundo (Keshav & Sharma, 1998), um roteador genérico tem 4 componentes: portas de entrada, portas de saída, uma malha de comutação e um processador de roteamento.

As portas de entrada são os pontos de conexão para um link físico e é o ponto de entrada dos pacotes. A malha de comutação, por sua vez, pode ser implementada de várias formas. As tecnologias mais comuns são barramentos, barras transversais e memórias compartilhadas. A malha de comutação mais simples é um barramento que liga todas as portas de entrada e saída. A barra é limitada de várias formas, mas a barra transversal proporciona múltiplas vias de dados

simultâneos através da malha. O outro componente, a porta de saída, tem por função acumular pacotes antes de serem transmitidos no link de saída. Elas podem implementar algoritmos de organização sofisticados para dar suporte às prioridades e garantias. Por fim, o processador de roteamento calcula a tabela de envio, implementa os protocolos de roteamento e executa o software para configurar e gerenciar o roteador. (Keshav & Sharma, 1998)

1.9 PROTOCOLOS DE LIGAÇÃO

1.9.1 Protocolo UDP (User Datagram Protocol)

O protocolo UDP é um protocolo de camada 4 (de transporte) no modelo OSI, que se caracteriza por ser mais simples que o TCP o outro protocolo da camada 4. Enquanto o TCP se preocupa com a conexão e a chegada correta dos dados no destino, o UDP por ser mais simples não tem a mesma preocupação, portanto, ele não verifica o recebimento dos dados pelo destino (também não possui o serviço de reenvio), não ordena as mensagens, ou seja, elas vão sendo agrupadas conforme vão chegando, não controla o fluxo de informações e não verifica a integridade dos dados para o destino. As possibilidades de o destino não receber os dados são várias como por exemplo: perder os dados, duplicar os dados ou agrupar de forma errada. (CBPF, 2020)

Em comparação com protocolos mais sofisticados, como o TCP/IP, o UDP deixa a desejar em alguns fatores. Entretanto, o mesmo apresenta vantagens justamente na sua simplicidade, pois proporciona ganho de velocidade na transmissão e na recepção de dados, principalmente no caso de pacotes pequenos. É ideal para sistemas de monitoramento.

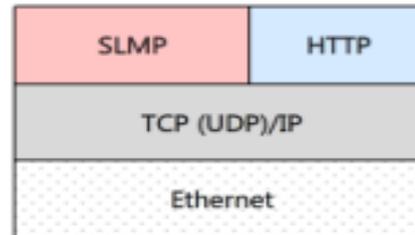
Em suma, ele nada mais é do que uma interface para o protocolo IP, cuja função básica é servir como multiplexador e demultiplexador de processos para o tráfego de informações do protocolo IP. Assim sendo, os programas aplicativos que dependem de UDP funcionam muito bem em um ambiente local. (da Silva & Júnior, 2014)

1.10 PROTOCOLOS DE COMUNICAÇÃO

1.10.1 Protocolo SLMP (Seamless Message Protocol)

É um tipo de protocolo que possibilita o acesso de um dispositivo externo a um dispositivo compatível com SLMP, como um módulo Ethernet. A figura abaixo mostra a posição hierárquica desse protocolo.

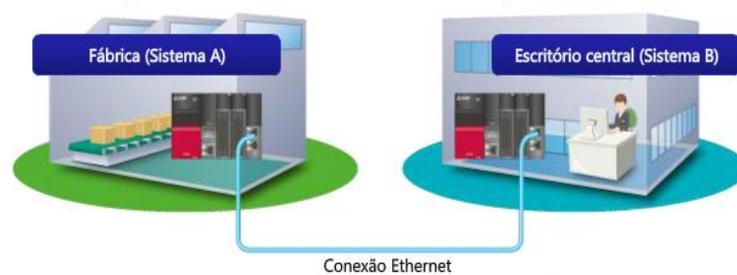
Figura 22 - Hierarquia de protocolos



FONTE: (MITSUBISHI ELECTRIC, 2021)

O SLMP é usado para comunicação de dados entre sistemas, os quais podem ser ativos ou passivos.

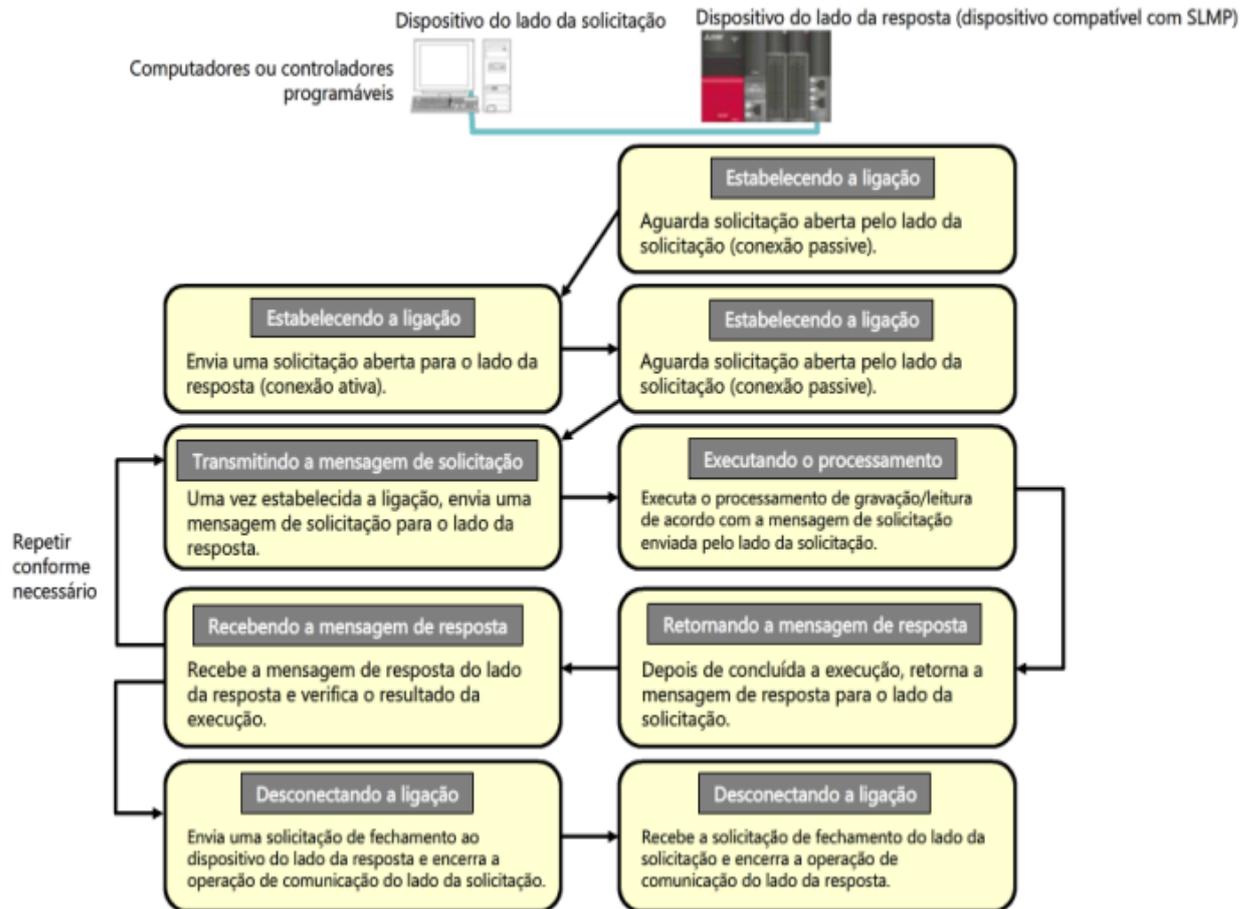
Figura 23 - Comunicação através do protocolo SLMP



FONTE: (MITSUBISHI ELECTRIC, 2021)

O sistema ativo envia solicitações de informação para uma máquina do servidor da qual recebe a resposta. O passivo, por sua vez, aguarda as solicitações e envia as respostas de acordo com a solicitação do cliente. Os sistemas ativos podem ser computadores ou controladores lógicos programáveis (CLP), enquanto que os sistemas passivos são quaisquer dispositivos do lado da resposta compatíveis com SLMP. Essa comunicação pode ser vista na figura abaixo.

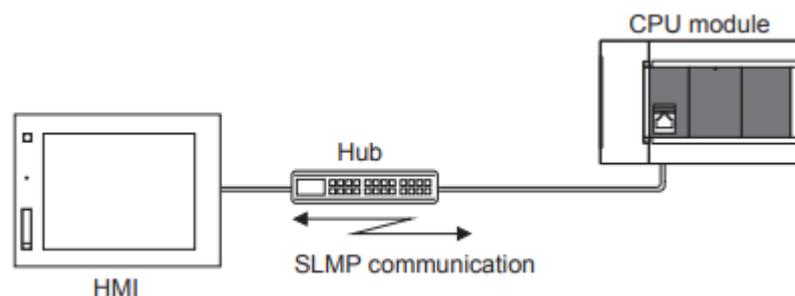
Figura 24 - Comunicação usando SLMP



FONTE: (MITSUBISHI ELECTRIC, 2021)

Os dados do dispositivo em um módulo de CPU podem ser gravados ou lidos de um computador pessoal ou de uma IHM usando SLMP. A escrita e a leitura do dispositivo permitem o monitoramento da operação, análise de dados e gerenciamento de produção de um módulo de CPU por um computador pessoal ou uma IHM. (MITSUBISHI ELECTRIC, 2020)

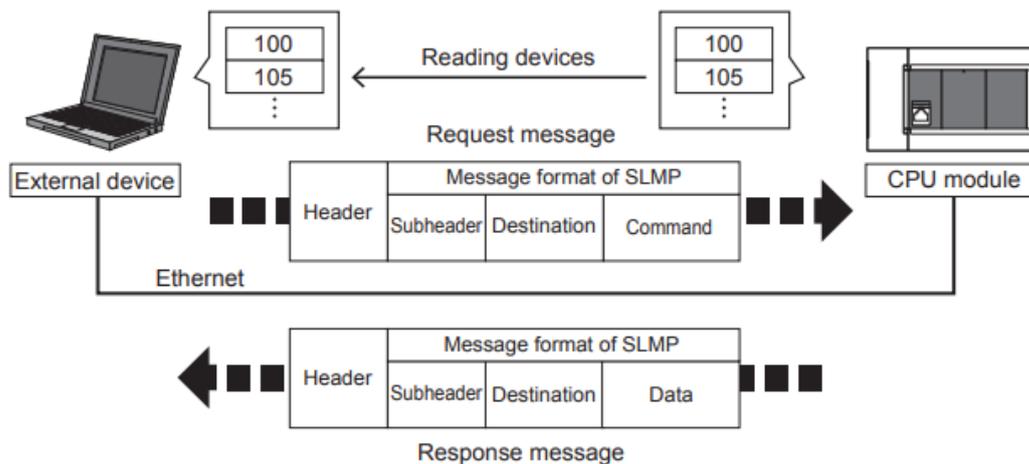
Figura 25 - Comunicação prática SLMP entre dois dispositivos



FONTE: (MITSUBISHI ELECTRIC, 2020)

O início dessa comunicação é através da conexão dos cabos e dispositivos externos e da configuração da conexão da comunicação SLMP. O segundo passo é a determinação dos parâmetros, e por fim, a gravação desses parâmetros na CPU do CLP, procedimento que é finalizado com o *reset* dessa CPU.

Figura 26 - Comunicação SLMP com o formato das mensagens e fluxo de informações



FONTE: (MITSUBISHI ELECTRIC, 2020)

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho será uma pesquisa aplicada, e terá como objetivo a realização de pesquisa exploratória sobre o material bibliográfico obtido sobre o assunto. O trabalho utilizará procedimentos técnicos de pesquisa bibliográfica e experimental. O método de abordagem adotado é hipotético-dedutivo e o método de procedimento é monográfico. A coleta de dados será feita utilizando-se documentação indireta com a análise de seus dados sendo feitas de forma qualitativa e a interpretação de forma global.

Serão feitas pesquisas bibliográficas na área de automação industrial, mais especificamente sobre motores de indução, inversores de frequência, sensoriamento, acionamentos elétricos, dispositivos de segurança em circuitos elétricos, controladores lógicos programáveis e linguagem Ladder, roteadores e protocolos de rede.

Serão feitos testes em campo para avaliação do funcionamento dos componentes do sistema de formas individual e integrada. A execução do projeto pode ser dividida da seguinte forma:

1) Avaliação do sistema elétrico a ser implantado

Essa análise determina a quantidade de sensores, condutores, inversores, borneiras, motores, relés, CLP, IHM, válvulas solenoides, fonte de alimentação, roteadores, relés, os

dispositivos de proteção, comando e sinalização, bem como o painel elétrico adequado para a acomodação de todos os componentes do sistema levando-se em consideração o espaço disponível para instalação do mesmo. É também nessa fase que é feito o dimensionamento de condutores e da parte de segurança.

2) Montagem do quadro e fixação dos demais componentes na estrutura

Essa etapa compreende a fixação dos componentes do sistema de controle, força e segurança na chapa metálica do painel de forma que facilite a ligação elétrica desses componentes. É também nessa fase que será feita a fixação e a ligação dos sensores, barreiras de segurança e demais dispositivos que farão parte do sistema.

3) Parametrização e configuração

Com a ligação elétrica devidamente finalizada, inicia-se a configuração do roteador e setup de parâmetros de comunicação do CLP e da IHM a fim de que esses dispositivos estabeleçam comunicação entre si. É nesse estágio que os inversores são configurados, estabelecendo velocidade, aceleração/desaceleração, frequências máximas e mínimas de funcionamento, torque e demais parâmetros dos motores de indução.

Com o setup dos inversores finalizado e com a comunicação estabelecida entre CLP e IHM, inicia-se a programação do controlador, a qual será feita em linguagem LADDER.

4) Testes e avaliações

Na fase final realizam-se os testes dos sistemas elétrico, mecânico e eletropneumático, além da instalação e interligação do equipamento à linha de produção à qual ele está destinado. Dessa forma, será possível iniciar a avaliação do equipamento em ritmo de produção para que se possa fazer os ajustes necessários à adaptação das necessidades do processo.

2.1 ESPECIFICAÇÕES DOS SOFTWARES UTILIZADOS

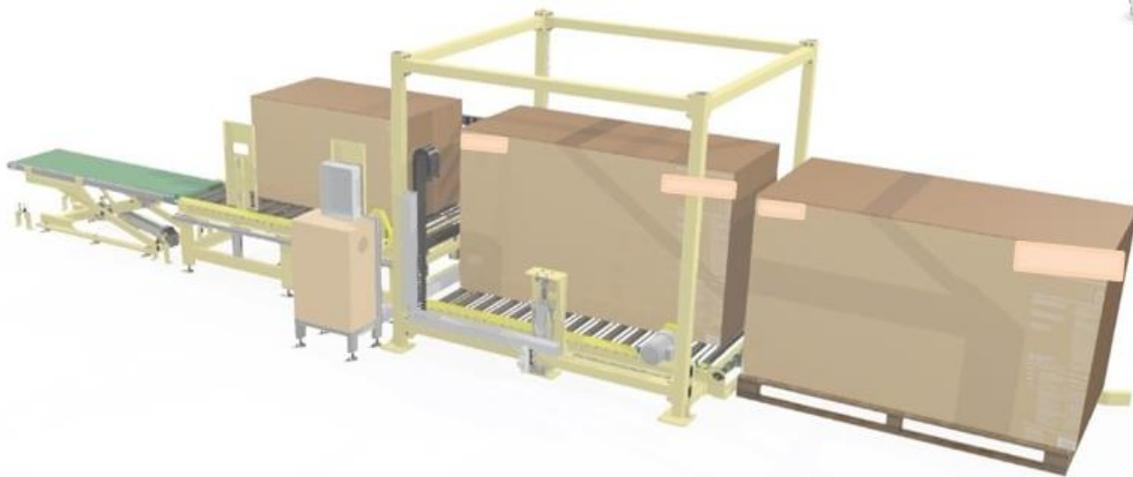
- a) GX Works 3 Version 1.007H: software usado para programar o CLP;
- b) GP- PRO EX Version V4.09.120: software usado na programação da IHM;
- c) CAdE SIMU Version 3.0: software usado para construção dos esquemas elétricos;
- d) Autodesk AutoCAD 2020: software usado para construção dos esquemas elétricos;

2.2 METODOLOGIA DE PALETIZAÇÃO

O processo de paletização é um recurso utilizado nos finais de linha de produção e tem por objetivo colocar os produtos acabados sobre o pallet de transporte de forma automatizada.

Dependendo da aplicação e do produto pode ser feito de variadas formas; no caso deste projeto a alternativa desenvolvida pode ser vista na figura abaixo.

Figura 27 - Sistema de paletização



FONTE: PRÓPRIA

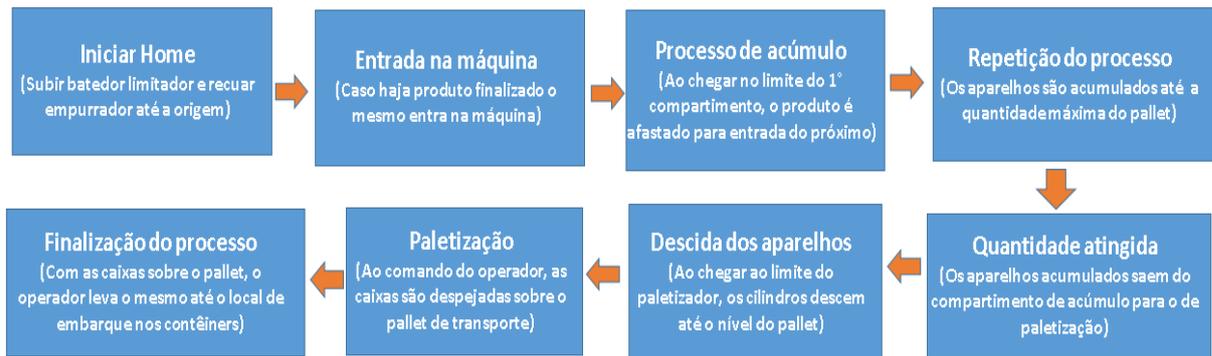
O produto acabado vem da linha de produção e entra na máquina de paletização logo após a finalização do seu processo de embalagem. A máquina entra no compartimento acumulador de caixas, onde o motor gira até que a caixa chegue no batedor limitador de curso. Uma vez que a caixa chega até o batedor, habilita-se o funcionamento do empurrador, responsável por empurrar a caixa que entrou na máquina de modo que se abra espaço para a entrada da próxima. Esse processo se repete até que se atinja a quantidade máxima de caixas comportada pelo pallet utilizado. Esse valor é setado na IHM da máquina.

Quando a quantidade de caixas é atingida no acumulador, o mesmo as libera para o paletizador. O batedor limitador de curso baixa e os motores movem as caixas até o paletizador. Quando o sensor de limite detecta a presença das caixas, o motor para de funcionar e habilita a descida dos cilindros.

Por fim, quando a máquina está com as caixas já no nível do solo, a mesma aguarda o comando do operador e o posicionamento do pallet para fazer a dispensação das caixas acumuladas sobre o pallet de transporte. O pallet é então retirado pelo operador e o cilindro avança, recolocando o paletizador na sua posição inicial para reiniciar o ciclo.

A Figura 28 ilustra de forma resumida o funcionamento do equipamento.

Figura 28- Funcionamento simplificado do equipamento



FONTE: PRÓPRIA

2.3 MATERIAIS ELÉTRICOS UTILIZADOS

A tabela abaixo contém os materiais elétricos utilizados na implementação da solução, contendo dados como quantidade, referência e o fabricante.

Tabela 1 - Materiais utilizados

Quantidade		Descrição	Referência	Fabricante
2	UN.	LED VERMELHO 24 VDC	KPL25-L3C	KOINO
1	UN.	LED VERDE 220 VAC	KH-502L φ25	KOINO
1	UN.	PAINEL ELÉTRICO METÁLICO	750mm x 500mm x 300mm	LEGRAND
1	UN.	CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR (25A)	LB 225 B33 YR TOPO	SCHMERSAL
1	UN.	MINIDISJUNTOR TRIPOLAR (20A)	BK63H 3P C20	LS ELECTRIC
1	UN.	MINIDISJUNTOR BIPOLAR (6A)	BK63H 2P C6	LS ELECTRIC
1	UN.	FILTRO DE RUÍDO	WYFS06TD	WYES
2	UN.	RELÉ DE SEGURANÇA	GUARDMASTER GSR DI SAFETY RELAY 440R-D22R2	ALLEN-BRADLEY
1	UN.	CLP FX5 - CPU	FX5UC-32MT/DS-TS	MITSUBISHI
2	UN.	CLP FX5 - EXPANSÃO	FX5-C32ET/DS-TS	MITSUBISHI
1	UN.	FONTE AC/DC (INPUT 65-264 V - 3A - 50/60 HZ OUTPUT: 24 VDC - 4,1 A - 100W)	UP100S24	UNION ELECOM

2	UN.	BORNEIRA I/O	TG7-1H40CA	SAMWON ACT - IO LINK
1	UN.	BORNEIRA P/N	TG7-COM20P	SAMWON ACT - IO LINK
3	UN.	RELÉ DE BASE	SZR-MY4-N1	HONEYWELL
3	UN.	BASE DE RELÉ	SZX-SLF-08N	HONEYWELL
1	UN.	RELÉ DE LINK	R4T-16P-S	SAMWON ACT - IO LINK
3	UN.	INVERSOR YASKAWA J1000 200V 3φ 2.2 kW/1.5 kW	CIMR-JT2A0010BAA	YASKAWA
1	UN.	BREAKING RESISTOR	MCRF 400W - 40Ω - K	FULLOHM
2	UN.	COOLER PARA PAINEL	4710KL-05W-B49 24VDC	NMB
1	UN.	CANALETA PLÁSTICA 30 mm X 60 mm	YOUNG SHIN 30mm x 60 mm x 2000m	YOUNG SHIN
10	UN.	CANALETA PLÁSTICA 40 mm X 60 mm	YOUNG SHIN 40mm x 60 mm x 2000m	YOUNG SHIN
2	UN.	TRILHO DIN 35mm PERFURADO GALVANIZADO	35 mm x 7,5 mm x 2000 mm	SHINING E&E
1	UN.	IHM PRO FACE	GP4000 SERIES GP - 4401WW MODEL: PFXGP4401WAOW	PRO FACE - SCHNEIDER ELECTRIC
2	UN.	VÁLVULAS CILINDROS BATEDORES	SY3320-5LZ-C6	SMC
1	UN.	VÁLVULAS CILINDROS PALETIZADORES	VFS4210-5DZ-04F	SMC
4	PAR	SENSOR ÓPTICO DE BARREIRA	BJ10M-TDT1 BJ10M-TDT2	AUTONICS
1	UN.	SENSOR ÓPTICO DIFUSO	GTB10-N1211	SICK
3	UN.	MOTOR TRIFÁSICO 0.75 kW	G3LB-28-20-075	GTR
4	UN.	SENSOR INDUTIVO	PRL18-8DN	AUTONICS
1	PAR	CILINDROS BATEDORES	YCDO2B-63X125DM	YPC AIR CYLINDER
1	PAR	CILINDRO PALETIZADOR	MBD125-400Z	SMC
2	UN.	BOTOEIRA DE COMANDO	KPB25M KH-2201EB	KOINO
1	UN.	CHAVE DE SELEÇÃO 2 POSIÇÕES	KH-3011	KOINO
1	PAR	BOTOEIRA DE EMERGÊNCIA	K25-87R 24VDC	KACON

1	UN.	TORRE DE SINALIZAÇÃO	ST45L-BZ-3	QLIGHT
2	PAR	SENSOR DE BARREIRA BEN10	BEN10M-TDT	AUTONICS
1	UN.	CAIXA DE PASSAGEM	TIBOX TJ-20P-S	TIBOX
1	UN.	CAIXA DE COMANDOS 1 - OPERADOR	FIBOX PCB65T	FIBOX
1	UN.	CAIXA DE COMANDOS 2 - OPERADOR	FIBOX ABS D 85G	FIBOX
1	UN.	MICRO SWITCH	KH-8005-C	KOINO
1	UN.	CANALETA PLÁSTICA 60 mm X 80 mm	YOUNG SHIN 60mm x 80 mm x 2000m	YOUNG SHIN
2	PAR	BARREIRA DE SEGURANÇA	445L - R(T) 4S0360YD 445L - R(T) 4S0120YD	ALLEN-BRADLEY
1	UN.	ROTEADOR	N704 BCM	IP TIME
1	UN.	TOMADA STECK PLUG MACHO	N4276 32A	STECK
2	UN.	SENSOR ÓPTICO TIPO U	BUP 30	AUTONICS
1	PAR	PRENSA CABO	PG 21 PG11	BOXCO
3	UN.	RETIFICADOR DE FREIO	A200-D90-UL	GTR

FONTE: PRÓPRIA

2.4 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO DA PALETIZADORA

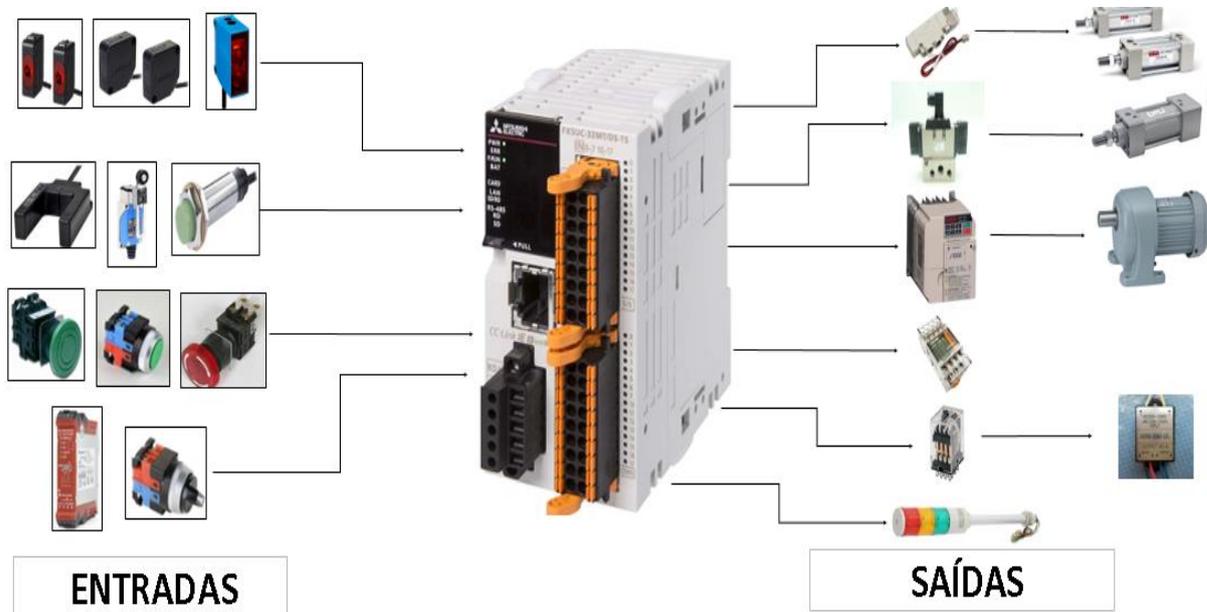
O sistema é controlado por um CLP contando com 32 entradas e 32 saídas, considerando a CPU e a expansão. O comando principal da máquina é feito através de uma IHM, e os comandos secundários do operador da expedição são feitos através de botoeiras e chaves de seleção. Além dessas entradas, o sistema conta com botoeiras de emergência e os sinais da cortina/relé de segurança, compondo as proteções da máquina.

O equipamento conta com 6 pares de sensor óptico de barreira, 1 sensor óptico difuso, 1 micro switch e 4 sensores indutivos.

Esses dispositivos ligados nas entradas do CLP fazem parte da lógica da máquina. Essa lógica aciona as saídas, as quais correspondem aos acionamentos dos inversores, ao reset do sistema de segurança, ao sistema eletropneumático e às sinalizações.

A Figura 29 mostra uma disposição simplificada dos dispositivos que compõem o sistema elétrico do equipamento.

Figura 29 - Disposição simplificada do sistema elétrico do equipamento



FONTE: PRÓPRIA

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A implementação do projeto divide-se em 4 etapas principais, descritas no início da seção 2, as quais serão detalhas abaixo.

3.1 ESQUEMAS DE LIGAÇÃO

Nessa fase são feitos os cálculos e avaliações iniciais. Considera-se a tensão de alimentação disponível e a potência dos motores para dimensionamento do disjuntor do circuito de potência e escolha da chave seccionadora geral. Para o circuito de corrente contínua, considera-se a corrente da fonte para dimensionamento do disjuntor. Também é nesse estágio que é feito o levantamento de entradas e saídas do CLP e o desenho dos esquemas elétricos.

3.1.1 Circuito de alimentação (AC e DC)

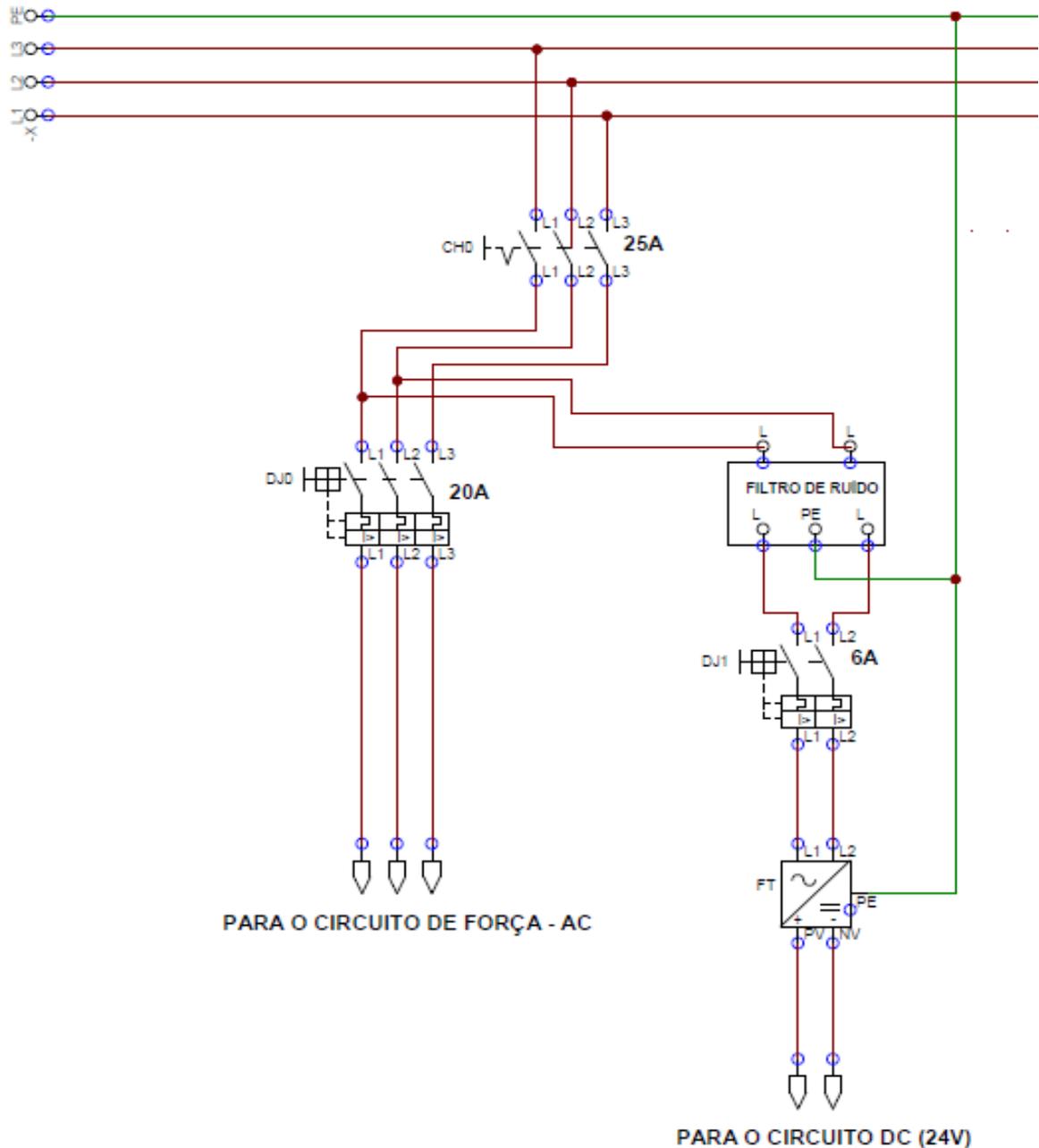
A alimentação da máquina é de 220V, trifásica, 3P+PE. A chave seccionadora escolhida foi de 25A, responsável por ligar/desligar tanto o circuito de força (AC) quanto o de comando (DC). A proteção do circuito de força, por sua vez, é feita por um disjuntor de 20A, ao passo que o circuito DC tem um disjuntor de 6A.

A figura abaixo ilustra o diagrama; as linhas superiores simbolizam a alimentação fornecida, o elemento **CH0** corresponde à chave seccionadora geral. O disjuntor **DJ0** é tripolar e protege o circuito de força, enquanto que o disjuntor bipolar **DJ1** é o responsável pelas proteções e manobras do circuito de comando.

As fases L1 e L2, antes de chegarem ao disjuntor **DJ1**, passam por um filtro de ruído, cuja referência pode ser vista na Figura 30. Esse filtro é responsável por atenuar quaisquer ruídos da rede elétrica que possam oferecer riscos ao sistema. A utilização desse componente se dá no circuito do disjuntor DJ1 porque é esse circuito que alimenta o CLP, componente mais importante do sistema.

Com as fases devidamente filtradas, as mesmas seguem até o disjuntor e após ele até a fonte **FT**, que converterá a tensão alternada em contínua gerando os 24 VDC necessários aos componentes do circuito. A corrente de saída é de aproximadamente 4,1A.

Figura 30 - Diagrama de alimentação



FONTE: PRÓPRIA

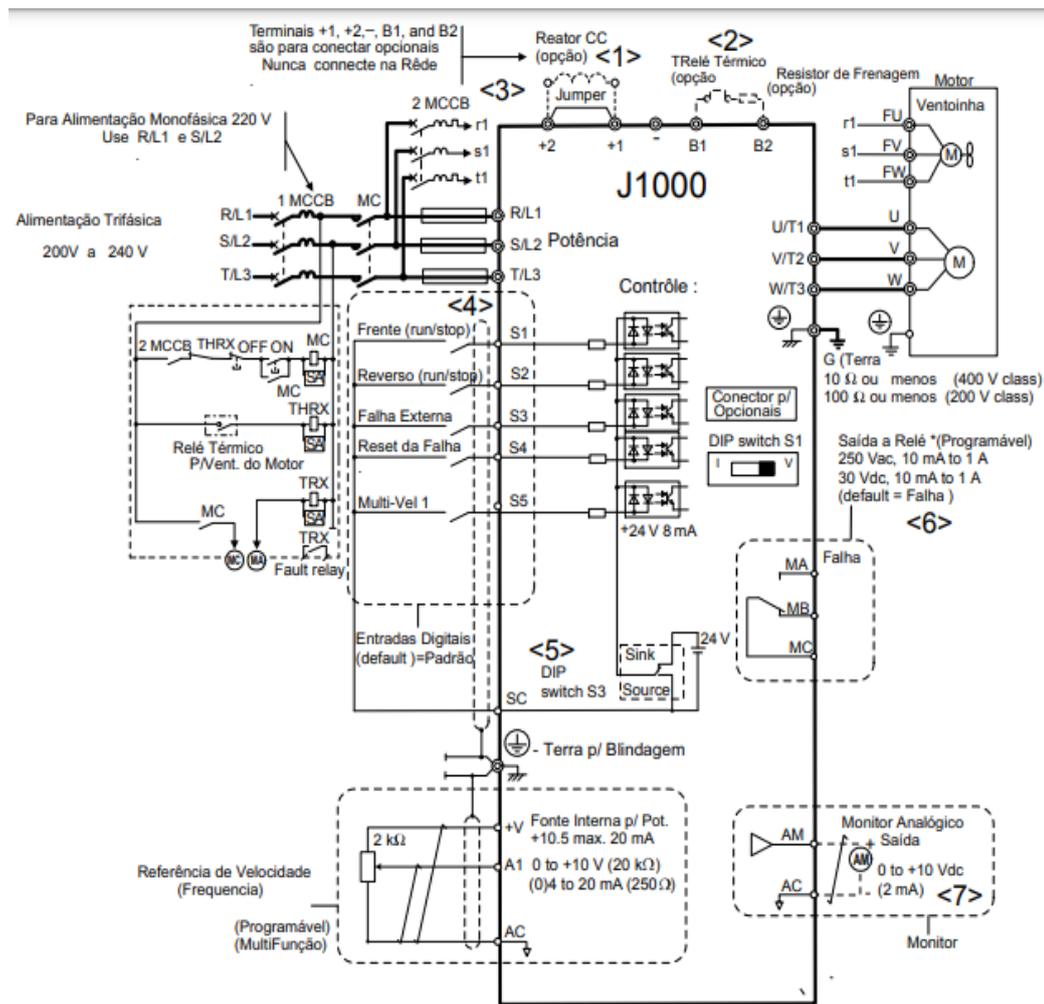
3.1.2 Circuito de força e inversores

O circuito de força compreende os 3 motores trifásicos da máquina. Cada motor tem 0,75 kW de potência e é controlado por um inversor. Os inversores possuem capacidade de controle de 2,2 kW de potência para operação normal e 1,5 kW para operação em duty cycle. O terminal S1 do inversor quando acionado faz com que o motor gire para frente, o terminal S2 inverte a rotação, o S3 corresponde a falhas do inversor, S4 é o reset da falha e o S5 é

segunda velocidade. O diagrama do inversor YASKAWA J1000 CIMR-JT2A0010BAA pode ser visto na Figura 31.

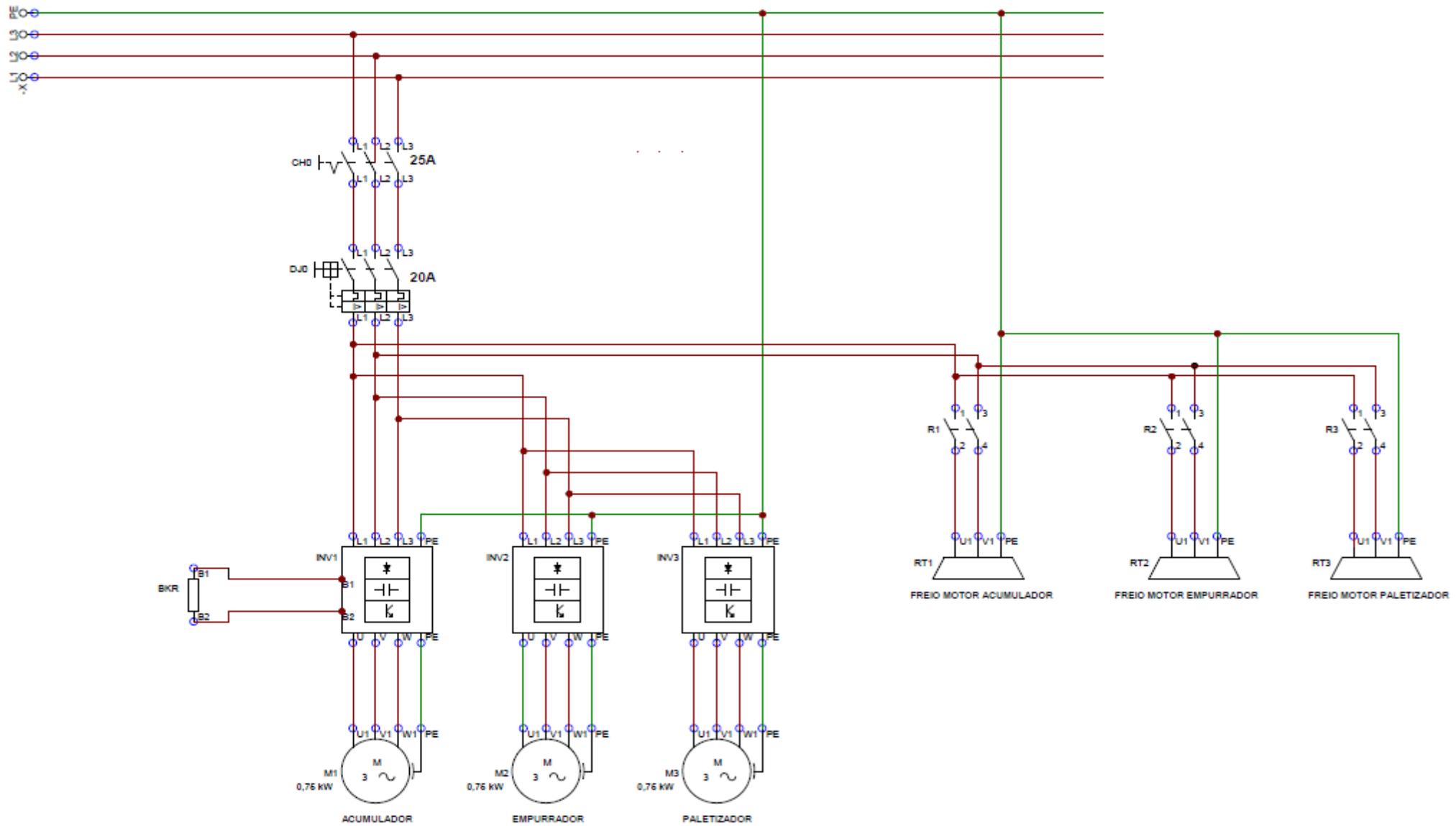
Os motores possuem freios, os quais são liberados cada vez que os motores funcionam. Essa liberação se dá através de um retificador, que recebe uma tensão de 220 VAC chaveada por um relé e faz com que o freio seja desacoplado do rotor até que essa tensão seja interrompida. O circuito de força pode ser visto na Figura 32.

Figura 31 - Diagrama do inversor CIMR-JT2A0010BAA



FONTE: (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION, 2008)

Figura 32 - Diagrama de força



Fonte: PRÓPRIA

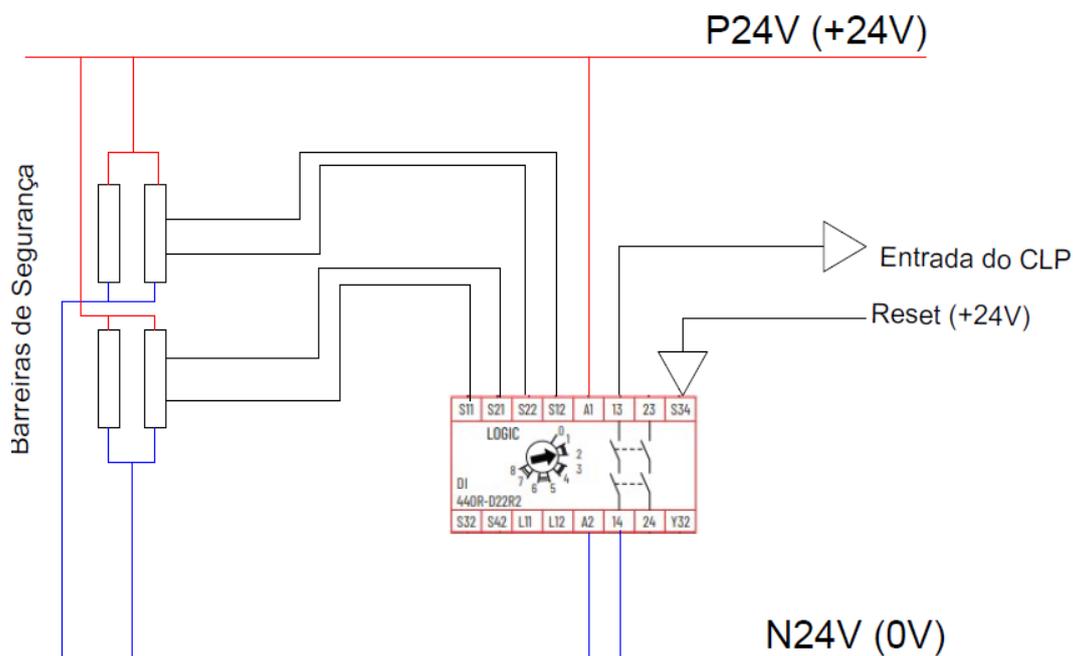
3.1.3 Circuito de Segurança

O circuito de segurança pode ser visto na Figura 33. Esse circuito é composto por dois pares de barreiras de luz, as quais são ligadas a um relé de segurança, que para esse projeto é o *Allen-Bradley DI 440R-D22R2*.

Cada par de barreiras de segurança é ligada a um canal do relé, sendo também alimentadas com tensão de 24 VDC. O relé funciona monitorando os sinais enviados por essas barreiras e, uma vez que elas atuem em condições adversas, há uma interrupção do funcionamento regular do mesmo.

Essa interrupção se dá através da abertura dos canais internos do relé, os quais podem ser usados para chaveamento de sinais para o CLP que podem ser usados na lógica de programação. Esse estado permanece até que a condição adversa seja removida, fazendo com que o relé permita o reset pelo usuário, reabilitando seu funcionamento normal.

Figura 33 - Circuito de segurança (Barreiras)



FONTE: PRÓPRIA

O uso das barreiras de segurança se faz necessário pelo fato de que a saída de caixas é a única parte do compartimento de paletização que não pode ser fechada com proteções físicas. O risco oriundo da subida e descida dos cilindros de paletização

somado ao peso dos produtos sobre eles, no entanto, persiste. Isso exige essa medida de redução de risco aos operadores e pessoas próximas, evitando possíveis esmagamentos.

Para esse projeto, utilizou-se a tensão gerada pelo polo negativo da rede 24 VDC (N24V-0V) para o chaveamento à entrada do CLP, devido ao fato de que esse controlador é NPN. Esse sinal é uma das condições da lógica de programação para o funcionamento da máquina, mais exatamente na subida e na descida dos cilindros da parte de paletização.

Também em consequência de o controlador ser NPN, há o chaveamento do sinal de reset enviado pela saída do mesmo por intermédio de um relé. Esse sinal (+24 V) é o que faz o reset de segurança, habilitando o relé novamente e permitindo o reinício da operação. A Tabela 2 mostra a função de cada terminal do relé utilizado nesse projeto.

Tabela 2 - Funções dos terminais do relé de segurança

Terminal	Função
S11	Canal 1 - barreira de segurança
S21	Canal 1 - barreira de segurança
S12	Canal 2 - barreira de segurança
S22	Canal 2 - barreira de segurança
A1	Alimentação (+24 VDC)
A2	Alimentação (0 VDC)
13	Chaveamento de sinal (0 VDC)
14	Chaveamento de sinal (entrada do CLP)
S34	Reset do relé (sinal +24 VDC)

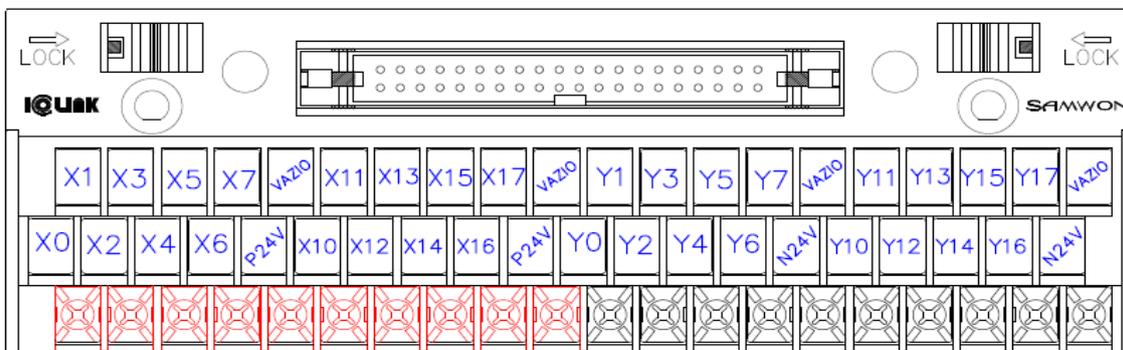
FONTE: PRÓPRIA

3.1.4 Ligações físicas do CLP

O CLP foi o Mitsubishi FX5UC-32MT/DS-TS (referência da CPU), que pode ser visto na Figura 34. A comunicação com a CPU se dá através de uma porta Ethernet para conector RJ-45 e a mesma tem uma tensão de alimentação de 24 VDC. As entradas e saídas contém dois blocos de terminal de molas, contando cada um deles com 16 bornes de I/O e mais 2 bornes para alimentação do bloco.

Esse bloco de interface de terminais, assim como o cabo flat, possui 40 pinos e é ligado à CPU por meio de um conector latch fêmea com 40 vias. A ligação das entradas e saídas dos terminais da CPU foi feita de acordo com a Figura 36.

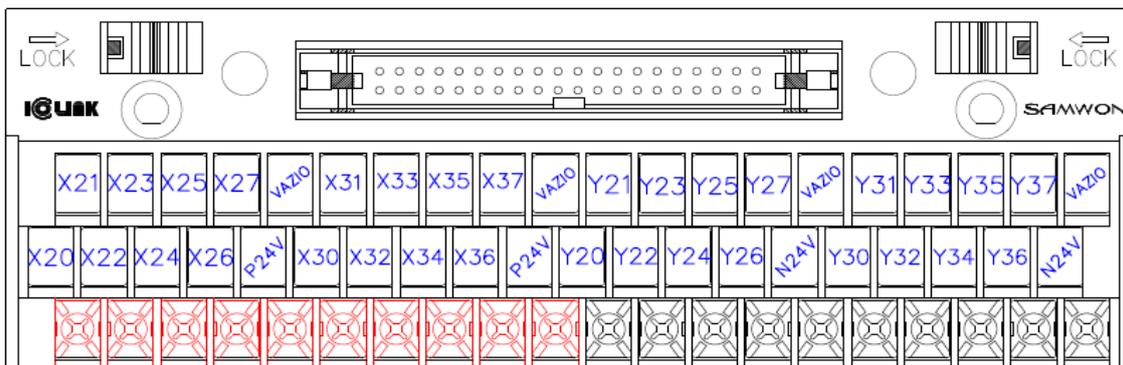
Figura 36 - Disposição das entradas e saídas do cartão da CPU



FONTE: PRÓPRIA

Na segunda borneira foram ligados os terminais do cartão de expansão, o qual possui a mesma quantidade do cartão da CPU. A disposição é similar.

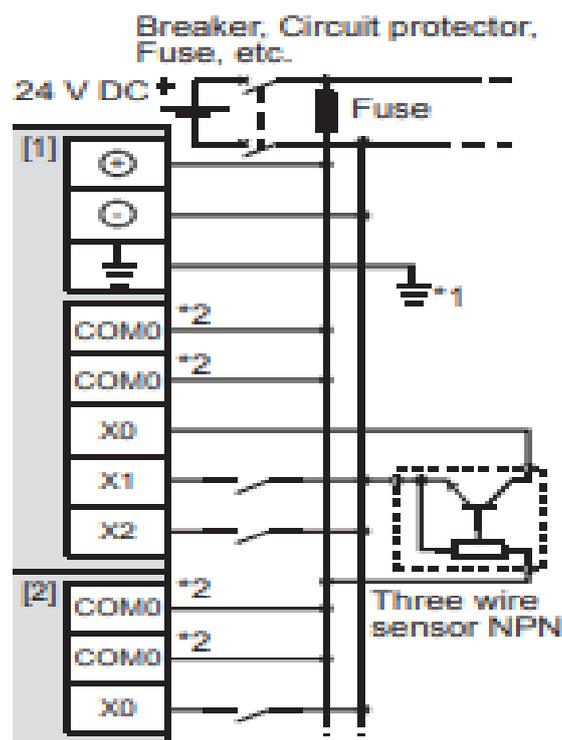
Figura 37 - Disposição das entradas e saídas do cartão de expansão 1



FONTE: PRÓPRIA

A alimentação dos comuns de cada bloco foi feita segundo a configuração sink input para as entradas e sink output para as saídas. A primeira opção pode ser vista na Figura 38.

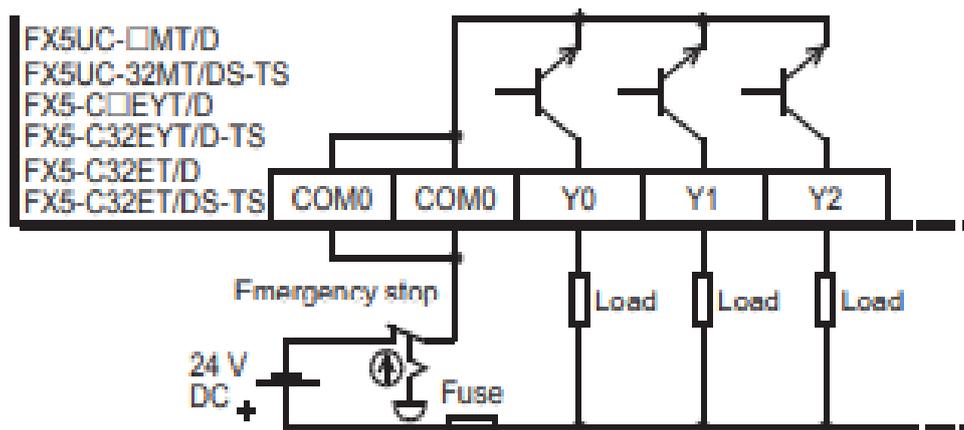
Figura 38 - Ligação sink input



FONTE: (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, 2019)

A segunda ligação foi feita de acordo com a Figura 39. Tanto os terminais CPU quanto da expansão foram ligados da mesma forma.

Figura 39 - Ligação sink output



FONTE: (MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, 2019)

3.1.5 Entradas do CLP

O CLP conta com 32 entradas disponíveis para uso. A lista de entradas pode ser vista na tabela abaixo. As entradas que estão do lado esquerdo da tabela (X0 ~X17) são

do módulo da CPU, enquanto que as células do lado direito (X20 ~ X37) mostram os endereços das entradas da primeira expansão.

Tabela 3 - Lista de entradas do CLP

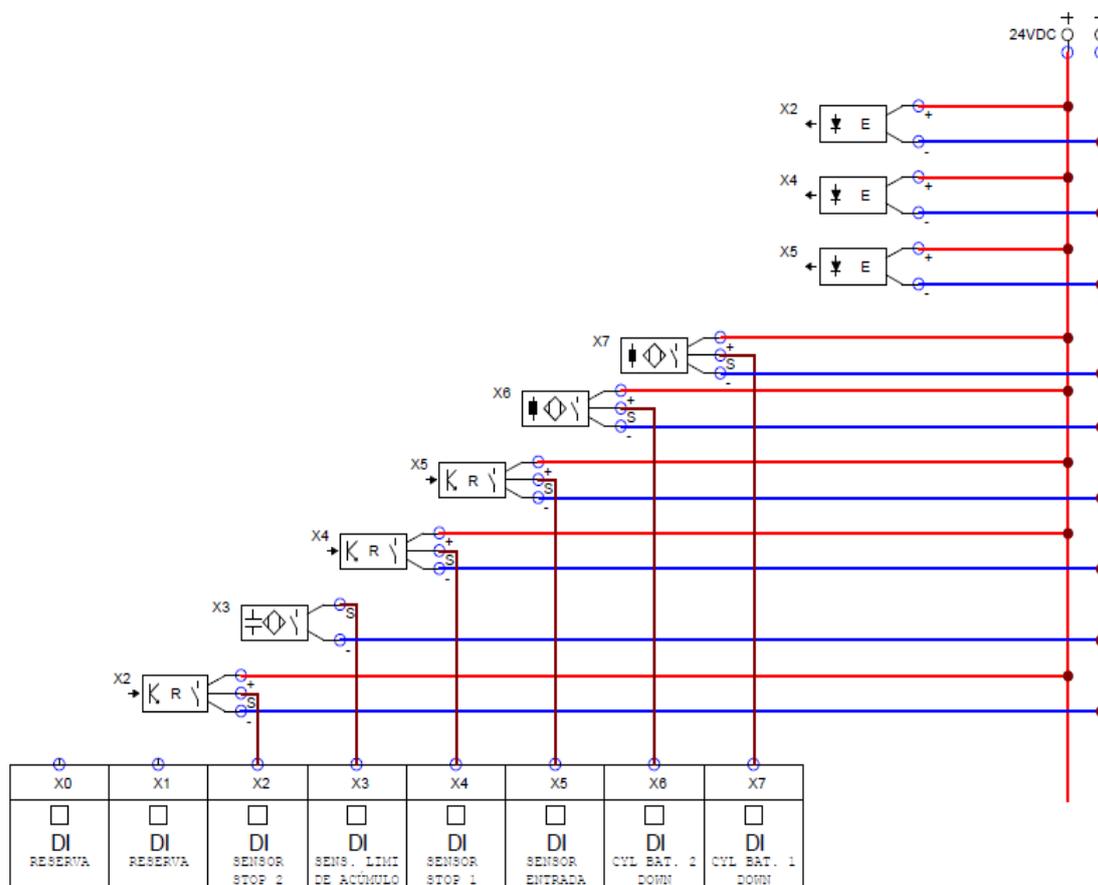
ENTRADAS			
Endereço	Descrição	Endereço	Descrição
X0	Reserva	X20	Reserva
X1	Reserva	X21	botoeira de emergência
X2	sensor óptico stop 2 - acumulador	X22	botoeira de comando de dispensação de caixas - operador
X3	sensor micro switch limite acúmulo - acumulador	X23	sensor limite superior - empurrador
X4	sensor óptico stop 1 - acumulador	X24	Reserva
X5	sensor óptico entrada acumulador	X25	sensor limite inferior - empurrador
X6	sensor indutivo - cyl batedor 2 down - acumulador	X26	Recebe link de entrada
X7	sensor indutivo - cyl batedor 1 down - acumulador	X27	sensor detecta produtos no pallet
X10	Reserva	X30	Reserva
X11	Reserva	X31	Reserva
X12	sensor óptico segurança - entrada paletizador	X32	Reserva
X13	sensor óptico - polegadas menores - paletizador	X33	Reserva
X14	sensor óptico - polegadas maiores - paletizador	X34	Reserva
X15	sensor óptico segurança - saída paletizador	X35	Reserva
X16	sensor indutivo - cyl paletizador up	X36	Reserva
X17	sensor indutivo - cyl paletizador down	X37	Reserva

FONTE: PRÓPRIA

A Figura 40 mostra o esquema de ligação das entradas X0~X7 do CLP. Os sensores X2, X4 e X5 são sensores ópticos de barreira, por essa razão contam com uma unidade emissora de luz e uma receptora. Esta última é alimentada e tem o cabo de sinal conectado à entrada do CLP, enquanto que a unidade emissora apenas recebe alimentação para funcionar gerando o feixe de luz.

O sensor X3 é capacitivo, ao passo que os sensores X6 e X7 são indutivos. Todos os sensores são NPN.

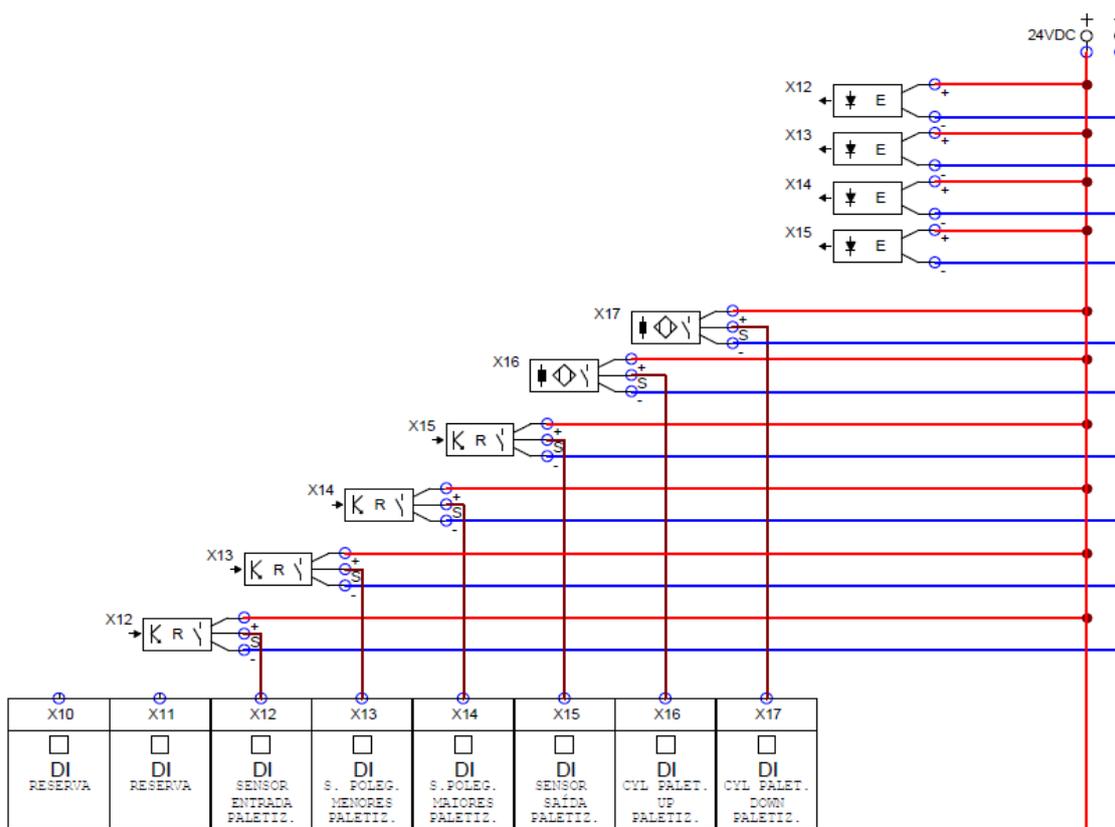
Figura 40 - Esquema de ligação (entradas X0~X7)



FONTE: PRÓPRIA

O conjunto de entradas com endereços variando de X10~X17 conta com 4 sensores de barreira e 2 indutivos. A ligação é similar ao esquema anterior e pode ser visto na Figura 41 .

Figura 41 - Esquema de ligação (entradas X10~X17)

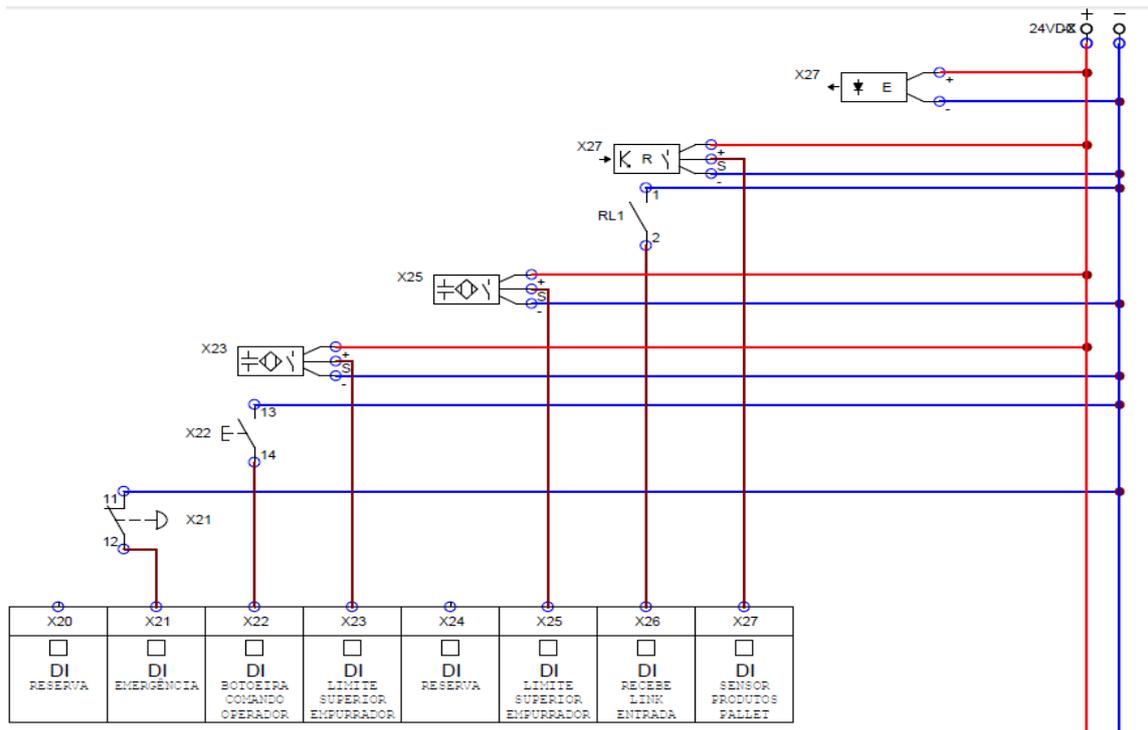


FONTE: PRÓPRIA

O último diagrama de ligação de entradas a ser representado compreende as entradas de X20 até X27. Esse último conjunto de entradas conta com uma botoeira de comando para o operador comandar a saída de caixas da máquina, uma botoeira de emergência, sensores capacitivos e de barreira e um contato do relé de link. Esse relé de link é usado para interface entre a linha de produção e a máquina, permitindo que ambos troquem informações entre si a fim de permitir ou não a entrada ou saída de produtos.

O diagrama de ligação pode ser visto na Figura 42.

Figura 42 - Esquema de ligação (entradas X20~X27)



FONTE: PRÓPRIA

3.1.6 Saídas do CLP

As saídas têm a mesma quantidade das entradas: 32 disponíveis e 16 de reserva na expansão não utilizada inicialmente. A lista de saídas da máquina pode ser vista na tabela abaixo, e segue a mesma divisão da listagem das entradas: o lado esquerdo (Y0 ~Y17) amarela corresponde às entradas do módulo da CPU e os endereços do lado direito (Y20 ~ Y37) à expansão.

Tabela 4 - Lista de saídas do CLP

SAÍDAS			
Endereço	Descrição	Endereço	Descrição
Y0	sobe cyl batedor 1	Y20	reserva
Y1	desce cyl batedor 1	Y21	libera freio motor acumulador
Y2	sobe cyl batedor 2	Y22	libera freio motor empurrador
Y3	reserva	Y23	libera freio motor paletizador
Y4	sobe cyl paletizador	Y24	led verde - tower lamp

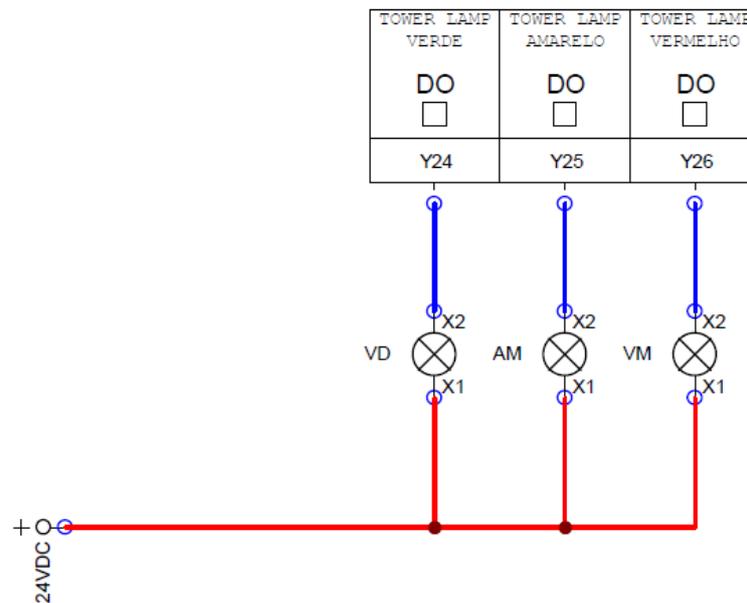
Y5	reserva	Y25	led amarelo - tower lamp
Y6	desce cyl paletizador	Y26	led vermelho - tower lamp
Y7	desce cyl batedor 2	Y27	reserva
Y10	reserva	Y30	reserva
Y11	reserva	Y31	reserva
Y12	envia link para a linha	Y32	reserva
Y13	liga motor empurrador - forward - (S1)	Y33	reserva
Y14	liga motor empurrador - reverse - (S2)	Y34	reserva
Y15	liga motor acumulador - slow - (S5)	Y35	reserva
Y16	liga motor acumulador - forward - (S1)	Y36	reserva
Y17	liga motor paletizador - forward - (S1)	Y37	reserva

FONTE: PRÓPRIA

3.1.7 Sinalização

A sinalização do equipamento é feita por intermédio de uma tower lamp. O esquema elétrico pode ser visto na Figura 43.

Figura 43 - Sinalização tower lamp



FONTE: PRÓPRIA

Cada cor corresponde a uma determinada situação durante o funcionamento da máquina. O padrão estabelecido pela empresa segue a Tabela 5 .

Tabela 5 - Padrão de sinalização

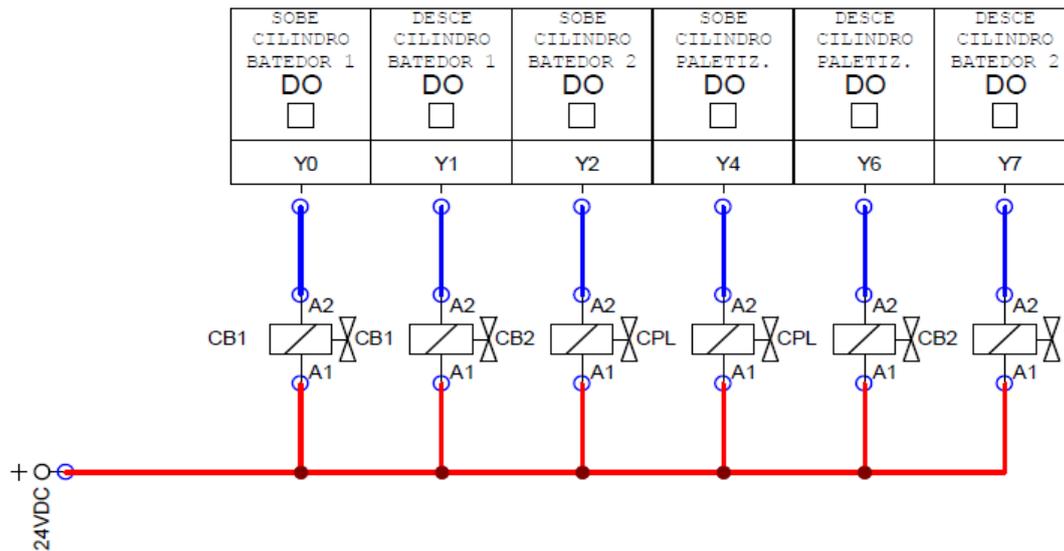
Cor da sinalização	Situação
VERMELHO	Paradas de emergência, paradas momentâneas, falhas no equipamento
AMARELO	Equipamento em espera, parada programada de manutenção, modo manual
VERDE	equipamento em operação normal

FONTE: PRÓPRIA

3.1.8 Eletropneumática

O sistema conta com 2 válvulas SMC SY3320-5LZ-C6 e 1 válvula SMC VFS4210-5DZ-04F. Todas possuem bobina com alimentação de 24 VDC e possuem duplo acionamento, ou seja, um acionamento individual para avançar o atuador e um para recuar. O esquema de ligação pode ser visto na Figura 44

Figura 44 - Sistema eletropneumático



FONTE: PRÓPRIA

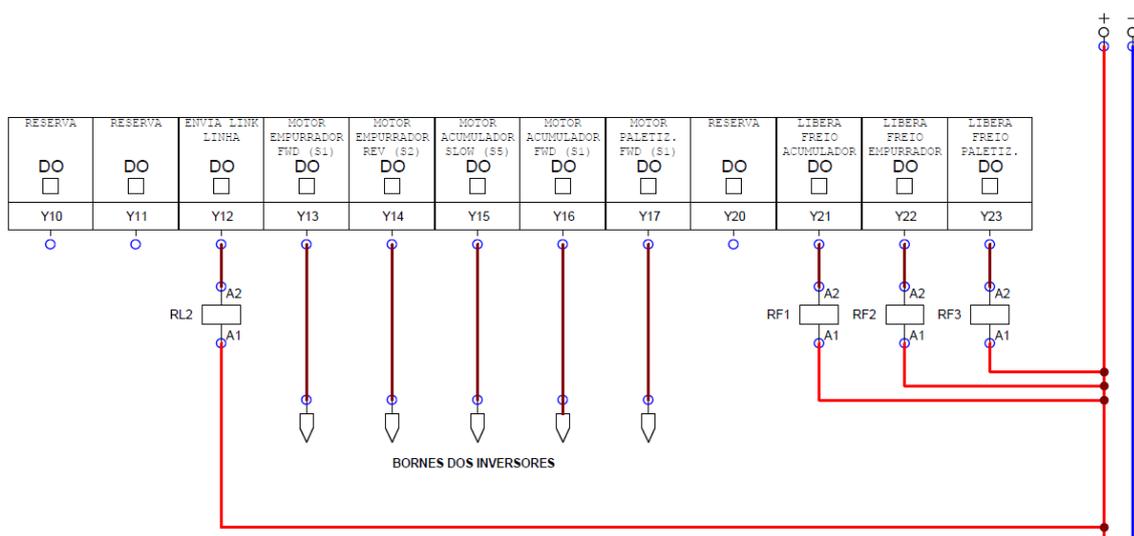
3.1.9 Acionamentos dos motores

Os motores são controlados através de inversores de frequência. O funcionamento se dá através do chaveamento de uma tensão nos seus terminais de acionamento, fazendo com que o motor gire. O terminal S1 faz com que o motor gire para frente, enquanto que o terminal S2 inverte o sentido de rotação. O terminal S5, por sua vez, aciona a segunda velocidade parametrizada no inversor, que no caso desse projeto foi chamada de *slow*. O nome é devido ao fato de que essa segunda velocidade tem o objetivo de reduzir a velocidade do motor, facilitando sua frenagem.

Os motores utilizados possuem freios, por isso utilizaram-se os relés RF1, RF2 e RF3 para chaveamento de uma tensão 220 VAC para os retificadores. Essa tensão chaveada faz com que os freios sejam desacoplados dos rotores, permitindo que os mesmos girem livremente até que a tensão seja removida.

O diagrama de ligação pode ser visto na Figura 45.

Figura 45 - Acionamentos dos inversores e freios



FONTE: PRÓPRIA

3.2 MONTAGEM DO SISTEMA

3.2.1 Montagem do painel

Após os dimensionamentos iniciais inicia-se a fase da montagem do painel elétrico. O painel utilizado é metálico e possui as seguintes dimensões: 750 mm x 500 mm x 300mm. A Figura 46 mostra a disposição dos componentes inicialmente planejada.

A primeira fileira contém os minidisjuntores dos circuitos de força e comando, o filtro de ruído, dois relés de segurança, o CLP e a fonte AC/DC. O disjuntor do circuito de força é tripolar, curva C e tem 20A de capacidade, enquanto que o disjuntor do circuito de comando é bipolar, curva C e 6A. O filtro de ruído serve para eliminar riscos ao circuito que alimenta a fonte e, conseqüentemente, o CLP.

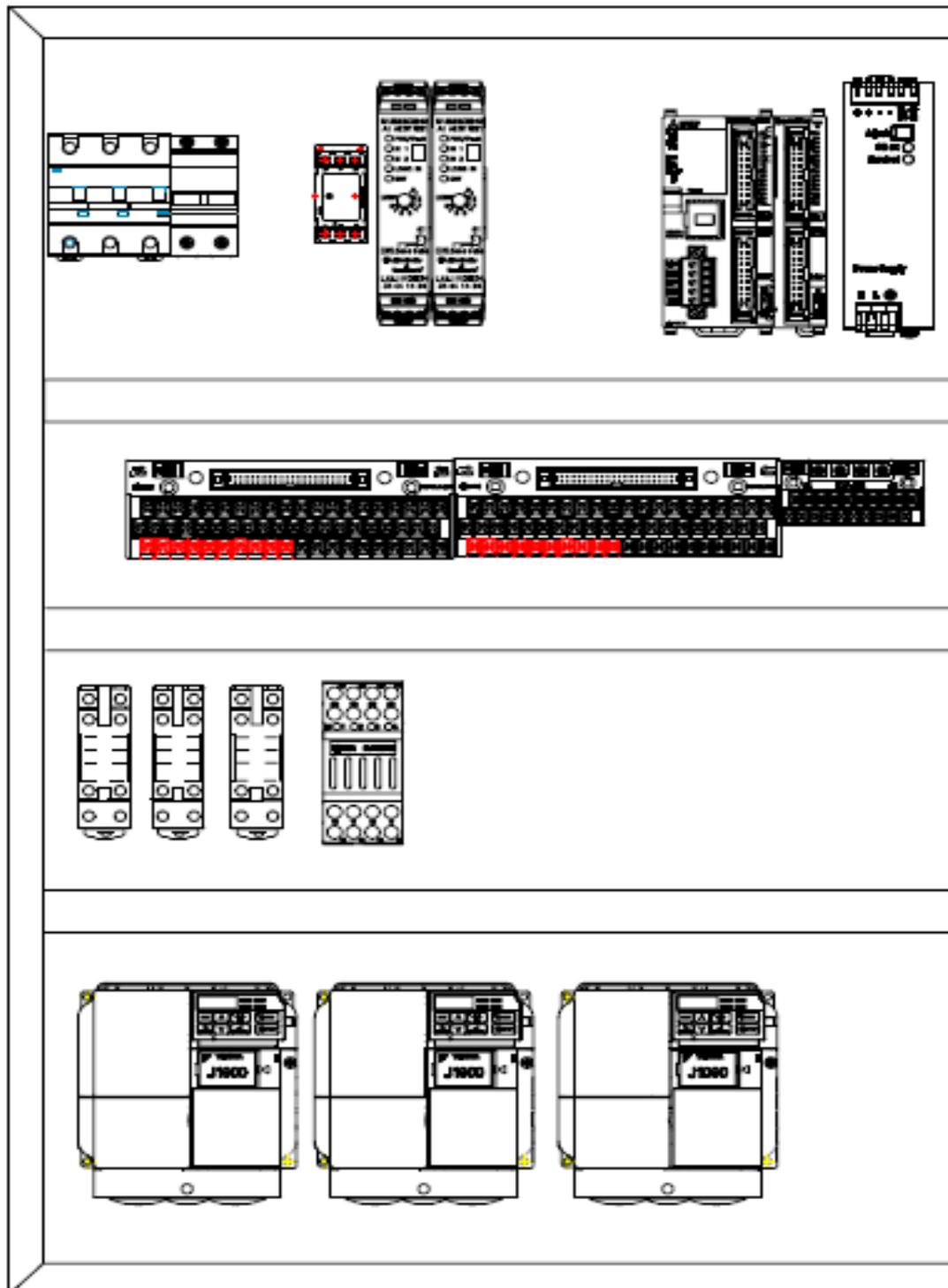
Na segunda fileira estão as borneiras de entrada e saída do CLP e também de alimentação 24 VDC. A terceira seção comporta os relés de freios dos motores e o relé de link. Na última parte estão os 3 inversores usados nos controles dos motores.

Os componentes são colocados sobre trilho din 35mm galvanizado, a exceção são os inversores, que por não possuírem meios de fixação no trilho, são fixados com parafuso.

O cabeamento usado no painel é organizado através de canaletas plásticas 40mm x 60 mm e 30mm x 60mm. Para o circuito de força, esse cabeamento tinha seção transversal de 2,5 mm², enquanto que para o circuito de comando utilizou-se cabeamento

de 0,75mm². Para a ligação de sensores, botoeiras e demais componentes fixados na máquina foram utilizados cabos de 2,4,6 e 10 vias AWG 24 e AWG 20.

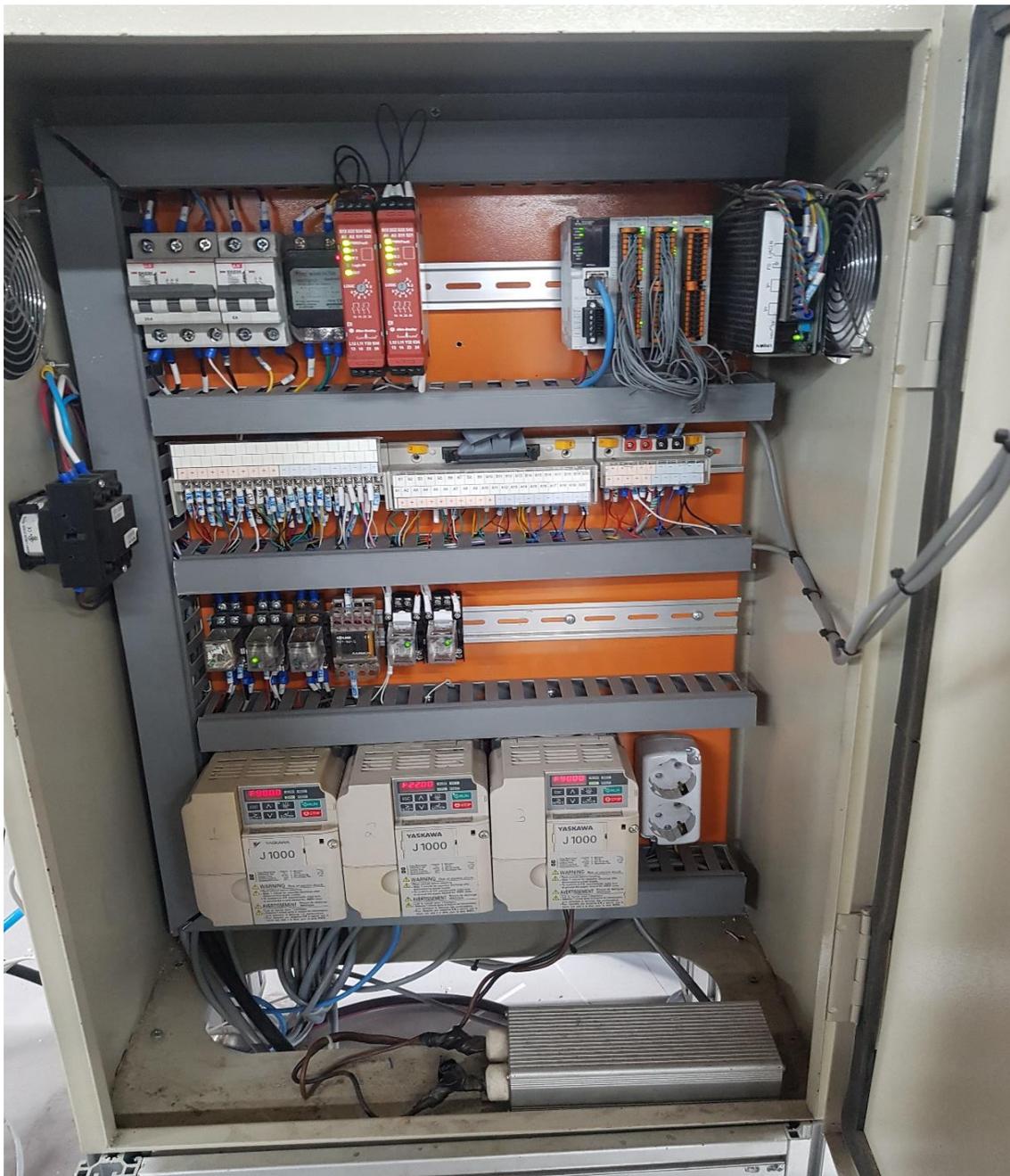
Figura 46 - Projeto inicial - painel elétrico



FONTE: PRÓPRIA

O painel montado pode ser visto na Figura 47. Nas partes laterais superiores foram adicionados dois coolers de 24 VDC para fins de refrigeração dos componentes do painel. Na lateral superior esquerda foi fixada a chave de seccionamento do painel, que recebe a alimentação da linha por meio de cabo PP 4 x 4,0 mm². Em um dos inversores foi ligado um resistor de frenagem, com o intuito de auxiliar na dissipação da energia no momento da parada do motor.

Figura 47 - Painel montado



FONTE: PRÓPRIA

A porta do painel contém duas lâmpadas de sinalização, cujo objetivo é informar quando o painel está energizado.

Figura 48 - Sinalização do painel (220V AC e 24VDC)

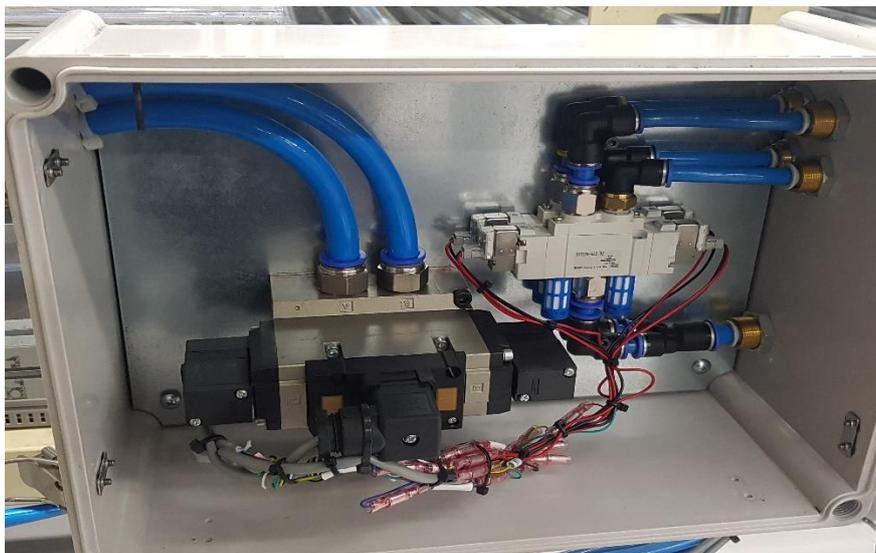


FONTE: PRÓPRIA

3.2.2 Montagem dos demais componentes

No lado direito do painel foram fixadas as válvulas pneumáticas do sistema. A alimentação dos solenoides é de 24VDC e todas as válvulas são de duplo acionamento.

Figura 49 - Válvulas pneumáticas



FONTE: PRÓPRIA

Os sensores de limite são ópticos de barreira e são utilizados para determinar os momentos de parada dos motores ou outras condições de segurança. O posicionamento de alguns deles pode ser visto nos destaques da Figura 50, bem como o do sensor difuso à direita.

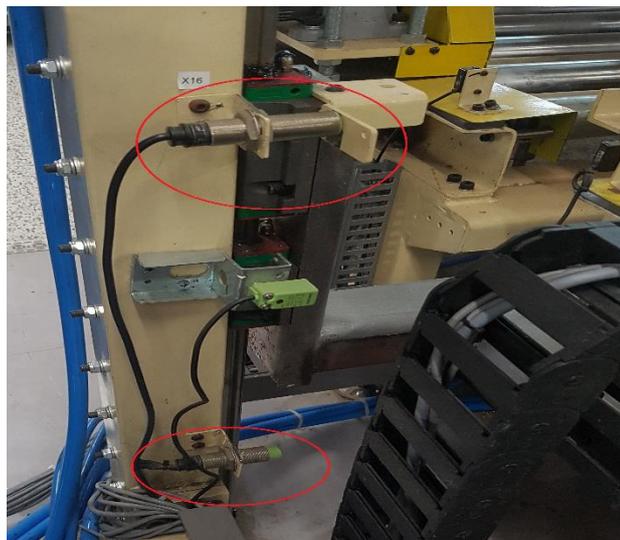
Figura 50 - Sensores de barreira e difuso



FONTE: PRÓPRIA

Um outro tipo de sensor utilizado é o indutivo, o qual tem a capacidade de detectar metais. Esses sensores foram utilizados para monitorar a subida e a descida dos cilindros pneumáticos do sistema e estão destacados na Figura 51.

Figura 51 - Sensores indutivos



FONTE: PRÓPRIA

Um terceiro tipo de sensor utilizado é o micro switch (Figura 52), usado nesse projeto para interromper o avanço do empurrador quando acionado. Isso indica para a máquina que a quantidade máxima de caixas comportada naquele espaço foi atingida.

Figura 52 - Micro switch - acúmulo máximo



FONTE: PRÓPRIA

A Figura 53 mostra os comandos do operador. Na primeira caixa de comando (à esquerda) estão o botão de comando do operador, acionado quando o mesmo quer dispensar as caixas para o pallet e a chave de seleção manual/auto. Essa chave de seleção determina o andamento do ciclo da dispensação, isso porque se estiver em manual, o operador precisa pressionar o botão “DISP. CAIXA”, mas se estiver em auto a dispensação acontece sem esperar pelo comando do operador, desde que se tenha pallet em posição.

Figura 53 - Comandos do operador



FONTE: PRÓPRIA

A Figura 54 mostra duas vistas da máquina com todo o sistema já montado.

Figura 54 - Sistema montado



FONTE: PRÓPRIA

3.3 CONFIGURAÇÕES

Antes do início da programação é necessário configurar parâmetros de comunicação entre CLP, IHM e o roteador que integrará esses dispositivos.

3.3.1 Roteador

O roteador utilizado é o IP TIME N704BCM. O uso do roteador se faz necessário devido ao fato de que o CLP conta com apenas uma única porta Ethernet para comunicação, que se fosse utilizada para comunicar diretamente com a IHM limitaria o acesso do usuário ao código.

Sem o roteador seria necessário remover esse cabo de comunicação IHM-CLP para fazer o upload do código do CLP para o computador, fazendo com que a conexão fosse perdida, impedindo quaisquer comandos ou monitoramentos por parte da IHM. Assim, o roteador tem a função de permitir ao usuário acessar os códigos tanto do CLP quanto da IHM, proporcionado também a praticidade de programar a distâncias maiores, utilizando-se do recurso Wireless.

O primeiro passo é ligar o roteador na fonte e conectar-se ao mesmo através de um cabo Ethernet. Utilizando o navegador, digita-se o IP de fábrica do roteador, que para esse fabricante é 192.168.0.1.

A tela de *login* é preenchida da seguinte forma:

Login ID: admin

Password: admin

Após esse preenchimento, o procedimento é finalizado ao digitar o padrão de segurança e clicar no botão de *login*.

Figura 55- Tela de *login* do roteador



FONTE: PRÓPRIA

Após o login o segundo passo é selecionar a tela de setup.

Figura 56 - Tela da escolha de setup do roteador



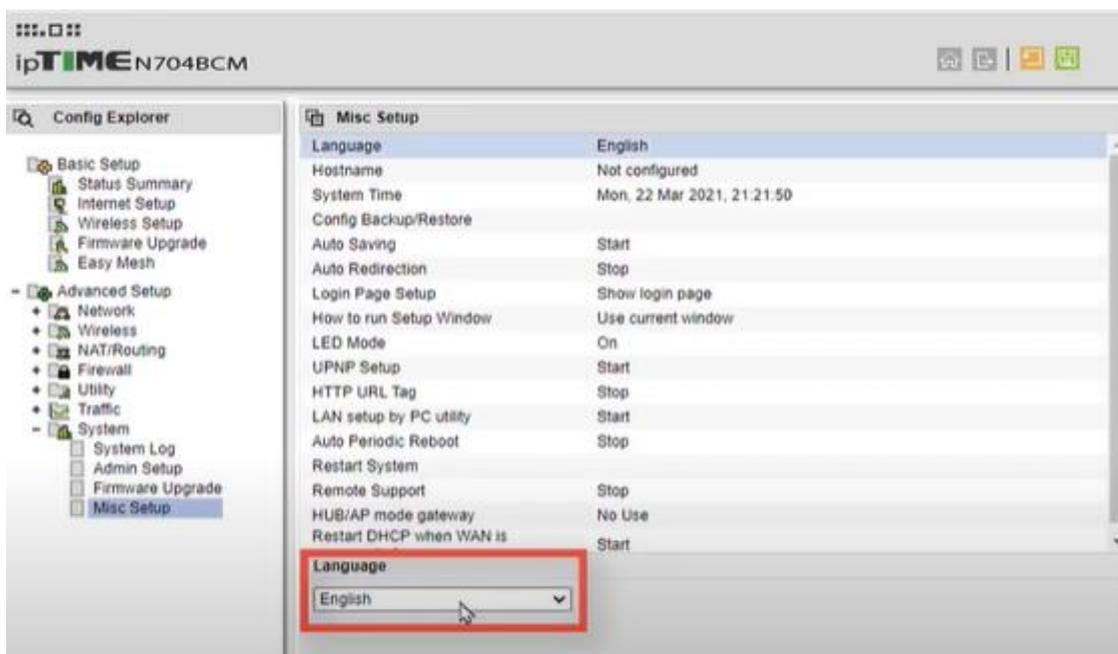
FONTE: PRÓPRIA

O terceiro passo da configuração do roteador é a mudança de idioma. Por padrão o equipamento utilizado nesse projeto tem o idioma coreano, e a mudança é feita seguindo-se a seguinte sequência:

Avanced Setup > System > Misc Setup

Após a escolha do idioma o procedimento é finalizado ao clicar no botão *Apply*.

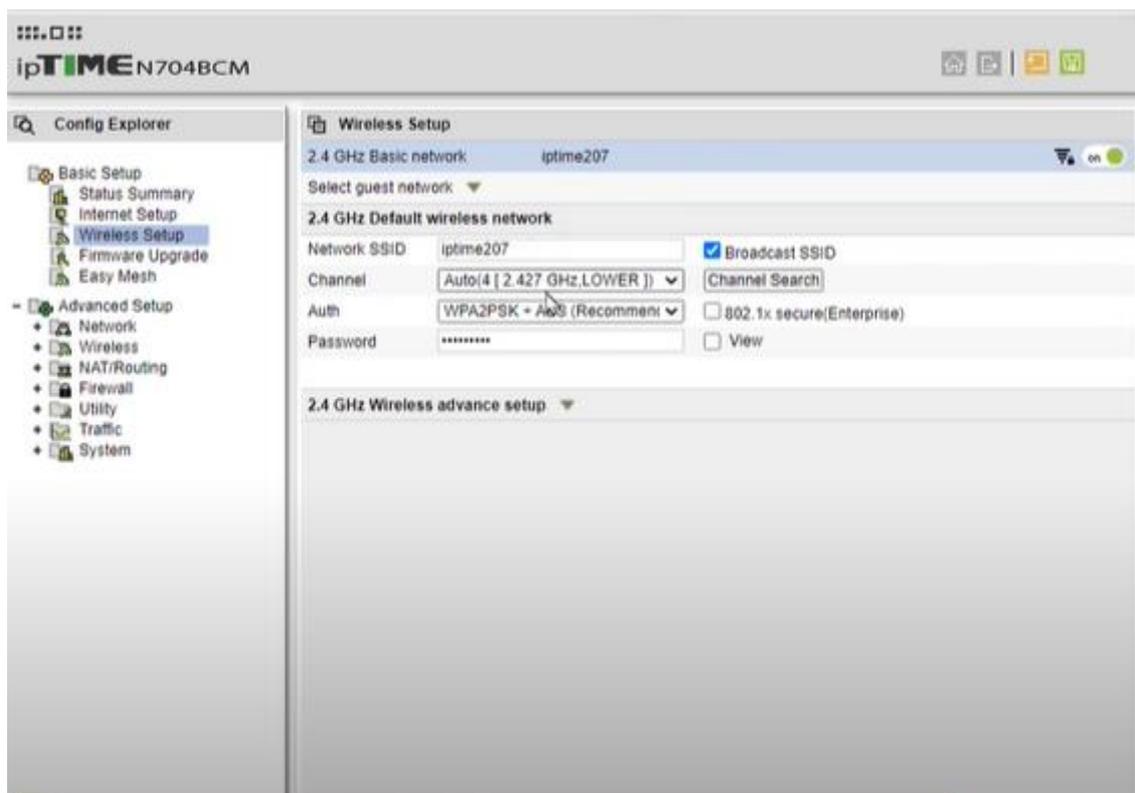
Figura 57 - Procedimento de mudança de idioma do roteador



FONTE: PRÓPRIA

O quarto passo é a escolha do nome da rede Wireless. No lado esquerdo da tela abre-se a seção Wireless Setup e no campo Network SSID digita-se o nome escolhido. O nome padrão pode ser visto na Figura 58, mas o nome utilizado nesse projeto foi “vm07_palletizer”.

Figura 58 - Wireless Setup do roteador



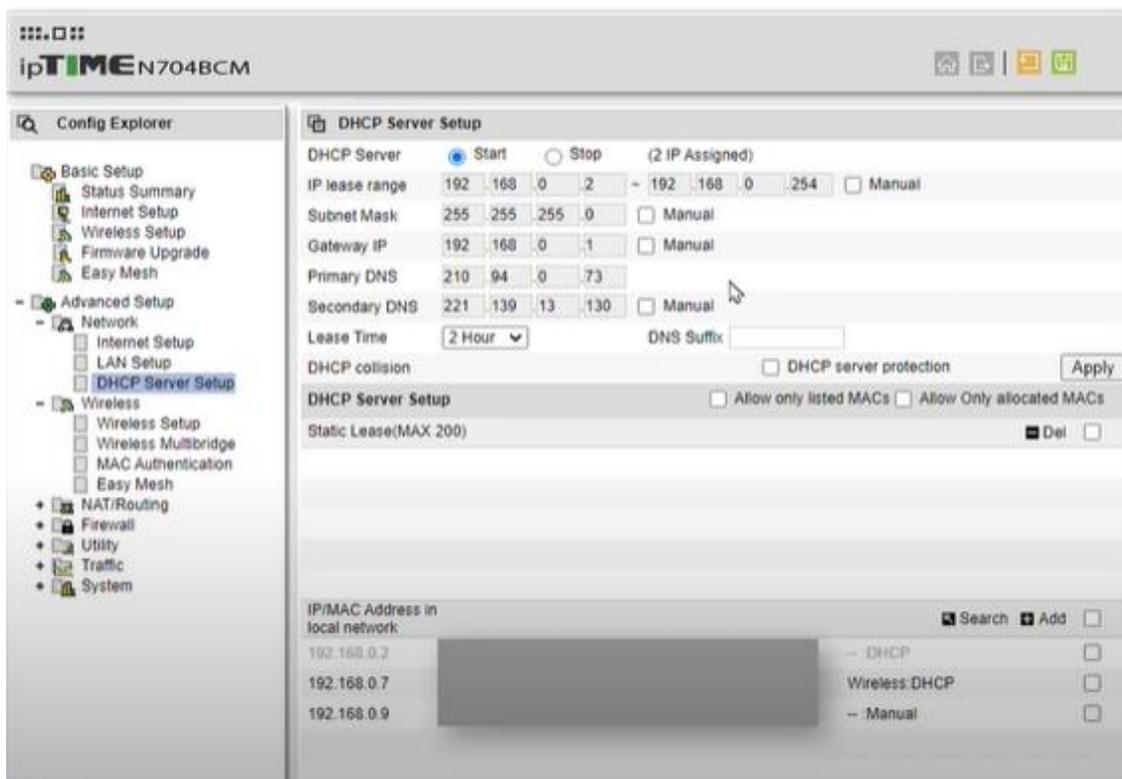
FONTE: PRÓPRIA

O último passo é a definição do IP e da Subnet Mask. Para esse projeto manteve-se o padrão de fábrica, dessa forma manteve-se os padrões de IP já existentes na linha de produção. Assim, as configurações do roteador são:

IP: 192.168.0.1

Subnet Mask: 255.255.255.0

Figura 59 - Definição de IP do roteador



FONTE: PRÓPRIA

3.3.2 Controlador Lógico Programável

O CLP utilizado é o FX5UC-32MT/DS-TS fabricado pela Mitsubishi, e o software de programação é p GXWorks 3. O primeiro parâmetro a ser definido é o IP do controlador.

Com o CLP ligado, conecta-se à CPU do mesmo usando a entrada Ethernet. Com o novo projeto criado no software, seleciona-se no lado esquerdo da tela as seguintes seções:

Parameter > Module Parameter > Ethernet Port

A tela de configuração do ip pode ser vista na Figura 60. As configurações de comunicação estabelecidas foram:

IP Adress: 192.168.0.20

Subnet Mask: 255.255.255.0

Default Gateway: 192.168.0.1

Communication Data Code: ASCII

Figura 60 - Definição de IP do Controlador

Item	Setting
Own Node Settings	
IP Address	
IP Address	192.168.0.20
Subnet Mask	255.255.255.0
Default Gateway	192.168.0.1
Communication Data Code	ASCII
External Device Configuration	
External Device Configuration	<Detailed Setting>

FONTE: PRÓPRIA

Nessa mesma tela é feita a configuração de dispositivos externos. É nessa seção que se estabelece os critérios de comunicação com a IHM. O método de comunicação padrão é o protocolo SLMP. O protocolo de ligação é definido pelo usuário, e para esse projeto foi usado o protocolo UDP.

Os dados do CLP são o IP, já definido como 192.168.0.20 e o Port No. que é 1025. Por fim, o IP da IHM é estabelecido como 192.168.0.21.

Figura 61 - Configuração de dispositivos externos

No.	Model Name	Communication Method	Protocol	Fixed Buffer Send/Receive Setting	PLC		ensor/Device
					IP Address	Port No.	MAC Address
	Host Station				192.168.0.20		
1	SLMP Connection Module	SLMP	UDP		192.168.0.20	1025	

Host Station Connected Count :1

SLMP Connection Modu

FONTE: PRÓPRIA

A configuração do CLP se encerra com o download desses parâmetros para a CPU e reset do controlador.

3.3.3 Interface Homem- Máquina

No software GP- PRO EX Version V4.09.120, os dados inseridos são o fabricante do CLP (Mitsubishi), a série e o protocolo de ligação, já estabelecido como UDP. O Port No. também já foi estabelecido como 1025, restando apenas configurar na IHM o IP já definido.

Assim, o procedimento é finalizado gravando-se essas alterações na IHM.

Figura 62 - Configuração IHM

The screenshot displays the configuration interface for a Mitsubishi PLC. The main window is titled "Device/PLC" and contains the following sections:

- Device/PLC 1**: A header for the selected device.
- Summary**: Contains fields for Manufacturer (Mitsubishi Electric Corporation), Series (Q/QnA Series Ethernet), and Port (Ethernet (UDP)). A "Change Device/PLC" link is visible.
- Text Data Mode**: Set to 2, with a "Change" link.
- Communication Settings**: Includes dropdown menus for Port No. (1025), Timeout (3 sec), and Retry (2), along with a "Wait To Send" field (0 ms) and a "Default" button.
- Device-Specific Settings**: Shows the "Allowable Number of Devices/PLCs" as 32, with an "Add Device" link.
- Device List**: A table with columns "No.", "Device Name", and "Settings". The first entry is "1", "PLC1", and "Series=Q/QnA Series,IP Address=192.168.000.020,Pc". An "Add Indirect Device" link is also present.

FONTE: PRÓPRIA

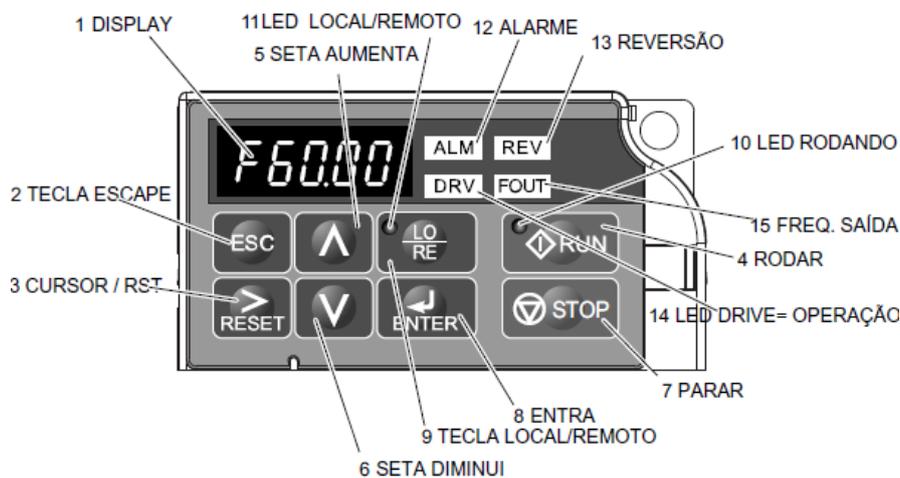
3.3.4 Inversores

Os inversores possuem parâmetros ajustados pelo usuário que coordenam o funcionamento do motor.

O acesso aos parâmetros é feito pressionando a seta para baixo até aparecerem as letras "PAR" no display. Ao pressionar "enter" o display mostra os parâmetros que estão disponíveis para alteração.

A tela de navegação para acessar os comandos e demais recursos dos inversores Yaskawa pode ser vista na Figura 63.

Figura 63 - Comandos do inversor Yaskawa



FONTE: (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION, 2008)

Os parâmetros utilizados nesse projeto estão na Tabela 6. Alguns motores possuem configurações diferentes dos outros, por essa razão seus ajustes estão individualizados em colunas.

Tabela 6 - Parâmetros dos inversores

No.	Nome	Descrição	Ajuste Motor acumulador	Ajuste Motor empurrador	Ajuste Motor paletizador
b1-01	Referência de Frequência	Seleciona a fonte da Referência: 0: Pelo Teclado Operador ou Memórias Digitais (d1-01 a d1-08) 1: Pelos Terminais - Entrada Analógica A1 2: MEMOBUS/Modbus comunicação serial (opção) 3: Potenciômetro Frontal (opção)	0	0	0
b1-08	Permissão de rodar no modo Programação	0: Comando Rodar só é aceito no modo Operação. 1: Comando Rodar é aceito sempre. 2: Proíbe entrar em Programação durante Rodar	1	1	1
b1-14	Sequência de Fases de Saída	Troca a sequência de fases U-V-W para o motor (inverte o sentido)	0	1	0

		0: Normal 1 : Troca a ordem das fases			
C1-01	Aceleração (seg.) (Rampa - 1)	Ajusta o Tempo (seg.) para Acelerar de Zero até a Freq. Máxima .	0,3 s	0,3 s	0,3 s
C1-02	Desaceleração (seg.) (Rampa- 1)	Ajusta o Tempo (seg.) para Desacelerar da Máxima Freq., até Zero.	0,3 s	0,3 s	0,3 s
C4-01	Ganho da Compens. Autom. do Torque	Aumenta o Ganho do Reforço Automático no Torque (V-Boost) Produz melhor Torque de Partida. Aumente um pouco o valor quando o cabo do Motor for muito longo, ou se o motor for muito menor que a capacidade do Inversor. Diminuir se Ocorrer Vibração Verifique se a Corrente em Baixa Rotação não Excede a Nominal.	2	1	1
d1-01	Frequência Referencia 1	Referência de Frequência Digital Principal	60 Hz	22 Hz	60 Hz
d1-02	Frequência Referencia 2	Frequência de referência quando a entrada Multivel-1 for ativa 1" (H1-00 = 3).	20 Hz	Não se aplica	Não se aplica
L3-04	Prot. Anti-Estol Durante Decel. Ou Frenag.Sobre- Excit.	Se usar Resistor de Frenagem, ajuste para "0". 0: Desabilitado: O Inversor desacelera na Rampa Programada e se a Inércia da Carga for muito pesada, há o desarme por SobreTensão (Falha O.V.) Over-Voltage no Barramento CC 1: Uso Geral-O Inversor desacelera na rampa ativa, e se a tensão no barramento CC atinge o nível de Estol,a desaceleração pausa até que a tensão volte ao nível abaixo da proteção anti-Estol 4: Desaceleração inteligente ,por Sobre-Excitação: Desacelera com o nível de sobre-excitação definido em n3-13 (Overexcit.Gain).	1	Não se aplica	Não se aplica

L8-01	Proteção para o Resistor de Frenagem Dinâmica tipo (ERF)	Seleciona proteção do Resistor de 3% no dissipador de calor. Este Parâmetro não desabilita o Transistor de Frenagem Interno. 0: Proteção de Sobreaquecimento desativada 1: Proteção de Sobreaquecimento Ligada	1	Não se aplica	Não se aplica
-------	--	--	---	---------------	---------------

FONTE: (YASKAWA ELECTRIC CORPORATION, 2008)

3.4 PROGRAMAÇÃO

A programação consiste na implementação do código de funcionamento da máquina no controlador. Esse projeto conta com uma IHM como recurso de comando e monitoramento, a qual também precisa ser programada de forma a ter seus endereços organizados com os do CLP e demais dispositivos do sistema.

3.4.1 Programação da IHM

A interface homem-máquina pode contar com diversos recursos para facilitar a compreensão do operador. Dentre esses recursos estão botões, lâmpadas de indicações, divisões de tela e barras de status. A IHM utilizada nesse projeto conta com 5 telas.

3.4.1.1 Tela 1 (Monitoramento – quantidade de caixas)

A primeira dessas telas é a de monitoramento, que pode ser vista na Figura 64. O cabeçalho principal contém o nome da máquina e a linha de produção em que a mesma está sendo colocada. No lado superior esquerdo estão o nome da rede, definido na configuração do roteador, o IP do CLP e da IHM.

Os três quadros centrais são displays de mensagens. Esses displays mostram a numeração contida em uma Word de 16 bits, cuja informação vêm de um registrador da lógica do CLP. Em suma, o número contido no registrador presente na lógica do CLP é mostrado ao usuário.

Figura 64 – Tela 1 - IHM (monitoramento)



FONTE: PRÓPRIA

Abaixo do terceiro quadro está a lâmpada de contagem atingida, que é programada para acender quando a contagem máxima estabelecida pelo usuário for atingida. As lâmpadas consistem apenas em uma memória a ser acionada na lógica do CLP que modifica seu status segundo a programação do usuário.

Os botões presentes nessa tela são de dois tipos: *bit switch* e mudança de tela. Os primeiros possuem endereços que são inseridos na lógica do CLP e desempenham funções de comando nesse código, ao passo que os últimos fazem apenas a função de navegação entre uma tela e outra da IHM, sem interferir no funcionamento da máquina.

Tabela 7 - Descrição das funções - tela 1

Descrição	Função	Recurso na lógica do CLP	Endereço na lógica
Modelo	Exibir o modelo de aparelhos funcionando atualmente na máquina.	Registrador	D10
Capacidade do Pallet (cx)	Capacidade máxima de caixas em cada pallet definida pelo usuário	Registrador	D70
Contagem atual (cx)	Contagem em tempo real da quantidade de caixas presentes na máquina.	Registrador	D18
Incrementa contador	Adiciona +1 ao valor do contador da contagem atual de caixas.	Bit switch - memória	M7
Contagem atingida	Mostrar ao usuário que a contagem máxima de caixas foi atingida	Lamp feature - memória	M6
Setup/comandos	Vai para a tela de setup/comandos	N/A	
Manual	Vai para a tela do modo manual		
I/O	Vai para a tela de entradas e saídas		

FONTE: PRÓPRIA

Por fim essa tela conta com uma barra de status. É nesse campo que o usuário recebe da máquina cada status do seu funcionamento. Esse tipo de message display possibilita que o usuário programe a lógica do CLP para mover bits para determinado registrador e estabelecer uma mensagem escrita para cada número.

Tabela 8 - Informações da barra de status

Barra de status - registrador: D05	
Mensagem	Bit
Home ok	0
Máquina pronta para início	1
Emergência acionada	2
Stop	3
Fazer home novamente	4
Paletizador cheio	5

Dispensando aparelhos para pallet	6
Empurrador não avançou	7
Máquina em espera	8
Link de entrada bloqueado	9
Empurrador não retornou	10
Máquina em operação	11
Acumulando aparelhos	12
Checar se as caixas bateram - tempo de espera elevado	13

FONTE: PRÓPRIA

3.4.1.2 Tela 2 (Setup/Comandos)

A tela 2 também conta com o mesmo cabeçalho e os dados de rede da tela anterior. Os comandos nessa tabela aparecem em quantidade maior. O botão “link de entrada” serve para “forçar” o link enviado pela máquina anterior na linha de produção, em ocasiões em que a mesma esteja sob manutenção e não se possa parar a produção.

O botão “dispensa caixas p/ pallet” tem a função de fazer as caixas saírem da seção do paletizador para o pallet, caso os cilindros estejam recuados no nível do mesmo. Tem a mesma função dos botões colocados próximos do colaborador responsável pelo transporte do pallet na expedição.

Os botões retorna/avança empurrador são usados quando o empurrador não atua automaticamente. Esses botões permitem que a máquina faça o processo normalmente, pulando para o próximo ciclo e possibilitando que o setor de manutenção verifique o porquê do empurrador não ter atuador. O objetivo é fazer o reparo sem que a produção pare.

O botão “expulsa caixas”, por sua vez, é usado principalmente durante a mudança de modelos, caso ainda haja algum aparelho do modelo previamente produzido na máquina e seja necessário retirá-lo de lá para iniciar a produção do novo modelo.

O sexto botão de comando é o “zera contador”, e tem a função de forçar o reinício da contagem atual de caixas na máquina, presente na tela 1.

O botão logo abaixo desse é o botão “inicia home”, e é responsável por comandar o processo de home da máquina, isto é, ajustes iniciais necessários ao início da produção.

Por fim, há o botão de bloqueia link de entrada. Esse botão é utilizado pela manutenção em ocasiões em que a máquina apresenta problemas e não se deseja permitir a entradas de novos aparelhos no equipamento até que a falha seja reparada.

Os botões start, stop e reset são os responsáveis respectivamente por iniciar a máquina, pará-la e resetá-la em ocasiões em que o sistema de segurança atuar. A chave “manual/auto” no canto esquerdo inferior da tela é responsável por colocar a máquina em modo manual ou em modo automático.

No lado direito estão os registradores responsáveis pelos setups e configurações de funcionamento. O primeiro deles é onde o operador faz a seleção do modelo que a linha irá produzir, fazendo com que a máquina se prepare para operar segundo as configurações previamente estabelecidas para ele. Os modelos são 55”, 58”, 65”, 70”, 75”, 81” e 85”.

Após essa confirmação do modelo a ser produzido o operador seleciona nos registradores abaixo a contagem máxima de caixas por pallet e o deslocamento em ms (milissegundos) do empurrador. O primeiro setup se faz necessário por causa da diferença de espessura entre as caixas de cada modelo, fazendo com que alguns sejam paletizados em 4 caixas por pallet e alguns em 5. O segundo setup, por sua vez, define o tempo que o empurrador levar para avançar empurrando a caixa sobre o acumulador de modo que se abra espaço para o próximo aparelho entrar.

Tabela 9 - Descrição das funções - tela 2

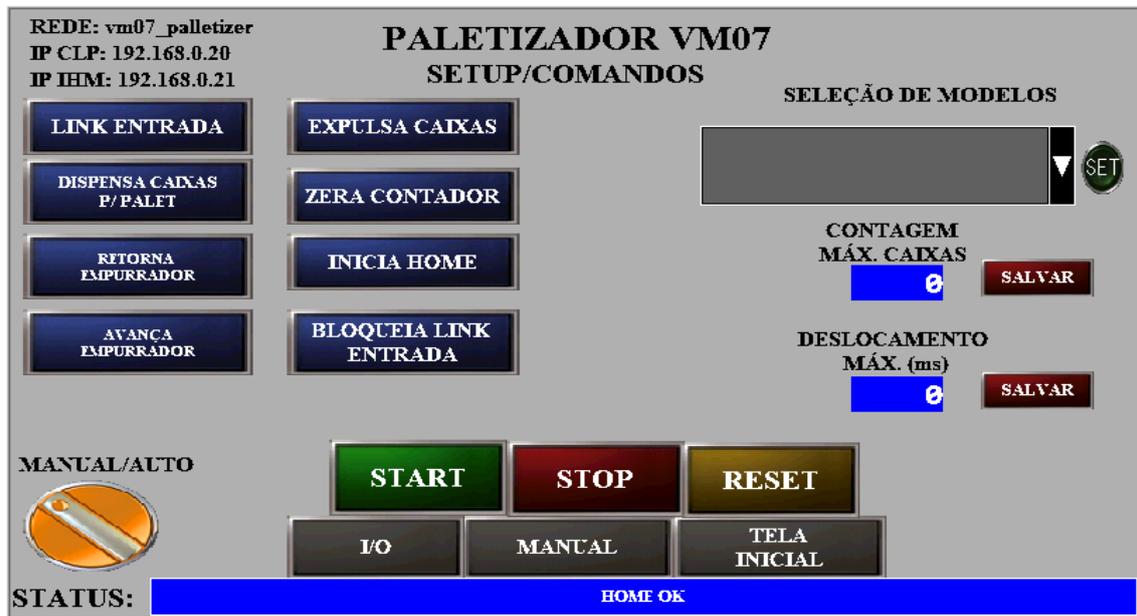
Descrição	Função	Recurso na lógica do CLP	Endereço na lógica
Link entrada	Força link de entrada na máquina, fornecido pelo equipamento anterior quando o processo dele é terminado.	Bit switch - entrada	X26
Dispensa caixas p/pallet	Comanda a saída das caixas do paletizador para o pallet.	Bit switch - entrada	X22
Retorna empurrador	Força retorno do motor empurrador para a posição de origem.	Bit switch - memória	M70
Avança empurrador	Força avanço do motor empurrador para a posição de origem.	Bit switch - memória	M80
Expulsa caixas	Retirar da máquina as caixas que, porventura, ainda estejam sobre o acumulador independentemente se a quantidade máxima do pallet já fora atingida.	Bit switch - memória	M4

Zera contador	Força reinício da contagem atual de caixas	Bit switch - memória	M5
Inicia home	Faz com que a máquina inicie o processo de home	Bit switch - memória	B0
Bloqueia link de entrada	Bloqueia a entrada de produtos no equipamento	Bit switch - memória	M9
Manual/auto	Coloca a máquina em modo manual ou automático	Bit invert - memória	M3
Start	Faz com que a máquina inicie sua operação caso o processo de home já tenha sido finalizado	Bit switch - memória	M0
Stop	Para a máquina	Bit switch - memória	M1
Reset	Reset das condições de emergência	Bit switch - memória	M2
Seleção de modelos	Local para o usuário escolher os modelos que a linha vai produzir	Registrador	D10
Contagem máx. De caixas	Local onde o usuário determina a quantidade máxima de caixas por pallet para aquele modelo	Registrador	D40
Deslocamento máx (ms)	Local onde o usuário determina o tempo máximo de avanço do empurrador, para abertura de espaço para entrada de novo produto na máquina.	Registrador	D42

FONTE: PRÓPRIA

Os outros botões são os de mudança de tela, presentes em todas as telas da IHM, e a barra de status, que contém as mesmas informações da tela 1.

Figura 65 - Tela 2 - IHM (setup/comandos)



FONTE: PRÓPRIA

3.4.1.3 Tela 3 (Visualização das Entradas)

A tela 3 também é utilizada para monitoramento do usuário. Essa tela contém todas as entradas físicas do equipamento. Cada entrada é representada por uma lâmpada com o mesmo endereço, e assim cada vez que esse dispositivo da entrada envia um sinal para o CLP a lâmpada acende.

Figura 66 - Tela 3 - IHM (entradas)



FONTE: PRÓPRIA

3.4.1.4 Tela 4 (Visualização das Saídas)

Essa tela tem o mesmo propósito da anterior, mudando apenas de entradas para as saídas. O monitoramento é feito segundo a Figura 67.

Figura 67 - Tela 4 - IHM (saídas)



FONTE: PRÓPRIA

3.4.1.5 Tela 5 (Acionamentos Manuais)

A última tela é a tela do modo manutenção ou manual. Nessa tela é possível fazer os acionamentos de todas as partes da máquina desde que a mesma esteja em modo manual.

Figura 68 - Tela 5 - IHM (modo manual/manutenção)



FONTE: PRÓPRIA

3.4.2 PROGRAMAÇÃO DO CLP

O controlador lógico programável foi programado em linguagem Ladder por meio do software GXWorks 3. A rotina MAIN é do tipo *Program Block* e foi dividida em 6 sub-rotinas para facilitar a navegação pelo usuário, dentre as quais:

- 1) MANUAL;
- 2) IHM_SEG_SINALIZAÇÃO;
- 3) HOME;
- 4) AUTOMÁTICO;
- 5) ACIONAMENTOS;
- 6) SAÍDAS.

A programação partiu de alguns pressupostos, com o intuito de atender às solicitações da produção, da manutenção e de normas de segurança, principalmente a NR-12.

- 1) Cada vez que o botão de emergência é acionado a máquina para todos os processos imediatamente;
- 2) Cada vez que o botão de emergência é acionado a máquina só pode ser recolocada em funcionamento caso o botão seja destravado, a condição perigosa removida e o botão de reset pressionado;
- 3) Cada vez que o botão de emergência é pressionado faz-se necessário refazer o processo de home;
- 4) O botão start inicia a máquina depois que o processo de home tiver sido finalizado;
- 5) O botão de stop para a máquina instantaneamente e quando o processo é reiniciado continua do ponto onde parou;
- 6) As sinalizações são acionadas conforme o funcionamento da máquina e de acordo com o padrão estabelecido pela empresa.

3.5 TESTES E AVALIAÇÕES

Esse estágio do projeto é o último antes da entrega definitiva para o processo. É nessa fase que os últimos ajustes são feitos além de todas as adaptações necessárias para o bom andamento da produção com o mínimo de paradas possível.

3.5.1 MODO MANUAL

Os testes preliminares são feitos em modo manual. Isso acontece porque dessa forma é possível verificar se os dispositivos de comando físicos estão ligados corretamente e se o CLP está recebendo em suas entradas os sinais desses dispositivos e da IHM. No modo manual é possível também acionar as saídas e verificar se estão ligadas do jeito planejado ou invertidas. Os comandos utilizados para os testes manuais foram os da Figura 68.

Para o caso dos motores verifica-se se os mesmos estão girando no sentido correto, caso não estejam, inverte-se a rotação alterando-se o parâmetro B1-14 no inversor (Tabela 6). No caso do motor empurrador observa-se se o mesmo gira nos dois sentidos, porque precisa fazer o movimento de ida e volta, e também se os sensores limitadores de movimento estão atuando, a fim de evitar danos na estrutura mecânica.

Os cilindros, por sua vez, precisam fazer o movimento de avanço e recuo e para esse teste verifica-se apenas se a saída correta do CLP está acionando o lado da válvula que deveria.

As demais saídas são apenas LEDs e demais recursos de sinalização. Os testes acontecem apenas acionando as saídas e verificando se as lâmpadas acendem.

Com todos os componentes sendo acionados corretamente, a fase de ajustes iniciais termina com o ajuste dos sensores. Para os sensores de barreira ajusta-se o posicionamento, colocando o emissor de frente para o receptor e também a sensibilidade de detecção. O sensor difuso tem sua sensibilidade ajustada para detectar objetos até determinada distância enquanto que os sensores indutivos são utilizados para detectar metais e foram posicionados para monitorar o avanço e o recuo dos cilindros da máquina.

3.5.2 MODO AUTOMÁTICO

Nessa etapa a máquina é observada durante a produção e ajustes vão sendo feitos sem interrupções. Inicialmente verifica-se o envio e o recebimento de links entre a máquina anterior e a de paletização. Esses links são trocas de informação; quando a máquina anterior finaliza seu processo envia link para a máquina de paletização dizendo que há produto acabado pronto para ser enviado, e a máquina de paletização, se estiver em condições, informa a máquina anterior que pode mandar a caixa.

Uma vez que os links estão estabelecidos observa-se se a sequência de operação, tempo de ciclo, erros de programação ou parametrização.

No âmbito operacional, verifica-se facilidade do setup para o operador, condições de monitoramento, segurança e sinalização e formas de permitir que a manutenção tenha condições de intervir durante falhas sem que a produção seja prejudicada por longos períodos de parada de linha.

4 RESULTADOS

Esse projeto tem por objetivo desenvolver um sistema que faça o processo de paletização de caixas de forma automática, proporcionando um aumento na capacidade de produção da linha e uma diminuição do esforço e da quantidade de operadores envolvidos.

4.1 PROCESSO

O desenvolvimento da máquina de paletização é uma das ações de uma série de modificações feitas na linha de produção com o intuito de aumentar a capacidade. No processo antigo, a capacidade de produção diária era limitada a 500 aparelhos, e após a alteração, a quantidade máxima de aparelhos que pode ser produzida por dia subiu para 2500.

Isso é decorrência – dentre outros fatores – do melhor aproveitamento do tempo de processo. O processo de acúmulo leva aproximadamente 8 segundos por caixa para ser feito. O mesmo tempo é necessário para que as caixas cheguem até a saída da máquina para serem paletizadas. Anteriormente, o processo de paletização levava aproximadamente 10 segundos para ser concluído, mas era feito de forma unitária e demandava até 3 operadores, diminuindo a eficiência do processo.

O processo de acúmulo pode ser visto na Figura 69. O empurrador avança até que a próxima caixa tenha espaço para entrar e então recua, até que a quantidade máxima de caixas seja atingida.

Figura 69 - Acúmulo



FONTE: PRÓPRIA

Quando a quantidade de caixas é atingida, as mesmas seguem até a parte de paletização conforme Figura 70.

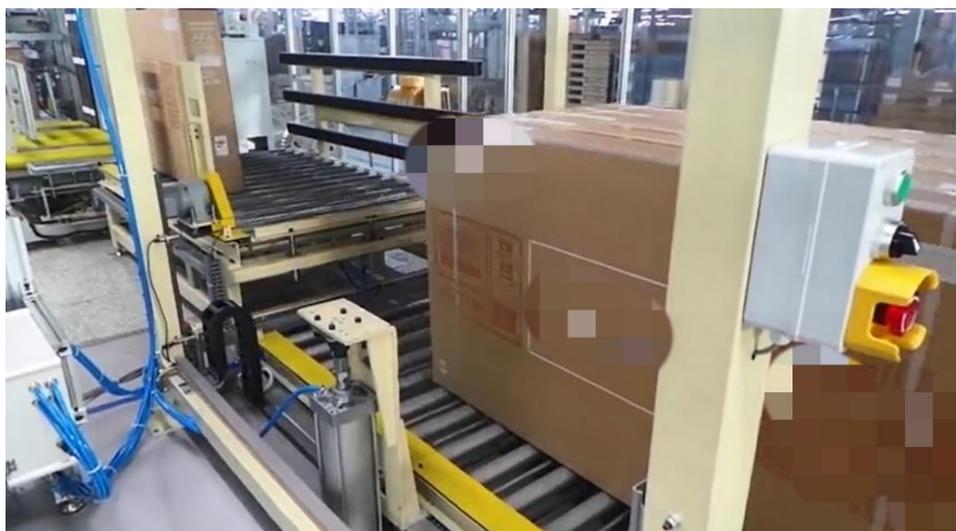
Figura 70 - Paletizador



FONTE: PRÓPRIA

Ao chegar aos sensores limitadores, as caixas são postas no nível do pallet quando os cilindros recuam.

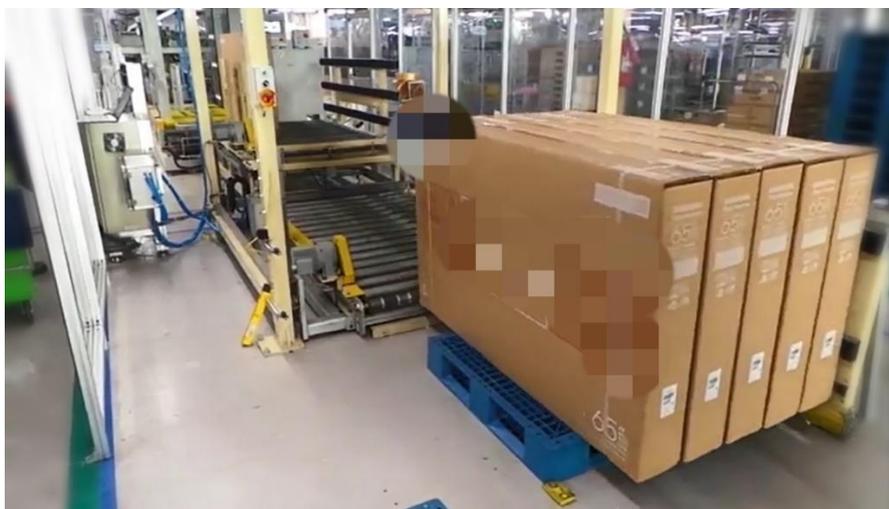
Figura 71 - Caixas prontas para serem postas no pallet



FONTE: PRÓPRIA

Sob solicitação do operador as caixas são dispensadas pela máquina sobre o pallet.

Figura 72 - Caixas prontas para transporte



FONTE: PRÓPRIA

Esses ganhos de produção e tempo foram possíveis devido à possibilidade de acumular todas as caixas uma única vez, suplantando o processo anterior que consistia em organizar as caixas sobre o pallet por unidade, conforme os aparelhos iam sendo produzidos. Devido ao tamanho dos aparelhos, era necessário que duas pessoas fizessem esse processo e uma terceira removesse o pallet cheio e o transportasse até a expedição.

A implementação do projeto possibilitou também ganhos adicionais no âmbito operacional.

4.2 OPERACIONAL

Ergonomicamente obtiveram-se melhorias no processo. Anteriormente eram necessárias duas pessoas para organizar os aparelhos conforme iam sendo produzidos, os quais chegam a pesar até 70 quilos. Uma terceira pessoa tinha que remover o pallet cheio e transportá-lo até a expedição.

O processo anterior iniciava com a esteira de saída em cima, no mesmo nível da máquina anterior. Ao chegar no sensor de limite da esteira, o atuador pneumático recuava e a caixa ficava no nível do pallet.

Figura 73 - Início do processo anterior



FONTE: PRÓPRIA

Ao ficar no nível do pallet, o operador tinha que atuar puxando a caixa para o pallet. No caso de aparelhos muito grandes eram necessários dois operadores para realizar a atividade.

Figura 74 - Paletização manual



FONTE: PRÓPRIA

O processo se repete até o pallet ficar completo, e então um outro operador o remove e o transporta até a expedição para inspeção final.

Figura 75 - Transporte de pallet



FONTE: PRÓPRIA

O primeiro operador tinha então, que se deslocar para buscar outro pallet vazio, acumulando atividades e diminuindo a eficiência do processo.

Figura 76 - Reposição de pallets



FONTE: PRÓPRIA

Após a modificação, apenas uma pessoa é necessária para a atividade, cuja função é retirar o pallet cheio e substituí-lo por um vazio. A medida, além de diminuir esforço, repetitividade e quantidade de pessoas, possibilitou uma redução no tempo do processo, conforme explicitado na seção anterior.

CONCLUSÃO

Diante dos dados expostos e de todos os resultados, é possível concluir que foi possível implementar o projeto de forma satisfatória. Após o período de testes e todas as integrações com o sistema mecânico o equipamento atendeu todas as expectativas técnicas e de processo com êxito, trazendo redução no tempo, maior autonomia e permitindo que o processo de operação manual seja suplantado por um processo mais confiável e imprescindível para que a demanda solicitada seja atingida, possibilitando que os operadores previamente utilizados nessa atividade sejam deslocados para outra e contribuam para a diminuição de outros pontos críticos.

Essa redução de operadores diretamente envolvidos no processo representou uma redução no risco ergonômico da atividade, visto que a repetitividade é nociva ao trabalhador, bem como o esforço aplicado na tarefa, uma vez que os aparelhos têm peso elevado. A nova rotina de trabalho demanda um único operador para fazer o transporte dos pallets.

O principal desafio observado durante o desenvolvimento do projeto foi a parte de testes. Esse procedimento aconteceu diretamente na linha de produção, uma vez que o tempo para instalação do equipamento era reduzido por causa da alta demanda de produção. Os ajustes de programação, posicionamento de sensores e do sistema mecânico foram feitos concomitantemente com a produção, exigindo atenção para que nenhum aparelho fosse danificado e previsibilidade do código considerando-se possíveis alterações e interferências humanas.

Para melhorias futuras é possível implementar uma sincronização do equipamento com veículos autoguiados (AGV), visando a limitar a atuação do operador apenas à organização dos pallets para inspeção final, retirando-o do processo de transporte até esse local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, 1996. *NBR 13759*. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT, 1998. *NBR 5361*. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

ABNT, 2004. *NBR 5410*. Rio de Janeiro: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

CAVALIN, G. & CERVELIN, S., 2006. *Instalações Elétricas Prediais*. 14° ed. São Paulo: Érica.

CAZER, A. D. O., ALTOÉ, A. V. & JÚNIOR, Â. P., 2005. Sensores ópticos de passagem e medição de distância. *Universidade de Brasília - UnB*; junho.

CBPF, 2020. *UDP - ASPECTOS DE SEGURANÇA*. [Online] Available at: <http://www.cbpf.br/~sun/pdf/udp.pdf> [Acesso em 05 Janeiro 2022].

CHAPMAN, S. J., 2013. *Fundamentos de máquinas elétricas*. 5° ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda.

CREDER, H., 2016. *Instalações Elétricas*. 16 ed. Rio de Janeiro: LTC.

da Silva, P. H. D. & Júnior, N. A., 2014. Ferramenta IPERF: geração e medição de tráfego TCP e UDP. *NOTAS TÉCNICAS - CBPF*, 4(2), pp. 1-13.

EAO, 2016. *DESIGN CONSIDERATIONS FOR EFFECTIVE HUMAN MACHINE INTERFACES*. [Online] Available at: https://eao.com/fileadmin/documents/PDFs/en/08_whitepapers/EAO_WP_HMI-Systems_EN.pdf [Acesso em 04 Janeiro 2022].

Ferdaus, J. & Salihi, R., 2015. Routing: Internet Routing Protocols and Algorithms. *Asian University for Women*, Setembro.

FRANCHI, C. M., 2009. *Inversores de frequência: Teoria e Aplicações*. 2° ed. São Paulo: Érica.

FRANCHI, C. M. & DE CAMARGO, V. L. A., 2008. *Controladores Lógicos Programáveis: Sistemas Discretos*. 2° ed. São Paulo: Érica.

FULLOHM, 2018. *Metal Clad Resistor*. [Online] Available at: http://fullohm.co.kr/2018/board/bbs/board.php?bo_table=eng_product1_1_1&wr_id=5 [Acesso em 19 Janeiro 2022].

GELK, A. G. & DE BARROS, R. G. P., 2020. *Estudo Sobre Frenagem Regenerativa de Motores de Indução Trifásicos*. [Online] Available at: <https://biblioteca.inatel.br/cict/acervo%20publico/sumarios/Artigos%20de%20TCC/TC C%20Gradua%C3%A7%C3%A3o/Engenharia%20de%20Controle%20e%20Automa%C3%A7%C3%A3o/2020/TCC%20Estudo%20Sobre%20Frenagem%20Regenerativa%20de%20Motores%20de%20Indu%C3%A7%C3%A3o%20Trif%C3> [Acesso em 19 Janeiro 2022].

Keshav, S. & Sharma, R., 1998. Issues and Trends in Router Design. *IEEE Communications Magazine*, pp. 144-151.

MENDES, R. F., 2013. Utilização de sensores para uma seladora automática de tabuleiros de damas. *13º Congresso Nacional de Iniciação Científica*.

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION, 2019. *MELSEC iQ-F FX5UC CPU Module Hardware Manual*. [Online] Available at: [https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plcf/jy997d61001\(e\)/jy997d61001\(e\)g.pdf](https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/manual/plcf/jy997d61001(e)/jy997d61001(e)g.pdf) [Acesso em 12 Janeiro 2022].

MITSUBISHI ELECTRIC, 2020. *MELSEC IQ-F - FX5 User's Manual (SLMP)*. [Online] Available at: https://www.allied-automation.com/wp-content/uploads/2015/05/MITSUBISHI_manual_plc_fx5_slmp.pdf [Acesso em 06 Janeiro 2022].

MITSUBISHI ELECTRIC, 2021. *CLP - Ethernet (MELSEC iQ-R Series)*. [Online] Available at: https://www.mitsubishielectric.com/fa/assist/e-learning/pdf/por/1-Ethernet_iQ-R_fod_por.pdf [Acesso em 05 Janeiro 2022].

MODENA, V. J., 2018. *ESTUDO DE APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM SISTEMAS DE ELEVAÇÃO DE CARGA DO TIPO TALHA ELÉTRICA*. [Online] Available at: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/3779/TCC%20Vinicius%20Jose%20Modena.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Acesso em 19 Janeiro 2022].

Moraes, C. C. d. & Castrucci, P. d. L., 2010. *Engenharia de automação Industrial*. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC.

Moreira, C. A., 2020. *LINGUAGEM LADDER APLICADA A PROFISSIONAIS DA CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO*, Assis: Fundação Educacional do Município de Assis.

MTE, 2010. *NR12*. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego.

Neves, C., Duarte, L., Viana, N. & Lucena Jr., V. F. d., 2007. OS DEZ MAIORES DESAFIOS DA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL: AS PERSPECTIVAS PARA O FUTURO.. *II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica*.

NR12 SEM SEGREDOS, 2020. *Blog NR-12 sem segredos*. [Online] Available at: <https://www.nr12semsegredos.com.br/barreira-optica-para-nr12/> [Acesso em 04 Janeiro 2022].

PETRUZELLA, F. D., 2014. *Controladores lógicos programáveis*. 4° ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda.

RASHID, M. H., 2014. *Eletrônica de potência. Dispositivos, circuitos e aplicações*. 4° ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil.

Rocha, S. T. K., 2021. *MODELO DE REFERÊNCIA PARA INTERFACE HOMEM MÁQUINA NO CLP*, JOINVILLE: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.

ROCKWELL AUTOMATION, 2020. *Allen Bradley - Rockwell Automation*. [Online] Available at: <https://ab.rockwellautomation.com/pt-pt/products/hardware/allen-bradley/motor-control/control-and-load-switches/194l-control-and-load-switches.html> [Acesso em 04 Janeiro 2022].

SAMWON ACT, 2013. *IO LINK Best Wiring Solution*. [Online] Available at: <http://samwonact.cafe24.com/02/02.php?idx=52&p=7&key=&keyword=&bbscode=cad&reCategory=IOLINK&kind=view&PHPSESSID=5a67b8e4c4403edaed761c93fdcf5f36> [Acesso em 12 Janeiro 2022].

SCHMERSAL, 2019. *Schmersal - The DNA of Safety*. [Online] Available at: <https://nr12.schmersal.com.br/pagina.php?t=dispositivos-de-parada-de-emergencia> [Acesso em 04 Janeiro 2022].

SILVEIRA, C. B., 2016. *Como Funciona a Linguagem LADDER*. [Online] Available at: <https://www.citisystems.com.br/linguagem-ladder/> [Acesso em 01 Janeiro 2022].

TEIXEIRA, R. C. M., 2019. *IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE EMBALAGEM DE FITAS ADESIVAS PARA UMA INDÚSTRIA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS*. [Online] Available at: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/bitstream/riuea/2166/1/Implementa%C3%A7%C3%A3o%20de%20um%20sistema%20autom%C3%A1tico%20de%20embalagem%20de%20fitas%20adesivas%20para%20uma%20ind%C3%BAstria%20do%20polo%20industrial%20de%20Manaus.pdf> [Acesso em 28 Dezembro 2021].

UMANS, S. D., 2014. *Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley*. 7° ed. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda.

Vilela, P. S. d. C. & Vidal, F. J. T., 2003. *Automação Industrial. DCA - Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Maio, pp. 1-5.

YASKAWA ELECTRIC CORPORATION, 2008. *YASKAWA DRIVE J1000 - MANUAL DE REFERÊNCIA RÁPIDA*. [Online] Available at: https://catalogo.yaskawa.com.br/Asset/MAN_PORT_J1000.pdf [Acesso em 11 Janeiro 2022].

APÊNDICE A – CÓDIGO DO CLP

O programa em Ladder do Controlador Lógico pode ser obtido na extensão GX3 (extensão do software GXWorks 3, Mitsubishi), através do QR Code abaixo:

