

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**BHRUNO VINICIUS RIBEIRO**

**LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO –  
MÁQUINA ‘DROP STATION’**

São Carlos  
2012



**BHRUNO VINICIUS RIBEIRO**

# **LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO – MÁQUINA ‘DROP STATION’**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Engenharia de  
São Carlos, da Universidade de São  
Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase  
em Sistemas de Energia e Automação

**ORIENTADOR:** Professor Doutor  
Dennis Brandão

São Carlos  
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

R4841      Ribeiro, Bruno Vinicius  
             Lógica de Programação - Máquina 'Drop Station' /  
             Bruno Vinicius Ribeiro; orientador Dennis Brandão. São  
             Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com  
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,  
2012.

1. Automação Industrial. 2. Automatização de  
processo. 3. Drop Station. 4. Linguagem Ladder. 5.  
Programação de CLP. 6. Projeto. I. Título.

Nome: Bhruno Vinicius Ribeiro

Título: "Lógica de Programação - Máquina 'DROP STATION'"

*Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 08 / 02 / 2013,*

*com NOTA 6,3 ( seis, três ), pela Comissão Julgadora:*

*Prof. Dr. Dennis Brandão (Orientador)*  
*SEL/EESC/USP*

*Dr. Ricardo Augusto Souza Fernandes*  
*SEL/EESC/USP*

*Dr. Danilo Hernane Spatti*  
*SEL/EESC/USP*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Associado Homero Schiabel



## **Agradecimentos**

À Liteq Ind e Com Ltda pela oportunidade do estágio que deu origem a esse TCC.

Ao Matheus Marebeze pelo estágio, pela amizade e pela disposição em ajudar e orientar em tudo que fosse preciso.

Ao professor Dennins Brandão pela orientação.

Ao professor Ivan Nunes da Silva e Rafael Guedes Lang pelo estágio no Warthog Robotics.

À todos da Automação 07.

À todos os meus amigos e conhecidos de Limeira, que sempre me apoiaram e estiveram comigo todo esse tempo, independente da distância. Em especial ao Bill, Celso, Lang, Romário e Leon pela amizade incontestável.

À Marianna pela amizade nesses anos e pela revisão ortográfica

À todos os moradores e ex-moradores da República Vira-Copos, com quem tive o prazer de conviver ao longo desses seis anos e que hoje são grandes amigos.

A todos do Futsal CAASO, com quem pude conviver por dois anos e novamente nesses últimos seis meses de graduação, que fizeram com que minha despedida da graduação fosse muito mais animada.

A todos da equipe Giranda, que tive o prazer de fazer parte ao longo desses 6 anos.

A toda a minha família.

E por último, e principalmente, à minha namorada Mariana, meus pais e minha irmã e Daniel, que sempre me apoiaram em qualquer decisão, e que sem eles nada disso seria possível.



## Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>18</b>
3.1	CLP.....	18
3.1.1	Programação do CLP – Linguagem Ladder.....	19
3.1.1.1	Contatos NA e NF.....	20
3.1.1.2	Bit One Shot e Bobinas Latch e Unlatch.....	20
3.1.1.3	Bits auxiliares.....	21
3.1.1.4	Temporizadores(TON e TOF).....	21
3.1.1.5	Blocos de Comparação – Equ e Neq.....	22
3.1.2	IHM.....	22
3.2	Sensores Indutivos .....	23
3.3	Sensores Fotoeletricos .....	24
3.4	Encoder.....	25
3.5	Registrador de deslocamento (Shift Register – SR).....	26
3.6	Atuadores Pneumáticos.....	27
3.7	Inversores de Frequência .....	28
3.8	Segurança.....	29
<b>4</b>	<b>Metodologia .....</b>	<b>33</b>
4.1	Memorial Descritivo .....	34
4.2	Componentes Principais – CLP, IHM e Inversores.....	38
4.3	Comunicação.....	40
4.4	Comando Geral .....	41
4.4.1	Liga.....	41
4.4.2	Desliga .....	42
4.4.3	Falha.....	43
4.4.4	Reset .....	43
4.4.4.1	Reset dos inversores.....	44
4.5	Travamento e destravamento das portas.....	44
4.6	Modo de Funcionamento – Automático/Manual.....	45
4.7	Status .....	47

<b>4.8</b>	<b>Sinalização .....</b>	<b>49</b>
<b>4.9</b>	<b>Condições de Funcionamento .....</b>	<b>50</b>
<b>4.9.1</b>	<b>Portas travadas .....</b>	<b>50</b>
<b>4.9.2</b>	<b>Equipamento Ok.....</b>	<b>50</b>
<b>4.9.2.1</b>	<b>Inversores Ok.....</b>	<b>51</b>
<b>4.10</b>	<b>Status Externo – Drop Station Ligada .....</b>	<b>51</b>
<b>4.11</b>	<b>Acionamento dos inversores .....</b>	<b>52</b>
<b>4.11.1</b>	<b>Acionamento dos inversores em modo automático – Modo Cascata .....</b>	<b>53</b>
<b>4.12</b>	<b>Alinhamento do produto .....</b>	<b>57</b>
<b>4.13</b>	<b>Esteiras, Carrinho e Basculante – Decisão.....</b>	<b>53</b>
<b>4.13.1</b>	<b>Esteiras Buffer e Principal .....</b>	<b>58</b>
<b>4.13.2</b>	<b>Transportador de Retirada - Home e Limit .....</b>	<b>59</b>
<b>4.13.3</b>	<b>Basculante .....</b>	<b>60</b>
<b>4.14</b>	<b>Alinhamento das Esteiras (Principal e Buffer).....</b>	<b>62</b>
<b>5</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>70</b>
<b>7</b>	<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>71</b>

## **Resumo**

Esta monografia apresenta a lógica de desenvolvimento do software programado em linguagem ladder do projeto da máquina chamada “Drop Station”. É parte do processo que se inicia na produção da indústria alimentícia, sendo responsável por levar grande volume de produto rapidamente, para que seja embalado, sem nenhum contato humano com o produto. O trabalho é dividido em três partes. A primeira é uma abordagem conceitual sobre a teoria envolvida, que visa introduzir os conceitos que direta ou indiretamente fizeram parte do projeto (Revisão Bibliográfica), seguido da aplicação da teoria apresentada, onde através da programação do CLP em linguagem ladder é feita a integração entre o hardware presente no projeto e o software responsável por seu controle, seguido, por último, pela avaliação dos resultados e conclusão.

Palavras-chave: Automação Industrial. Automatização de processo. Drop Station. Linguagem Ladder. Programação de CLP.. Projeto.

## **Abstract**

This monograph presents the study and design of the software programmed in ladder language of the project of the machine called “Drop Station”. It’s part of the process that begins in the food industry corporations, being responsible of taking large amount product quickly, to be packed, without any human contact with the product. The work is divided into three parts. The first is a conceptual approach to the hole theory involved, that introduces the concepts that are in the project (Literature Review), followed by the application of these theories. Through the CLP programming using ladder language, the hardware presence in the project and the software that controls it can work together, followed lastly by the results and the conclusion.

Keywords: Industrial Automation. Process Automation. Drop Station. Ladder Language. CLP Programming. Project.

## 1. Introdução

De acordo com da Silva, 2007 [1], a palavra automação está diretamente ligada ao controle automático, às ações que não dependem da intervenção humana. No decorrer da história, foi criada a mecanização, com o objetivo de simplificar o trabalho do homem, substituindo o esforço braçal por outros meios e mecanismos. A primeira invenção foi a roda, em cerca de 3200 A.C. Os anos passaram, a mecânica evoluiu e o homem passou a produzir máquinas cada vez mais complexas. Com a criação da eletrônica e da computação, surge a automação industrial, por meio da união dessas três áreas. A eletrônica é responsável pelo hardware e a computação permite o controle através de softwares, em conjunto com os já existentes componentes mecânicos.

A automação industrial consiste na aplicação de técnicas, softwares ou equipamentos em máquinas ou processos industriais. Seu objetivo é aumentar a eficiência, maximizar a produção com o menor consumo de energia ou matérias-primas, emitir menos resíduos e melhorar as condições de segurança, reduzindo a interferência humana sobre a máquina ou o processo. Consiste em um sistema automático de controle em que os mecanismos verificam seu próprio funcionamento, efetuando medições e correções.

No atual cenário brasileiro e mundial, com a grande evolução de computadores e componentes eletrônicos, em que a velocidade de processamento é cada vez maior e os custos e dimensões, menores, a automação passou a ser amplamente utilizada e está presente em grande parte da indústria.

Na tabela abaixo, encontra-se uma comparação entre Homem e Máquina em relação aos custos e produtividade.

	<b>Máquina</b>	<b>Homem</b>
<b>Jornada</b>	24 horas diárias	8 horas diárias
<b>Produtividade</b>	98%	85%
<b>Custos</b>	Custo fixo de implantação Manutenção Preventiva Manutenção Corretiva	Salário Benefícios Férias Afastamentos Sindicatos Qualidade de vida

Tabela 1 – Custos/Produtividade - Máquina x Homem

Ao observar o quadro, é possível concluir que, financeiramente, a instalação de máquinas automatizadas traz vantagens a longo prazo com relação ao uso de funcionários. Apesar dessa grande vantagem, a automação não irá substituir todos os funcionários da indústria por máquinas.

Os funcionários que, anteriormente, executavam passos simples e repetitivos nas linhas de produção não são mais de extrema necessidade e a tendência é que, nesse tipo de tarefa, a automação esteja cada vez mais presente. Esses funcionários não deixarão de existir na indústria, porém, serão realocados, exercendo funções que exijam maior conhecimento técnico.

A falta de automação gera muitos empregos, este é um fato o qual não é possível negar. Porém, no cenário atual da economia brasileira e mundial, as empresas que não possuem sistemas de automação implantados dificilmente conseguirão competir economicamente com outras do mesmo setor, devido à sua baixa produtividade. Como não conseguem competir, são forçadas a demitir funcionários ou até mesmo a encerrar suas atividades.

A automação não é a causa do desemprego, mas um realocador. Os empregos nas linhas de produção ficam cada vez mais escassos, enquanto que a contratação de operadores, programadores e engenheiros é cada vez maior.

## 2. Objetivos

O presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo apresentar a aplicação da automação industrial como solução para uma indústria de barras de cereal, em que a máquina “Drop Station” é usada para transportar um grande volume de produtos recém-saídos da linha de produção para a próxima etapa da linha, o embalamento dos produtos, de maneira rápida e eficiente, sem que haja a necessidade de intervenção humana.

Como citado na introdução, a automação engloba determinadas áreas (elétrica/eletrônica, mecânica e computação) e cada aspecto do projeto está constituído em uma ou mais entre essas áreas. Partimos de duas grandes limitações da automação:

1. A capacidade limitada de tomar decisões
2. O fato de que deve ser programada ou ajustada para controlar sua operação nas condições especificadas

O principal objetivo do projeto é exibir os principais passos, lógicas e outras necessidades para que essas limitações sejam sanadas e para que a automação desse processo possa ser totalmente concluída, com a máquina funcionando de maneira correta e automática, de acordo com as condições especificadas.

### 3. Revisão Bibliográfica

O trabalho apresentado nessa monografia envolve vários conceitos vistos durante o curso, por isso os principais assuntos teóricos serão abordados, visando exibir de maneira informativa e direta os principais tópicos envolvidos.

#### 3.1 CLP

A sigla CLP significa “Controlador Lógico Programável”. Este controlador consiste em um computador com uma construção física que atende aos requisitos de operação em ambientes industriais. Quando se trata de automação industrial, o mais comum é que a associação com CLP seja feita automaticamente.

De acordo com a International Electrotechnical Commission (IEC), retirado de Kopelvski, 2010 [6], um CLP é:

*“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 seqüencial, 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.”*

Atualmente o CLP substitui de forma eficiente, inclusive com vantagens, os complexos sistemas que antigamente eram feitos com relés. Executa as linhas e equipamentos dos diagramas ladder.

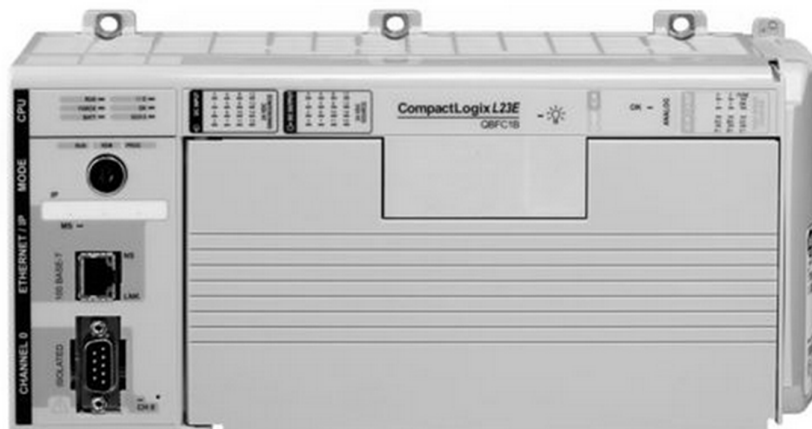


Figura 1 – CLP CompactLogix L23E [04]

A Figura 2 exibe a arquitetura de um CLP.

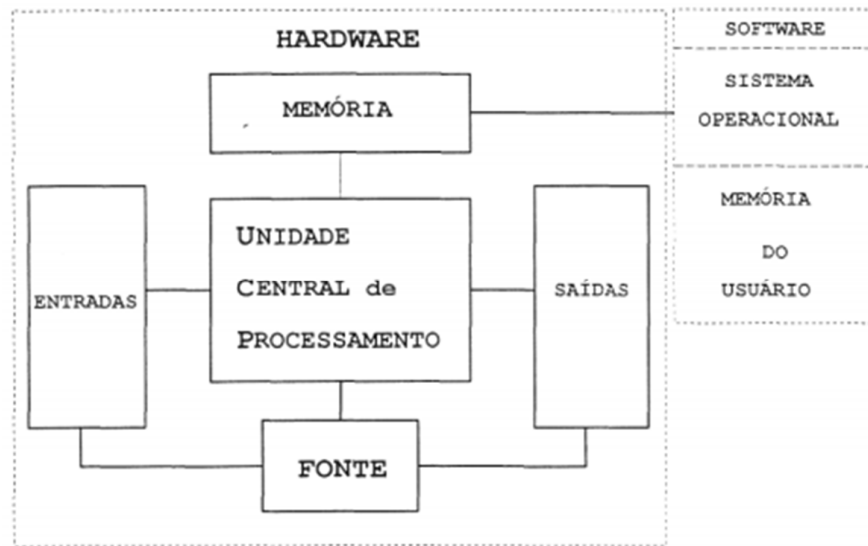


Figura 2 – Arquitetura do CLP[6]

A UCP (Unidade Central de Processamento) é responsável pela tomada de decisões. Nela, as entradas são analisadas, alterando o estado das saídas de acordo com a lógica programada. A Memória armazena todas as informações necessárias para o funcionamento do CLP. As Entradas e Saídas são responsáveis pela comunicação entre o CLP e o processo controlado por ele. As entradas recebem os sinais dos componentes presentes no processo e os transformam em sinais digitais, que são processados pela Unidade Central de Processamento (UCP). Ao processar esses dados, sinais digitais são enviados na saída, acionando componentes externos.

### 3.1.1 Programação do CLP – Linguagem Ladder

A teoria exibida abaixo, desde o princípio de funcionamento até os contatos utilizados na programação da linguagem ladder, é de Martins, 2007 [2]. Para programar o CLP, é usada a linguagem de programação conhecida como linguagem ladder, também denominada diagrama de contatos. Ladder é originário do inglês “escada”, nome dado pela semelhança entre a linguagem e o objeto. A simbologia da linguagem possui alguns padrões e normas internacionais, e há apenas pequenas variações entre os símbolos, de acordo com cada fabricante.

### 3.1.1.1 Contatos NA (normalmente aberto) e NF (normalmente fechado)



Figura 3 – Linha de comando com contatos NA e NF

**NA** – Se o estado “Normalmente aberto” for verdadeiro, o restante da linha também será verdadeiro e, portanto, a bobina será acionada.

**NF** – Se o estado “Normalmente fechado” for falso, o restante da linha será verdadeiro e, portanto, a bobina será acionada.

Em outras palavras, quando o contato NA estiver ligado, irá energizar o restante da linha. Quando o NF estiver ligado, deixará de energizar o restante da linha.

### 3.1.1.2 Bit One Shot e Bobinas Latch e Unlatch

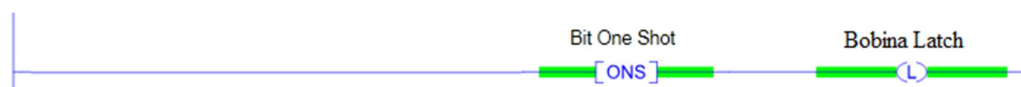


Figura 4 – Linha de Comando com Bit One Shot e Bobina Latch

**Latch (Set)** – Se o estado da linha for verdadeiro, essa bobina irá para o estado verdadeiro e não será desligada, mesmo que o estado da linha passe a ser falso. Também conhecido como bobina Set. Ficará ativa até que a bobina Reset seja acionada.

**Unlatch (Reset)** – A bobina Latch é utilizada para deixar a bobina ligada, independentemente do comportamento da linha. O reset surge como uma necessidade para desacionar essa bobina. O princípio de funcionamento é o mesmo, com a diferença de que o reset desliga o equipamento.

**Bit One Shot** – Seu funcionamento é simples: quando o estado da linha em que esse contato está localizado for verdadeiro, esse bit dará apenas um pulso e não fará mais nada até que a linha seja desligada e ligada novamente. É utilizado para acionar as bobinas Latch e Unlatch, a fim de evitar que haja pulsos desnecessários nessas bobinas, que podem até mesmo alterar o estado do equipamento acionado por elas (setado e resetado), funcionando de maneira incorreta ou indesejada. Ou seja, o Bit One Shot garante que apenas um pulso chegue até as bobinas Latch e Unlatch.

### 3.1.1.3 Bits auxiliares

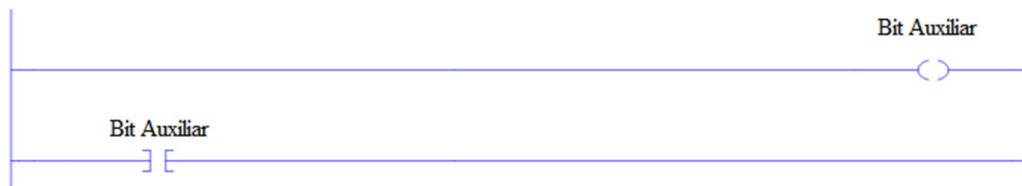


Figura 5 – Bobina Bit Auxiliar e Contato Bit Auxiliar

Apesar de ocuparem pouco espaço (1 bit) na memória do CLP, são de grande utilidade na linguagem ladder. A bobina “bit auxiliar” é colocada em uma linha do programa, seguida dos contatos necessários para restringir a condição pela qual o bit é inserido (Linha 1). Isso será apresentado quando as linhas de comando ladder utilizadas no programa do “Drop Station” forem exibidas. A partir disso, seu contato (Linha 2) poderá ser usado em qualquer outro lugar do programa, podendo se tornar extremamente útil para o funcionamento do software da máquina.

### 3.1.1.4 Temporizadores – TON e TOF



Figura 6 – Temporizador

Os blocos temporizadores podem apresentar algumas variações em seu funcionamento. Os principais blocos utilizados no projeto são exibidos abaixo:

**TON** – É utilizado basicamente para atrasar a energização do lado direito da linha. “Preset” é o tempo de atraso (em ms) e “Accum” é o tempo acumulado a partir do início da contagem. Ou seja, após o término da contagem de tempo, o restante da linha será energizado.

**TOF** – É utilizado para retardar o desligamento da linha. A saída fica ligada até que a contagem de tempo seja finalizada.

### 3.1.1.5 Blocos de Comparação – Equ e Neq



Figura 7 – Bloco de igualdade – EQU

**EQU** – É conhecido como bloco de igualdade. A variável indicada pelo “Source A” possui determinado valor, que, em geral, depende de outros pontos no programa. O “Source B” também possui um valor pré-determinado, mas que é escolhido pelo programador.

Se o valor de “Source B” for igual ao da variável em “Source A”, o restante da linha passará a ser energizado. Caso contrário, nada acontecerá.

**NEQ** – É conhecido como bloco de desigualdade. O princípio de funcionamento e a estrutura são exatamente iguais ao bloco EQU, porém, a linha só será energizada se os valores comparados forem diferentes entre si.

### 3.1.2 IHM

De acordo com Martins, 2007 [2], IHM significa “Interface Homem-Máquina” e é definido como todo e qualquer sistema, como sinalizador de eventos ou status de uma máquina. São sistemas que surgiram a partir da necessidade de interface com as máquinas, de maneira eficiente e ergonômica, entre os sistemas de automação e os operadores. Com o surgimento dessas interfaces, os sistemas de controle de processos tornaram-se cada vez mais interativos. Agora, o operador usa visores simples para operar o equipamento.

No CLP, as IHM funcionam de dois modos distintos:

**Desenvolvimento:** criação de telas gráficas e animações representativas do processo.

**Run time:** janela que exibe o andamento do processo. É capaz de obter dados, armazená-los, gerar gráficos de tendências e alarmes.

Os usos mais comuns para as IHM são:

- Amostrar faltas em máquinas;
- Amostrar status em máquinas;
- Permitir ao operador iniciar e interromper ciclos;
- Monitorar contagens de componentes.

As Interfaces podem ser ativas ou passivas.

- Interfaces Passivas

- Monitoram eventos ou o status da máquina
- Não interferem no processo
- Em geral, não possuem processadores internos

Lâmpadas e buzinas são exemplos de interfaces passivas.

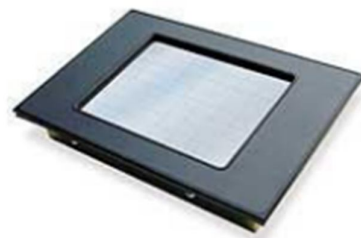
- Interfaces Ativas

- São partes integrantes do processo
- Além de possuírem um processador interno, algumas têm parte do software aplicativo
- Em geral, são utilizados vários CLPs em rede para IHM

Telas sensíveis ao toque (touchscreen) e monitores de plasma são exemplos de interfaces ativas.



**Interface ativa, com botões**



**Interface ativa de tela sensível (touch screen)**

Figura 8 – Interfaces Ativas

### 3.2 Sensores Indutivos

Os sensores indutivos, também conhecidos como sensores de proximidade detectam a presença de materiais condutores de energia elétrica de natureza metálica quando estiver a uma determinada distância da sua face, chamada distância sensora. Essa detecção é transformada em um sinal de saída.

A maior aplicação desse tipo de sensor é para substituir as tradicionais chaves fim-de-curso, oferecendo maiores vantagens em relação a elas. Não necessita de contato físico para atuar, o que significa que a detecção é realizada com uma simples aproximação do objeto. Isso proporciona maior durabilidade e alta velocidade de comutação.

Seu princípio de funcionamento é baseado na geração de um campo eletromagnético de alta frequência, desenvolvido por uma bobina que faz parte de um circuito oscilador, que em condição normal gera um sinal senoidal, em que a amplitude e frequência dependem do valor da indutância da bobina. Quando um metal entra na área de atuação do campo magnético, a indutância varia e portanto a amplitude do sinal também se altera. Essa variação é detectada e então aciona o estágio de saída.



Figura 9 – Sensor Indutivo

### 3.3 Sensores Fotoelétricos

O sensor fotoelétrico é um sensor capaz de detectar objetos através de um feixe de luz. Uma luz é emitida por ele (led infravermelho, luz visível, etc) e, essa mesma luz é detectada por um receptor. Esse é o princípio de funcionamento do sensor. Existem três tipos desse sensor.

**Difuso:** Nesse tipo de sensor, exibido na Figura 10, o emissor e o receptor de luz estão juntos no mesmo envólucro. Um feixe de luz é emitido e, se algum objeto estiver na frente desse feixe, ela será refletida na superfície do objeto e voltará para o receptor do sensor.

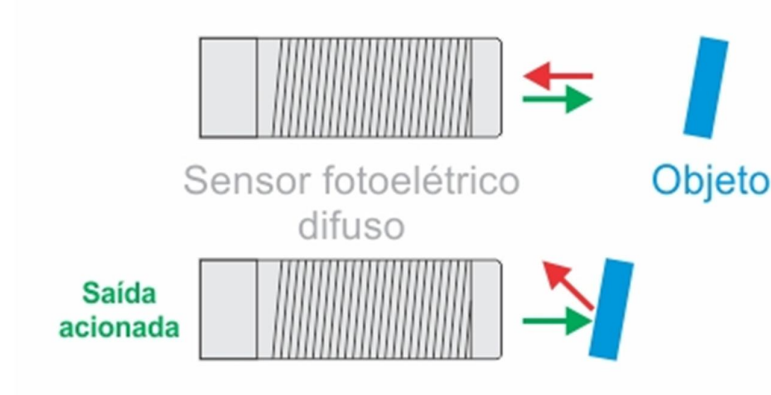


Figura 10 – Sensor Fotoelétrico Difuso

**Barreira:** O emissor e receptor se localizam em envólucros separados. Eles são fixados frontalmente. Dessa maneira, a luz do emissor é emitida diretamente para o receptor, continuamente. Quando um objeto passa no espaço entre os dois, o feixe de luz é interrompido, fazendo com que não chegue no receptor. Dessa maneira é feita a detecção do objeto. Esse procedimento está ilustrado na Figura 11.

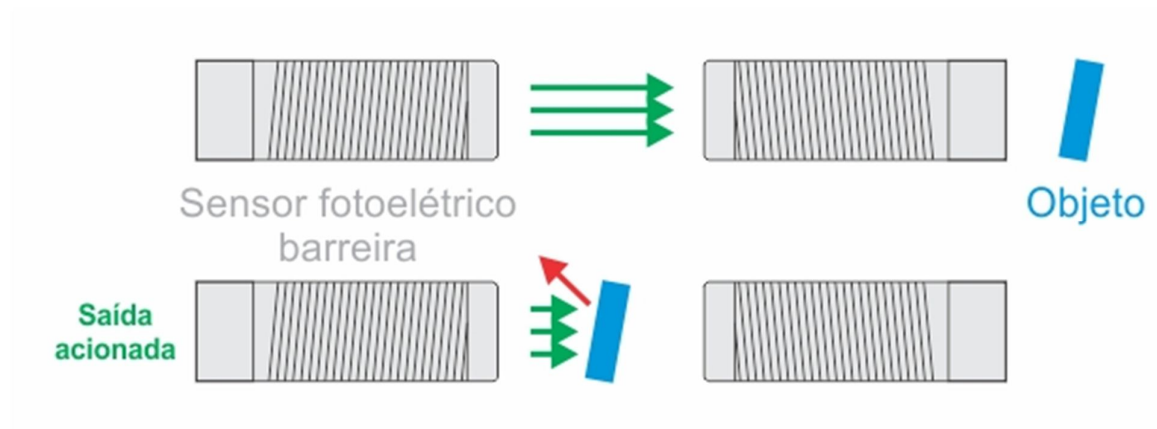


Figura 11 – Sensor Fotoelétrico Barreira

**Retrorefletivo:** O princípio é o mesmo do sensor barreira, porém o emissor e receptor estão juntos, assim como no sensor difuso. Isso é possível por conta de um espelho prismático fixado frontalmente com o sensor, refletindo a luz e a partir desse momento atuará como um sensor barreira. A Figura 12 exibe o modelo do sensor fotoelétrico retrorefletivo.

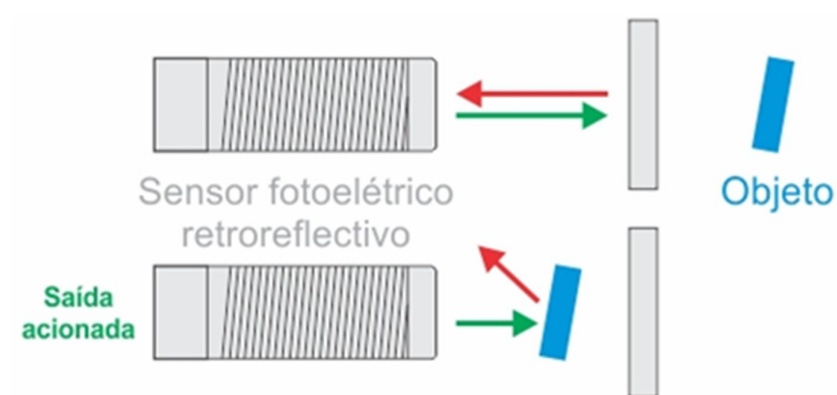


Figura 12 – Sensor fotoelétrico retrorefletivo

### 3.4 Encoder

A partir de Oliveira, 2007 [7], os encoders são transdutores de movimentos, que tem a capacidade de converter movimentos angulares (ou lineares) em informações elétricas que

podem ser convertidas em sinais binário e trabalhadas por algum software que converta essas informações em algo que possa ser entendido como distância, velocidade, etc.

Possui variadas aplicações, como em eixos de Máquinas Ferramentas NC e CNC, em eixos de Robôs, controle de velocidade e posicionamento de motores elétricos, posicionamento de antenas parabólicas, telescópios e radares, mesas rotativas.

O princípio de funcionamento do encoder para posicionamento de motores elétricos é feito através de uma saída de trem de pulsos, que responde à rotação do seu eixo. A resposta da saída é correspondente ao número de saídas por volta.

Uma saída indica a posição inicial ou zero (pulso de índice). Essas saídas podem ser utilizadas na contagem rápida padrão ou para contagem com controle no sentido de giro.



Figura 13 – Encoder [7]

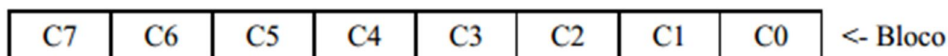
### 3.5 Registrador de deslocamento (Shift Register – SR)

A partir de Martins, 2007 [2], registrador de deslocamento é muito utilizado em aplicações que acompanhem o deslocamento ou movimentação de determinado produto de uma linha de produção ou em operações sequenciais.

É constituído por um número determinado de dispositivos, como relés internos agrupados, onde os bits armazenados são deslocados de um relé para o outro.

**Funcionamento:** A cada transição de 0 para 1 da entrada, o bloco de controle desloca uma posição (um bit) e a condição de entrada data (0 ou 1) é colocada na posição onde se tornou livre.

**Direção de deslocamento (shift):** depende da definição do bloco de controle (início/origem e fim/destino).



C0-C7 -> Deslocamento à esquerda;  
 C7-C0 -> Deslocamento à direita.

Figura 14 – Exemplo de Registrador de Deslocamento com direção de deslocamento. [2]

### 3.6 Atuadores Pneumáticos

De acordo com Silva, 2002[3], “Pneumática é o ramo da engenharia que estuda a aplicação do ar comprimido para a tecnologia de acionamento e comando. A utilização de sensores e motores elétricos abrange uma grande gama de aplicações, no entanto existem situações em que somente a energia hidráulica e pneumática oferecem uma solução mais eficiente e de baixo custo.”

Os atuadores pneumáticos são componentes mecânicos que transformam a energia cinética gerada por ar pressurizado e em expansão em trabalho. O CLP envia o sinal de saída para que os componentes pneumáticos atuem.

**Cilindro:** Transforma a energia em deslocamento mecânico linear. É formado por uma camisa de cilindro, de um pistão móvel e de uma haste ligada ao pistão. Os cabeçotes são presos ao cilindro através de roscas, prendedores, tirantes ou solda. De acordo com a maneira que a haste se move para dentro ou para fora, ela é guiada por embuchamentos removíveis chamados de guarnições. O lado para o qual a haste opera é chamado de lado dianteiro ou "cabeça do cilindro". O lado oposto sem haste é o lado traseiro. O cilindro de ação simples é um cilindro no qual a pressão de fluido é aplicada em somente uma direção para mover o pistão.

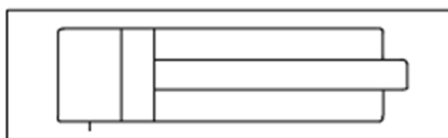


Figura 15 – Representação do Cilindro de Ação Simples[3]

Cilindro de dupla ação é um cilindro no qual a pressão do fluido é aplicada em qualquer uma das direções; a força aplicada pode ser ajustada tanto no avanço quanto no retorno.

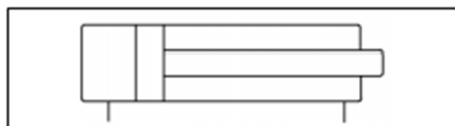


Figura 16 – Representação do Cilindro de Ação Dupla[3]

### 3.7 Inversores de Frequência

Segundo WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A [8], os conversores de frequência, ou inversores de frequência, são dispositivos eletrônicos que convertem a tensão alternada proveniente da rede em tensão contínua que, novamente, é convertida em tensão alternada, porém, com frequência e valores de tensão variados. São utilizados em motores elétricos de indução trifásicos, substituindo os sistemas de variação de velocidade mecânicos utilizados antigamente, além dos motores de corrente contínua, pelo conjunto motor assíncrono e inversor, sendo mais barato e de manutenção mais simples com reposição profusa.

Segundo a apostila “Inversores de Frequência”, os inversores são ligados na rede elétrica, que pode ser monofásica ou trifásica, e em sua saída há uma carga que necessita de uma frequência diferente daquela da rede. O inversor tem como primeiro estágio um circuito retificador, responsável por transformar a tensão alternada em contínua. O segundo estágio realiza o inverso, ou seja, a transformação de uma tensão CC em uma tensão CA (conversor), com a frequência desejada na carga.

Na rede de entrada, a frequência é fixa (60 Hz) e a tensão é transformada pelo retificador de entrada em tensão pulsada (retificação de onda completa). O Capacitor (filtro) a transforma em tensão contínua pura. Esta tensão contínua é conectada ciclicamente aos terminais de saída pelos dispositivos semicondutores do inversor, transistores ou tiristores, que funcionam como chaves estáticas.

O controle desses dispositivos semicondutores é feito pelo circuito de comando, de modo a obter um sistema de tensão pulsada, cujas frequências fundamentais estão defasadas de  $120^\circ$ . A tensão é selecionada de modo que a relação entre a tensão e frequência seja constante, resultando em uma operação com fluxo constante e, conseqüentemente, na manutenção da máxima capacidade de sobrecarga momentânea do motor.



Figura 17 – Inversor de Frequência [10]

### 3.8 Segurança

Segundo Brandão[9], grande parte das plantas industriais e de linhas de fabricação podem causar acidentes que resultam em danos físicos e materiais. É de responsabilidade, portanto, dos empregadores e trabalhadores, assegurarem que nenhum dano venha acontecer a uma pessoa com resultado de sua atividade profissional em uma indústria.

Uma forma de se minimizar a possibilidade de acidentes de trabalho provocados tanto por falhas de equipamentos quanto por omissão voluntária, negligência, imprudência ou imperícia de trabalhadores é o projeto de sistemas de automação com nível de segurança adequado, ou seja, um projeto de automação seguro.

Em geral, frente a uma emergência causada por mau funcionamento (travamento, um desalinhamento de componentes) ou alguma situação perigosa para o trabalhador (risco de choques elétricos ou físicos) se faz necessária a interrupção da seqüência de operação de uma determinada máquina.

O operador em geral tem a opção da parada imediata da operação pressionando “botão de pânico” ou botão de parada de emergência (STOP button), que é preferivelmente grande do tipo cogumelo, vermelho, de fácil acesso e posicionado em local estratégico.

A ação botão de emergência é com trava, ou seja, deve travar no acionamento e destravar manualmente para liberar (resetar). É sempre adequado que quando o botão de emergência for destravado, a planta não deve começar novamente sua operação do ponto de parada sem que o operador recomece o processo novamente em condição segura.

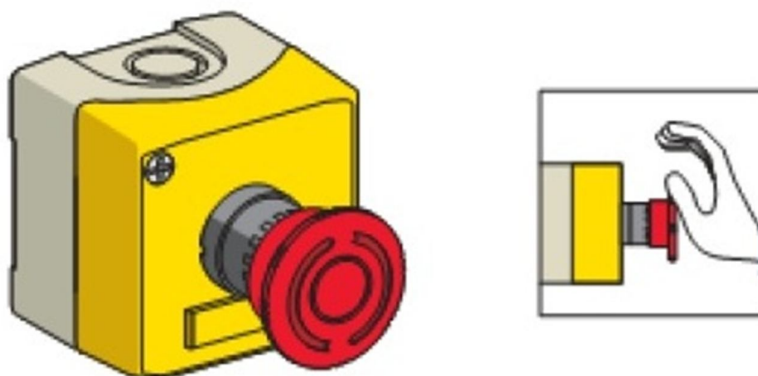


Figura 18 – Botão de Emergência [9]

Quando se utiliza um CLP no projeto de automação, deve-se ter em mente que ele é passível de apresentar potenciais situações perigosas, de diferentes formas. A primeira a ser considerada e provavelmente a mais comum é o erro nas linhas lógicas do programa. A segunda possibilidade é a causa de falhas dos cartões de entradas e saídas, em particular os componentes

conectados diretamente no campo, que podem ser expostos a altas tensões e a interferências eletromagnéticas. O sinal em um cartão de entrada pode falhar tanto no estado ON ou OFF, deixando o CLP a desconsiderar um possível sinal importante.

Outro possível modo de falha é no próprio CLP. Pode-se classificar neste caso a falha em hardware, software ou falha ambiental. O último caso de falha é por interferência elétrica. Internamente, quase todos os CLPs trabalham com 5 Volts de tensão para a sinalização digital, entretanto são rodeados externamente por sistemas de alta tensão e alta corrente, que provocam interferências e podem, em casos extremos, até corromper a memória interna do CLP.

Pode-se considerar como um bom sistema de segurança associado ao uso do CLP a especificação do circuito elétrico normalmente fechado de emergência (botão de parada) em série com a alimentação das saídas do CLP e os atuadores. Ou seja, a parada de emergência causa o desligamento imediato das saídas, independentemente da ação da CPU do CLP. Um contato que indica o estado deste circuito deve também estar ligado a uma entrada do CLP, para indicar que o sistema de segurança foi acionado. Esta entrada deve pelo programa também causar o desligamento das saídas. Assim, o sistema tem a necessidade de acionamento manual para retorno à condição segura, além da necessidade de se remover o sinal de emergência para recomeçar a operação.

### **3.8.1 Paradas de emergência aplicadas a CLP**

Uma regra primordial para usar CLP é “O sistema deve ser pelo menos tão seguro como um sistema convencional”. Considera-se como convencional um circuito de parada de emergência que atua diretamente na alimentação do equipamento. A figura adiante é uma versão implantada com CLP do acionamento de motor por lógica a relé. A Chave seccionadora no CCM (Centro de Controle de Motores) para remover a alimentação e chave seccionadora local para o motor: estas duas chaves são para proteção durante o trabalho de manutenção no motor ou de sua carga. A chave seccionadora pode ser reintegrada com contato auxiliar, e este conectado a uma entrada do PLC, deve-se especificar a utilização de contato normalmente fechado tanto para o comando de parada quanto para o de parada de emergência. Um contato auxiliar foi acrescentado na partida, ele é usado como selo no programa do CLP. A parada de emergência é instalada diretamente na saída e é independente do programa do CLP. Na liberação, o motor não deve religar (porque o contato auxiliar de selo do programa terá sido desligado). Uma perda da fonte dos cartões de entrada implica que o programa entenda que o

botão de parada foi pressionado, e o motor vai parar. Este projeto com CLP é seguro, e atende as situações inseguras consideradas.

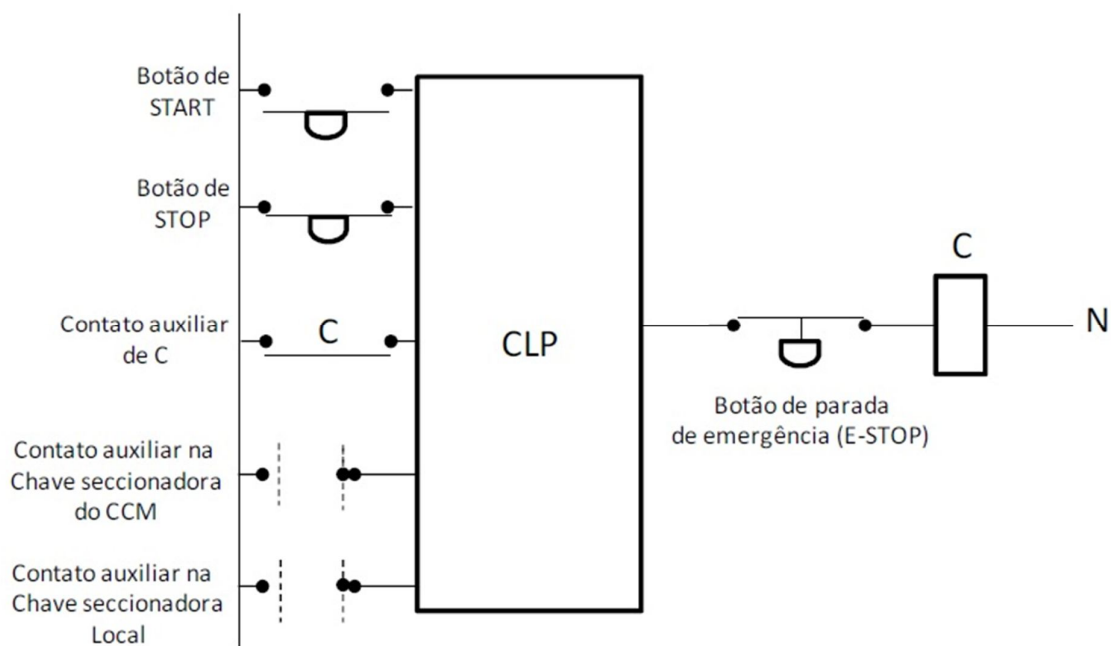


Figura 19 – Acionamento do Motor via CLP [9]

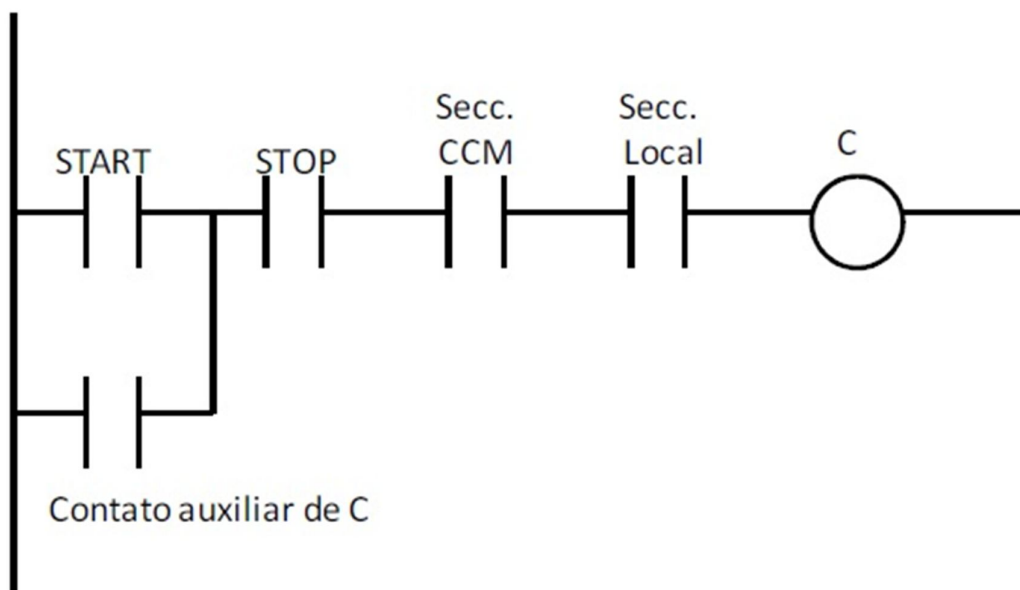


Figura 20 – Diagrama Ladder do acionamento do motor via CLP [9]

É importante notar que as funções de segurança em geral são baseadas em sensores e circuitos NF, para que a máquina pare imediatamente se ocorrer uma falha no sistema de segurança (abertura no circuito, dano físico no botão de emergência ou de parada). Esta filosofia

deve ser considerada para todos os sensores e detectores do projeto: os que estão relacionados aos movimentos de avanço e partida devem ser NA, para que no caso de uma falha no circuito ou nos sensores (abertura do circuito), a máquina não avance. Já os sensores e detectores relacionados aos movimentos de parada devem ser NF, para que qualquer falha neles ou em seus circuitos provoquem a parada imediata do equipamento.

## 4. Metodologia

Neste capítulo é exibida a parte prática do projeto.

### 4.1 Variáveis E/S

Entradas – CLP	Nome da Entrada
Local:1:I.Data.0	Falha inversores drop station
Local:1:I.Data.1	Falha inversores transportadores
Local:1:I.Data.2	Status Relé Segurança Emergências
Local:1:I.Data.3	Status Relé Segurança Fim de Curso Portas
Local:1:I.Data.4	Pressostato de Ar Digital
Local:1:I.Data.5	Monitoramento Reset Ok
Local:1:I.Data.6	Monitoramento Distribuidor de Corrente
Local:1:I.Data.7	Monitoramento Contator de Potência
Local:1:I.Data.8	Sensor Alinhamento 1 - Transportador de Entrada
Local:1:I.Data.9	Sensor Alinhamento 2 - Transportador de Entrada
Local:1:I.Data.10	Sensor Shift - Transportador de Entrada
Local:1:I.Data.11 a 15	Reserva

Tabela 2 – Entradas do CLP

Saídas – CLP	Nome da Saída
Local:2:O.Data.0	Acionamento Sinaleiro (Sirene)
Local:2:O.Data.1	Acionamento Lâmpada Verde (Start)
Local:2:O.Data.2	Acionamento Lâmpada Vermelha (Stop)
Local:2:O.Data.3	Acionamento Lâmpada Laranja (Alarme)
Local:2:O.Data.4	Fim de Curso Segurança 1 – Porta
Local:2:O.Data.5	Fim de Curso Segurança 2 – Porta
Local:2:O.Data.6	Fim de Curso Segurança 3 – Porta
Local:2:O.Data.7	Fim de Curso Segurança 4 – Porta
Local:2:O.Data.8	Borne Relé Equipamento Ligado
Local:2:O.Data.9	Válvula Alinhamento 1 - Transportador de Entrada
Local:2:O.Data.10	Válvula Alinhamento 2 - Transportador de Entrada
Local:2:O.Data.11	Valvula Basculante - Transportador de Entrada Avanço
Local:2:O.Data.12	Valvula Basculante - Transportador de Entrada Retorno
Local:2:O.Data.13	Lâmpada Azul
Local:2:O.Data.14	Reserva
Local:2:O.Data.15	Reserva

Tabela 3 – Saídas do CLP

Entradas - Cartão	Nome da Entrada
Local:3:I.Data.0	Sensor Alinhamento 1 - Transportador Buffer – Avanço
Local:3:I.Data.1	Sensor Alinhamento 2 - Transportador Buffer – Recuo
Local:3:I.Data.2	Reserva
Local:3:I.Data.3	Reserva
Local:3:I.Data.4	Reserva
Local:3:I.Data.5	Sensor Fotoelétrico Varredura Transportador de Retirada
Local:3:I.Data.6	Sensor Fotoeletrico Leitura Produto Flap Entrada
Local:3:I.Data.7	Sensor Indutivo Segurança Flap Entrada
Local:3:I.Data.8 a 31	Reserva

Tabela 4 – Entradas do Cartão do CLP

Saídas – Cartão	Nome da Saída
Local:4:O.Data.0	Valvula alinhamento 1 - Transportador Buffer
Local:4:O.Data.1	Valvula alinhamento 2 - Transportador Buffer
Local:4:O.Data.2	Reserva
Local:4:O.Data.3	Reserva
Local:4:O.Data.4	Válvula Aparador Transportador de Retirada
Local:4:O.Data.5	Reserva Transportador de Retirada
Local:4:O.Data.6	Válvula Aparador de Produtos Entrada
Local:4:O.Data.7	Reserva
Local:4:O.Data.8	Reserva
Local:4:O.Data.9	Reserva
Local:4:O.Data.10	Limit - Transportador de Retirada
Local:4:O.Data.11	Home - Transportador de Retirada
Local:4:O.Data.12	Redefinir Posicionamento (zerar encoder)
Local:4:O.Data.13 a 31	Reserva

Tabela 5 – Saídas do Cartão do CLP

## 4.2 Memorial Descritivo

O funcionamento da máquina será listado por etapas para facilitar a compreensão dos processos envolvidos e, dessa maneira, clarificar os passos que envolvem sua execução. O equipamento descrito a seguir pertence a linha de produção de barras de cereal de uma importante indústria do ramo alimentício, com o seguinte funcionamento:

O produto recém-saído da linha de produção é levado para embalagem. O volume de produtos é grande, e ele deverá ser retirado rapidamente, onde será levado para a próxima linha e posteriormente para a máquina que fará o embalagem.

Existem duas possibilidades em que os produtos devem seguir. A primeira opção é retirar o produto da linha, levando-no ao embalagem. A segunda opção consiste em enviar o produto a uma esteira buffer. Essa opção será executada poucas vezes durante o funcionamento da máquina, mas não é menos importante, já que o produto enviado para essa esteira não seria

retirado da linha pelo transportador de retirada, que é responsável por enviá-los à próxima etapa. O produto enviado à esteira buffer é recolocado na linha para que também seja embalado.

### **Alinhamento do produto (Flap)**

Como a função principal da máquina é transportar o produto recém-produzido de maneira organizada para que, mais adiante, seja embalado, é necessário que o produto seja alinhado antes que continue na linha. A localização do alinhador de produtos é logo no início da “Esteira Principal”.

O nome “Flap” é dado ao aparador de produtos, uma barra de metal que impede a passagem dos produtos por um certo tempo, fazendo com que esses produtos fiquem alinhados, continuem na linha e sejam levados para o embalamento. Para que funcione da maneira desejada, o alinhador de produtos possui os seguintes componentes:

- Sensor indutivo - IN 7 – Cartão do CLP – “Sensor Indutivo Segurança Flap Entrada”

No local em que a instalação elétrica está localizada, há uma caixa com um sensor indutivo, por questões de segurança. Esse sensor será acionado somente quando a tampa desta caixa estiver fechada. Sem essa condição satisfeita o atuador não irá funcionar e o produto simplesmente passará pelo aparador sem que seja alinhado.

- Sensor Fotoelétrico - IN 6 – Cartão do CLP – “Sensor Fotoeletrico Leitura Produto Flap Entrada”:

Esse sensor detecta a presença de produtos chegando na linha.

- Atuador Pneumático - OUT 6 - Cartão do CLP – “Válvula Aparador de Produtos Entrada”:

O CLP, após receber a informação sobre a presença do produto na linha faz com que o aparador de produtos abaixe, impedindo sua passagem. Como a esteira principal estará sempre funcionando, isso faz com que o produto fique alinhado.

- Temporizadores – Software Ladder:

Devido à presença desses temporizadores é possível que o aparador fique abaixado o tempo necessário para alinhar o produto; posteriormente esse aparador levantará e outro temporizador garante que todo o produto passará pelo aparador antes que o mesmo volte a abaixar na presença de mais produtos chegando.

## **Esteira Principal**

A Esteira Principal passa logo em seu início pelo alinhador de produtos “Flap” e, assim que o produto é alinhado continua passando pela esteira. Após o acionamento da máquina, essa esteira será interrompida somente se o usuário desligar o equipamento ou houver algum tipo de problema.

Ao final dessa esteira, o produto encontrará o “Atuador Basculante”, onde o CLP irá enviar a decisão sobre o produto, se ele será retirado da linha pelo “Transportador de Retirada” ou será enviado para a “Esteira Buffer”.

Para que essa decisão seja tomada, próximo à metade dessa esteira há um sensor fotoelétrico.

- Sensor Fotoelétrico: IN 10 – CLP : “Sensor Shift - Transportador de Entrada”:

Esse sensor é fundamental para o funcionamento correto do “Atuador Basculante”. Envia sinais ao CLP a cada pequeno intervalo de tempo. Quando não há produto, o sinal enviado é 0. Quando há produto, sinais 1 são enviados. Com isso é possível determinar exatamente o tamanho do produto e a sua localização.

## **Atuador Basculante**

Consiste em um atuador pneumático, localizado ao final da “Esteira Principal”. Sua função é enviar o produto para o transportador de retirada, que o levará ao embalamento ou enviá-lo para a “Esteira Buffer”. A decisão de atuar ou não será tomada pelo CLP, e dependerá da localização do produto comparado à localização do transportador de retirada. A lógica utilizada nessa decisão será exibida posteriormente.

O atuador tem suas saídas pelo CLP exibidas abaixo:

- Atuador Pneumático - OUT 11 – CLP – “Valvula Basculante - Transportador de Entrada Avanço”

- Atuador Pneumático - OUT 12 – CLP – “Valvula Basculante - Transportador de Entrada Retorno”

Caso a decisão do CLP seja por enviar o produto para a esteira buffer, a saída “OUT 11” será acionada pelo CLP e o atuador irá avançar. Caso contrário, a saída “OUT 12” será acionada, o atuador recua e envia os produtos para o transportador de retirada.

## **Esteira Buffer**

Como citado anteriormente, se o produto na linha exceder a capacidade do transportador de retirada, ele será enviado para a esteira buffer. Sempre que receber o produto, essa esteira dará um passo à frente, até levar todo o produto ao final. Todo o produto será recolocado no início da linha e passará novamente pelo processo.

## **Transportador de Retirada**

Caso a quantidade de produtos na linha não exceda a capacidade do transportador de retirada ou não esteja em um ponto em que não será possível chegar ao ponto da retirada de produto a tempo, o transportador receberá o produto e o levará imediatamente à outra esteira, para o prosseguimento do processo, até que chegue ao seu destino final, a máquina de embalagem.

## **Alinhamento das Esteiras**

A máquina funciona com a esteira rodando ininterruptamente. Se a esteira for desalinhada e a máquina continuar em operação, é provável que ela seja danificada. A solução encontrada foi incluir um alinhador de esteira ao projeto. Esse alinhador fica preso à esteira e recebe a informação sobre o desalinhamento, se ocorreu para a esquerda ou direita, através de dois sensores indutivos. Dois cilindros são dispostos de maneira que, em caso de desalinhamento, o cilindro específico atue de acordo com a natureza do desalinhamento, fazendo com que a esteira retorne à sua condição normal de funcionamento, totalmente alinhada. Tanto a esteira principal quanto a esteira buffer possuem essa configuração.

Saídas dos atuadores responsáveis pelo alinhamento da esteira Buffer:

- Atuador Pneumático - OUT 0 – Cartão do CLP – “Valvula alinhamento 1 - Transportador Buffer”

- Atuador Pneumático - OUT 1 – Cartão do CLP – “Valvula alinhamento 2 - Transportador Buffer”

Os sensores que indicam o desalinhamento da Esteira Buffer:

- Sensor Indutivo – IN 0 – Cartão do CLP – “Sensor Alinhamento 1 - Transportador Buffer – Avanço”

- Sensor indutivo – IN 1 – Cartão do CLP – “Sensor Alinhamento 2 - Transportador Buffer – Recuo”

Atuadores da Esteira Principal:

- Atuador Pneumático - OUT 9 – CLP – “Válvula Alinhamento 1 - Transportador de Entrada”

- Atuador Pneumático - OUT 10 – CLP – “Válvula Alinhamento 2 - Transportador de Entrada”

Sensores da Esteira Principal:

- Sensor Indutivo – IN 8 – CLP – “Sensor Alinhamento 1 – Transportador de Entrada”

- Sensor indutivo – IN 9 – CLP – “Sensor Alinhamento 2 – Transportador de Entrada”

## **Travamento das Portas**

Quando a máquina estiver pronta para partir e todas as portas já tiverem sido fechadas, o CLP envia sinais (OUT4, OUT5, OUT6, OUT7) para que essas portas sejam efetivamente travadas, acionando travas físicas presentes em cada porta, o que garante que as portas não abram com a máquina em funcionamento.

## **Condições de partida**

A máquina só poderá ser ligada pelo usuário se todos os itens da máquina forem verificados e não apresentarem problemas. Isso é chamado de “Status Ok”. Essas condições serão abordadas em mais detalhes adiante.

## **4.3 Componentes Principais – CLP, IHM e Inversores**

O CLP utilizado no projeto é do modelo Allen-Bradley CompacLogix L23E. Possui comunicação Ethernet, permite a instalação do módulo para comunicação DeviceNet, além de permitir também a expansão das entradas e saídas através dos cartões I/O. Ele possui dezesseis entradas e dezesseis saídas. Os módulos I/O instalados possuem mais 32 entradas e 32 saídas. O software utilizado para programá-lo é o Allen-Bradley Logix 5000.

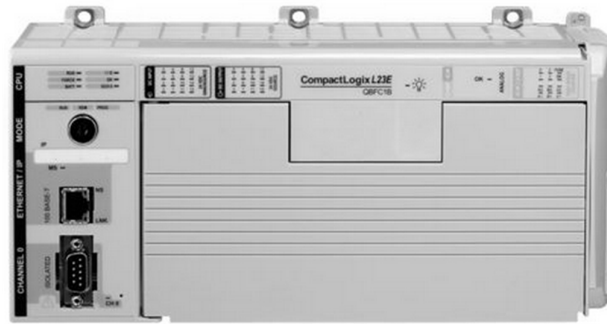


Figura 21 – CLP Allen-Bradley CompacLogix L23E [4]



Figura 22 – DeviceNet (1769-SDN), Cartões de Entrada(1769-IQ32) e Saída (1769-O32)

A IHM utilizada no projeto está na Figura 23, e sua forma de funcionamento é através de visor “Touch Screen”, em que o usuário utiliza o próprio dedo para escolher as opções de operação que aparecem na tela.



Figura 23 – Panel View 600 – IHM touchscreen

Os modelos de inversores utilizados no projeto são PowerFlex40 e PowerFlex40P, ambos da Allen-Bradley.



Figura 24 – Inversores de Frequência Power Flex 40 e 40P [4]

#### 4.4 Comunicação

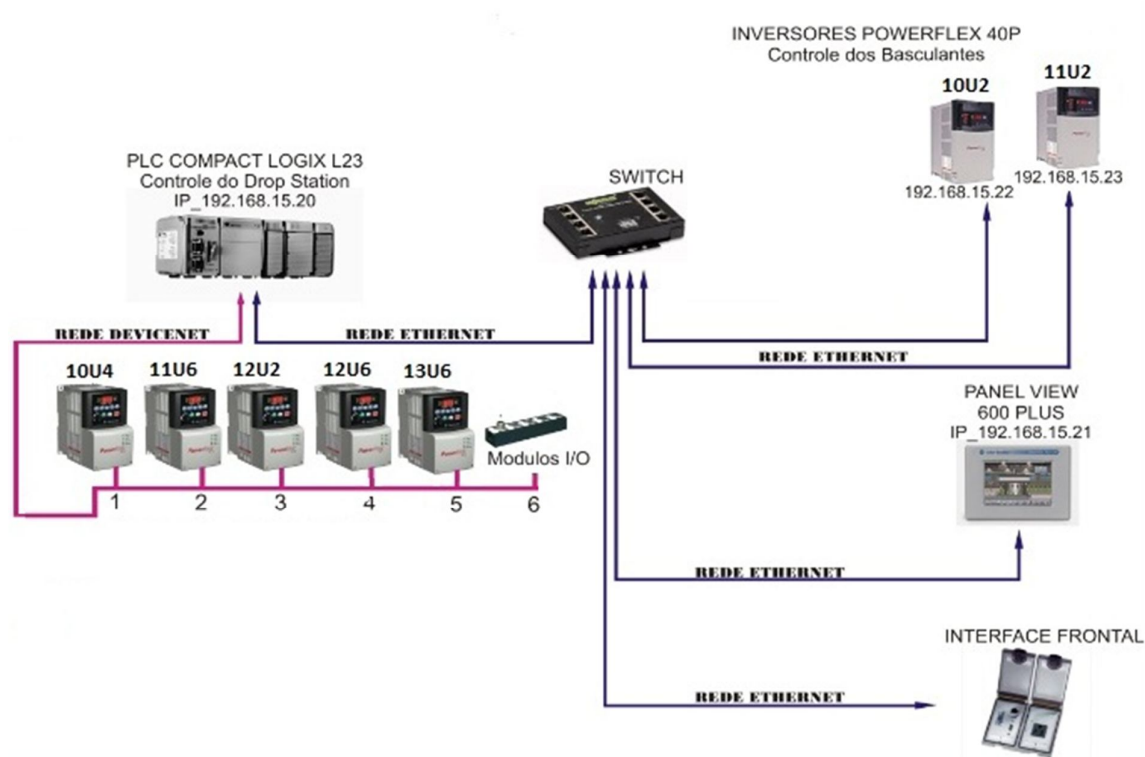


Figura 25 – Comunicação

A Figura 25 exibe um modelo de comunicação entre os componentes de comando e os inversores. O CLP, que é o comando central, está ligado aos outros componentes via Ethernet e DeviceNet. A comunicação via DeviceNet é mais comum em aplicações de automação, por isso, todos os componentes I/O e inversores que não possuem encoder são ligados via DeviceNet.

A Ethernet é usada para comunicar o CLP aos dois inversores que possuem encoder e que, devido a isso, precisam enviar e receber informações com uma velocidade mais alta que os outros inversores. Uma das vantagens do uso da Ethernet é sua alta velocidade na transmissão

de dados e a confiabilidade no envio dos mesmos, por isso a escolha por esse modo de transmissão.

O inversor do transportador de retirada precisa enviar e receber os dados com a maior velocidade possível, pois quando o carrinho não estiver preparado para receber os produtos provenientes da esteira principal, o atuador basculante será acionado rapidamente, enviando os produtos para a esteira buffer.

O segundo encoder fica no inversor que liga o motor da esteira principal e também é muito importante para o transportador de retirada, pois após a passagem do produto pelo sensor fotoelétrico, com o encoder, é possível saber o quanto a esteira já caminhou. Com base nesses dados recebidos pelo CLP, é possível realizar o cálculo que verifica se o carrinho tem ou não condições de retirar o produto que está se aproximando. Esse processo exige grande precisão por parte do sistema da máquina, por isso, esses dois inversores são ligados ao CLP via Ethernet. A interface frontal (uma tomada e um ponto de ligação de Ethernet) e o IHM também são ligados via Ethernet.

## 4.5 Comando Geral

O comando geral é responsável pelo funcionamento geral da máquina, como ligar, desligar, determinar o status (ligado/desligado/com problema).

### 4.5.1 Liga

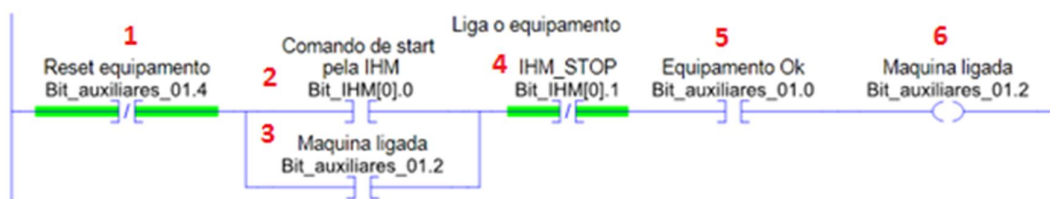


Figura 26 – Linha de comando para ligar a máquina

Nessa figura, é exibida a linha ladder de quando o equipamento é ligado. Com o comando do usuário para ligar a máquina, um bit auxiliar é setado e, a partir dele, todos os outros setores necessários para o funcionamento da máquina são ligados. A figura facilita a compreensão deste bit na linha de comando. O contato do bit auxiliar “Máquina\_Ligada” (6) estará presente em diversas outras linhas de comando em todo o software.

Os contatos “Reset equipamento” (1) e “IHM\_STOP” (4) são utilizados para cancelar a execução dessa linha de comando, caso o usuário aperte o botão reset ou o botão para desligar a máquina. O contato “Equipamento Ok” (5) só estará fechado se o equipamento apresentar as condições necessárias para seu funcionamento. A origem desse contato e do que depende seu

funcionado serão abordados posteriormente, na seção em que são apresentadas as rotinas que garantem o não funcionamento da máquina caso os detalhes obrigatórios para seu funcionamento correto não sejam cumpridos .

Quando o usuário apertar o botão “Start\_IHM”(2), e se o restante da linha estiver em condução, o bit auxiliar “Máquina\_Ligada” (6) passará a conduzir, selando o contato (3) e mantendo a linha em execução até que o usuário pare a máquina, ou que ela seja parada devido a alguma falha. É necessário se atentar ao fato de que os contatos (3) e (6) são o mesmo e possuem o mesmo endereço na lista de variáveis do CLP.

#### 4.5.2 Desliga

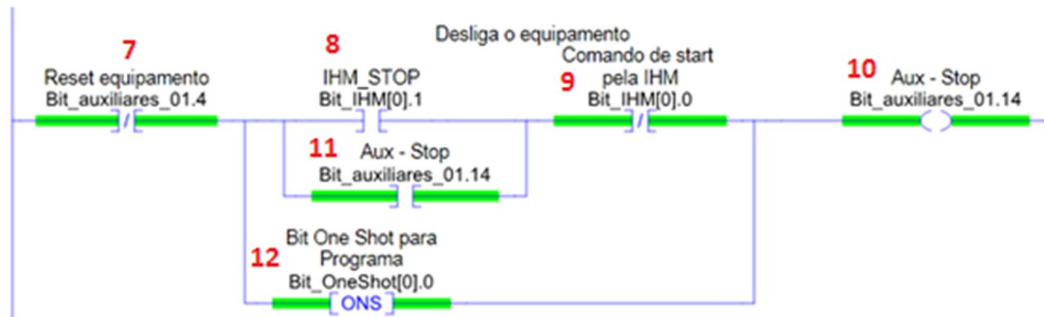


Figura 27 – Linha de comando para desligar a máquina

O bit auxiliar “Aux – Stop” (10) funciona de maneira muito semelhante à apresentada acima. As exceções são o contato “Equipamento Ok” (4) da Figura 27 e a presença do bit “One Shot”(12), existente também em outros momentos no ladder do equipamento.

Devido ao fato de que, por questões de segurança, a máquina funciona apenas seguindo diversas restrições, a partir do momento que o botão reset for pressionado pelo usuário ou que a máquina for reiniciada por falta de energia, ou qualquer outro motivo, o bit One Shot (12), seguido do contato fechado de “Reset” (7), irá garantir que o bit “Aux – Stop” (10) será setado assim que a máquina for iniciada ou o botão reset pressionado. Com o contato “Aux – Stop” (10) ativo, temos certeza de que a máquina não está em funcionamento.

### 4.5.3 Falha



Figura 28 – Equipamento em falha – Bit auxiliar

Além dos dois bits auxiliares que indicam se a máquina está ligada ou desligada, um bit auxiliar será usado, para indicar que é provável que haja algum problema no equipamento.

### 4.5.4 Reset

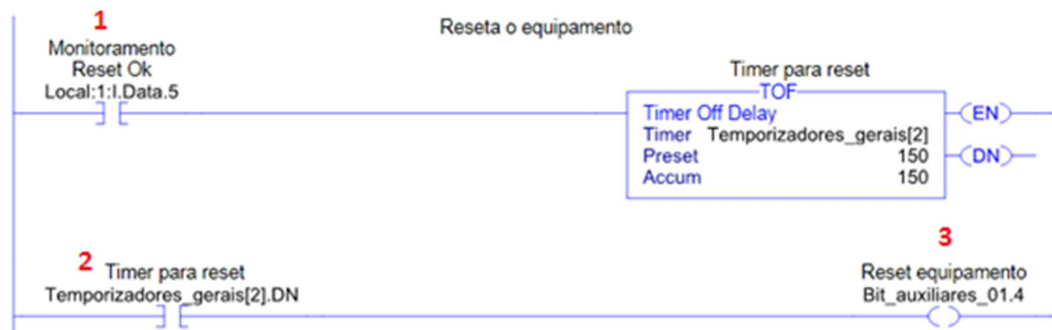


Figura 29 – Reseta o Equipamento

O contato “Monitoramento Reset Ok” (1) faz parte de uma das entradas do CLP e será fechado sempre que o botão reset for pressionado. Quando o usuário aperta o botão reset, a contagem de tempo é iniciada. Se o tempo em que o botão ficou pressionado for menor que 150 ms, não haverá resultado, devido ao tipo de temporizador utilizado, TOF. A condição necessária para que o equipamento seja resetado é que o botão fique pressionado pelo tempo estipulado, que, apesar de constituir um intervalo de tempo pequeno, é necessário, pois evita que um simples contato resete o equipamento: é necessário que o usuário de fato pressione o botão.

Passado o intervalo de tempo, a segunda linha através dos contatos (2) e (3) será energizada, e o contato auxiliar “Reset\_Equipamentos” (3) será acionado e poderá exercer suas

funções em outras linhas de comando em que está presente, no restante do software utilizado pelo CLP nos comandos da máquina.

#### 4.5.4.1 Reset dos inversores

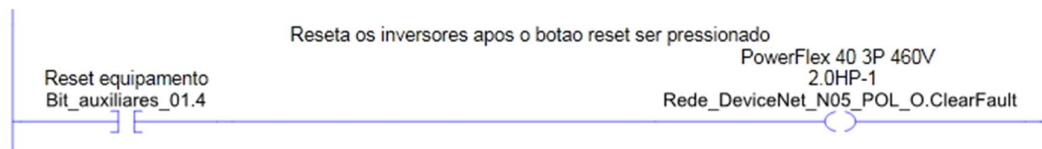


Figura 30 – Reset de um dos inversores

Assim que o bit auxiliar, que indica que o equipamento foi resetado, passa a conduzir, ele irá acionar a função no inversor que limpa as eventuais falhas apresentadas pelo equipamento. O mesmo procedimento é repetido para todos os outros inversores. Portanto, quando o equipamento é resetado, as falhas de todos os inversores são limpas.

#### 4.6 Travamento e destravamento das portas



Figura 31 – Travamento das portas

Por condições de segurança, não basta que as portas estejam fechadas, elas devem ser travadas via software, em que o sinal é mandado do CLP para as travas presentes nas portas. A figura acima ilustra como esse acionamento é realizado. O contato (1) estará em condução caso as portas estejam fechadas. A condição seguinte é que o usuário tenha enviado o comando para ligar a máquina e, portanto, que o contato auxiliar “Máquina ligada” (3) esteja acionado, o que

garante que o contato “Aux – Stop” (2) não estará. Dessa maneira, as bobinas das quatro portas de segurança serão setadas.

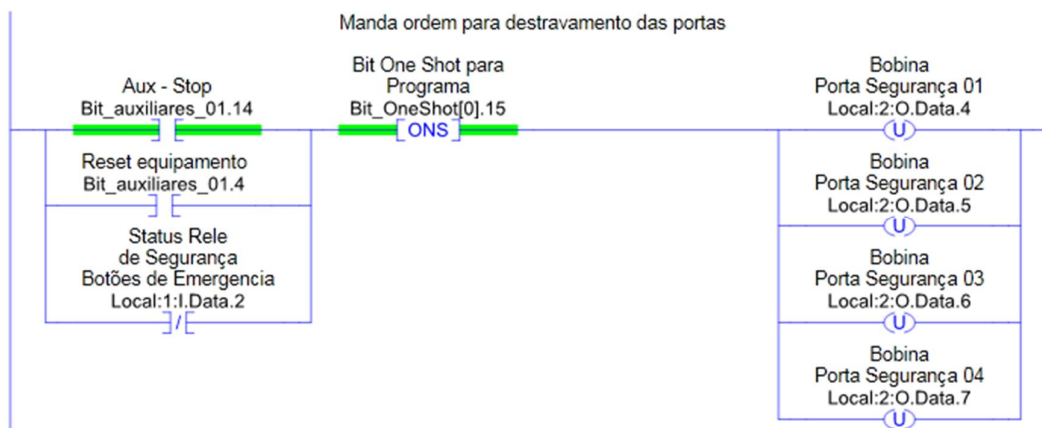


Figura 32 – Destravamento das portas

Como é possível observar na figura acima, as portas serão destravadas em três condições: caso o usuário desligue a máquina, resete o equipamento ou se o botão de emergência for pressionado.

#### 4.7 Modo de Funcionamento – Automático/Manual

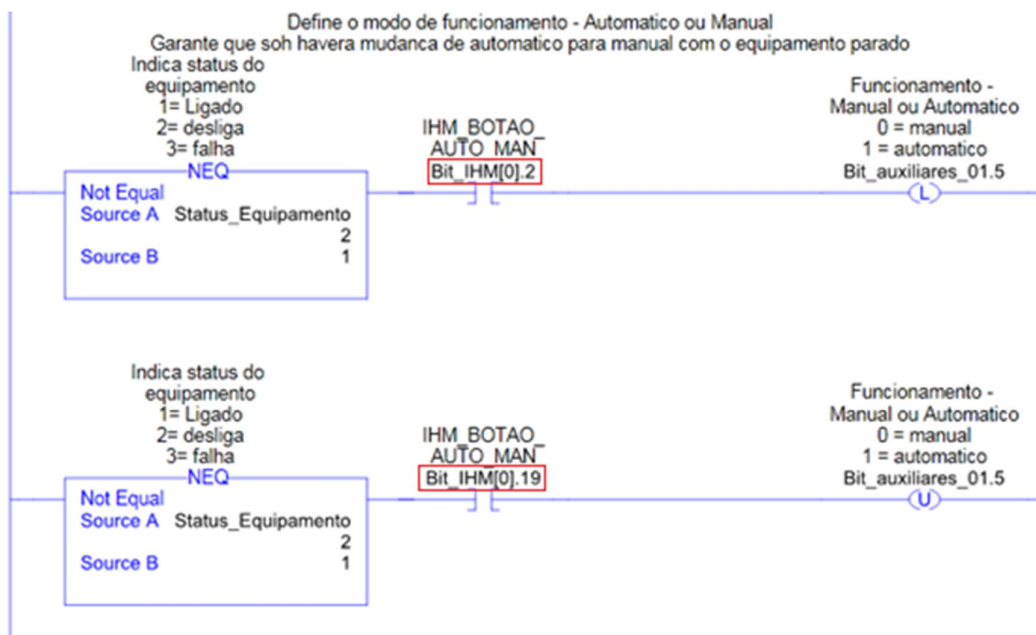


Figura 33 – Define o modo de funcionamento

De acordo com os blocos de desigualdade presentes nas duas linhas da Figura 33, o modo de funcionamento da máquina pode ser modificado apenas se a máquina não estiver com o status ligado, ou seja, para mudar seu modo de funcionamento, é necessário que ela esteja parada.

Os contatos “IHM\_BOTÃO\_AUTO\_MAN”, destacados na figura, possuem um endereçamento diferente dentro das variáveis no CLP, portanto, um botão é utilizado para ativar e o outro, para desativar o modo automático nos menus da IHM.

#### **4.7.1 IHM - Modo Automático**

A “Drop Station” deve estar com todas as condições de partida satisfeitas, assim, basta o usuário pressionar o botão “Liga” que todas as funções do equipamento serão executadas automaticamente. Na seção “Condições de Funcionamento” estão exibidos todas as condições de funcionamento, que são as condições de segurança para que não haja riscos para o usuário na utilização do equipamento. Se não estiverem satisfeitas, o equipamento não funcionará no modo automático.

Independente do modo de funcionamento, tanto para o automático quanto para o manual, o usuário pode alterar o valor da frequência dos inversores:

- Esteira Principal: Se a frequência aumentar, é provável que o atuador basculante passe a trabalhar mais vezes.
- Transportador de Retirada: Se a frequência aumentar, o atuador basculante trabalhará menos vezes.
- Esteira Buffer: Não há mudança significativa.
- Esteira de Retirada: Responsáveis pelo funcionamento das esteiras que levam o produto até a máquina que fará o embalamento, portanto o produto chegará mais rápido.

#### **4.7.2 IHM - Modo Manual**

Os botões disponíveis para o usuário na IHM:

##### **1-) Ajustar a frequência dos Inversores:**

- 1.1-) Esteira Principal
- 1.2-) Transportador de Retirada
- 1.3-) Esteira Buffer
- 1.4-) Esteira de Retirada

**2-) Ligar Inversores:**

- 2.1-) Esteira Principal
- 2.2-) Transportador de Retirada
- 2.3-) Esteira Buffer
- 2.4-) Esteira de Retirada

**3-) Controlar Atuadores:**

- 3.1-) Atuador Pneumático: OUT 6 - Cartão do CLP – “Válvula Aparador de Produtos Entrada”
- 3.2-) Atuador Pneumático: OUT 11 – Saídas do CLP – “Valvula Basculante - Transportador de Entrada Avanço”
- 3.3-) Atuador Pneumático - OUT 12 – Saídas do CLP – “Valvula Basculante - Transportador de Entrada Retorno”

Os atuadores responsáveis pelo alinhamento das esteiras não podem ser controlados pelo usuário por questões de segurança, manter a integridade da esteira, que é parte considerável do valor do projeto. Um desalinhamento acidental causado pelo usuário com as esteiras funcionando pode causar graves danos à elas.

**4.8 Status**

Na definição entre os modos automático e manual, um bloco de comparação que avalia a situação da variável “Status\_Equipamento” foi utilizado em uma das linhas de comando. Por fim, estes status serão definidos:

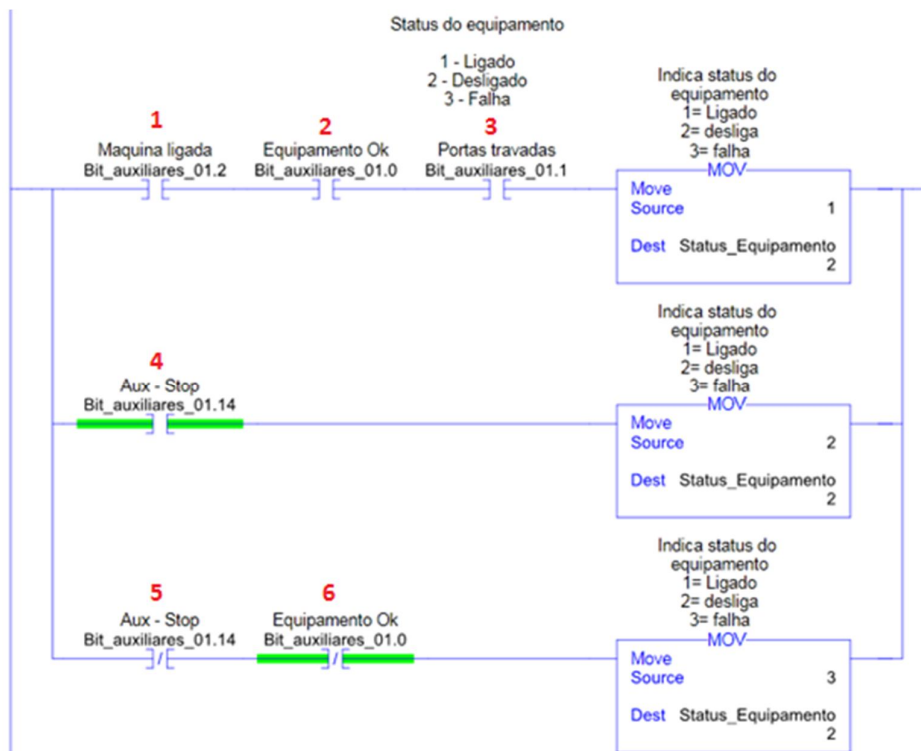


Figura 34 – Status do equipamento

A Figura 34 representa uma linha com três ligações em paralelo, sendo uma para cada status permitido. Em primeiro lugar, iremos definir os três status possíveis para a máquina: 1 – Ligado, 2- Desligado, 3- Falha.

O bloco MOV é utilizado para essa mudança no status. Se a condição da linha em que os blocos estão presentes for cumprida, ele irá enviar para a variável “Status\_Equipamento”, que corresponde à variável de destino (Dest) do valor numérico presente na seção “Source” do bloco. Para o equipamento ligado, este valor representa 1, desligado, 2, e em falha, 3. Analisando linha a linha, utilizamos o contato auxiliar “Máquina ligada” (1), definido anteriormente no comando do equipamento. Além dessa condição, duas condições adicionais devem ser satisfeitas. Os bits auxiliares “Equipamento Ok” (2) e “Portas travadas” (3) também devem estar em funcionamento para que o status da máquina seja definido como “Ligado” e a variável de destino receba o valor 1.

Para que o equipamento seja definido com o status “Desligado” (valor 2), basta que o contato “Aux – Stop” (4) esteja em funcionamento. Para o equipamento Em falha (valor 3), o contato “Aux – Stop” (4) não deve estar acionado e o equipamento deve apresentar falha em algum local, o que será indicado pelo contato normalmente fechado “Equipamento Ok” (5). Quando o equipamento não possui falhas, funciona normalmente, possui o contato aberto e o status do equipamento não definido como “Em falha”. A Tabela 6 exibe o comportamento do “Status Equipamento” de acordo com o valor de cada variável.

Máquina Ligada	1	0	0
Equipamento Ok	1	X	0
Portas Travadas	1	X	X
Aux – Stop	0	1	0
Status Equipamento	1	2	3

Tabela 6 – Tabela de Decisão – Grafo de Causa-Efeito

## 4.9 Sinalização

Por questões de segurança, a máquina também deve estar sinalizada. A sinalização é simples: quando o equipamento estiver ligado, a luz acesa será a luz verde. Se o equipamento estiver parado, a luz acesa será a vermelha e, quando houver falha, a luz acesa será a amarela, em conjunto com uma sirene. As linhas de comando são simples e estão apresentadas na figura abaixo:

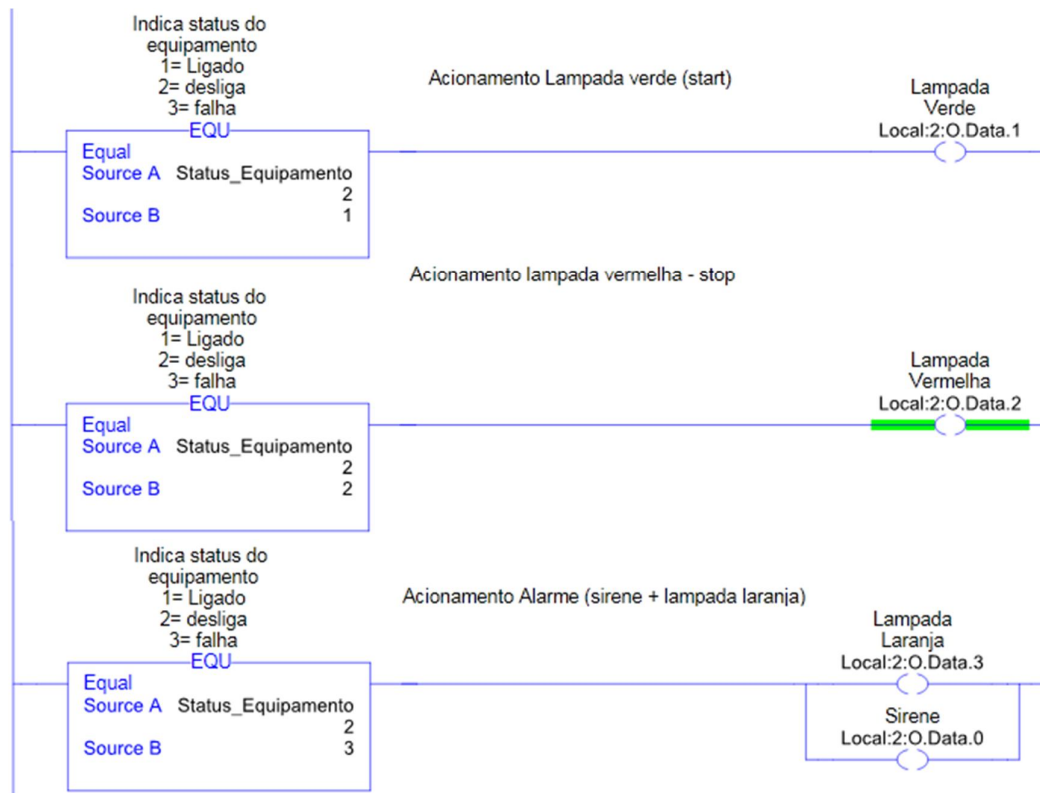


Figura 35 – Acionamento das lâmpadas de sinalização

As lâmpadas são acesas de acordo com o status definido por cada situação de funcionamento da máquina, ou seja, Ligado (1), Desligado (2) ou Falha (3).

## 4.10 Condições de Funcionamento

O equipamento possui algumas condições de funcionamento que caso não sejam verificados ou não estejam funcionando corretamente ficará impedido de funcionar.

### 4.10.1 Portas travadas

Para evitar riscos ao usuário, a máquina não pode funcionar se alguma das portas não estiver com as travas acionadas. Devido a esse fato, são colocados contatos abertos dos sinais de saída das bobinas de travamento das portas, cujo comando de fechamento é enviado pelo próprio CLP. Se as quatro portas forem travadas, esses contatos irão fechar e a bobina do bit auxiliar “Portas travadas” será acionada, pois as portas estarão, de fato, travadas.

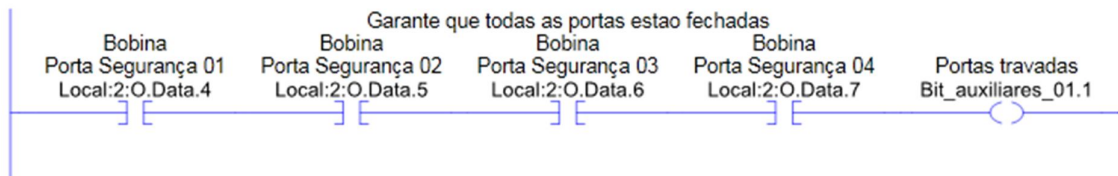


Figura 36 – Portas travadas

### 4.10.2 Equipamento Ok

Como o nome do contato sugere, nessa seção, é possível ter certeza de que o equipamento não apresenta problemas e está apto a funcionar. A Figura 37 exibe uma linha de comando em que o bit auxiliar “Equipamento Ok” (10) é acionado. Anteriormente, na seção referente ao comando, foi possível observar que a máquina não pode ser ligada se esse contato auxiliar não estiver acionado.

Os contatos 1 e 2 têm como objetivo garantir que não há falha nos inversores. Os contatos 3 e 4 são referentes aos relés de segurança, em relação ao relé dos botões de emergência e ao relé de segurança das portas, respectivamente. O contato 5 exige que o pressostato de ar também esteja funcionando de maneira adequada. Os contatos entre 6 e 8 são monitoramentos, em relação ao reset, ao distribuidor de corrente e ao contator de potência, todos os sinais de entrada recebidos pelo CLP. O contato 9 estará em condução apenas se os inversores não apresentarem falhas.

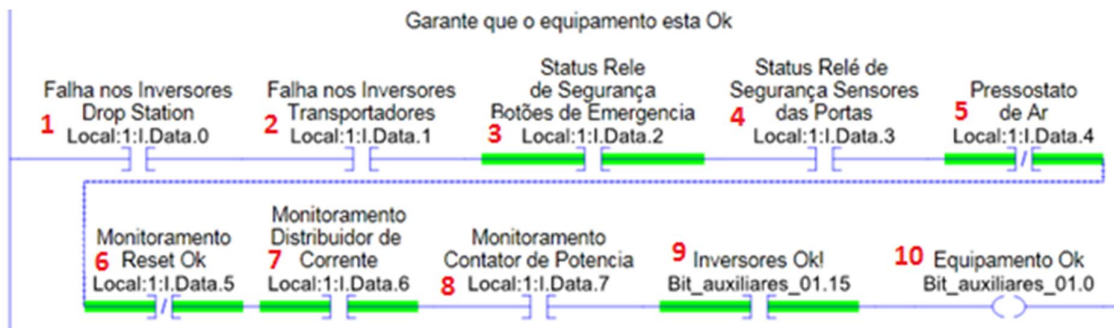


Figura 37 – Condições para “Equipamento Ok”

#### 4.10.3 Inversores Ok

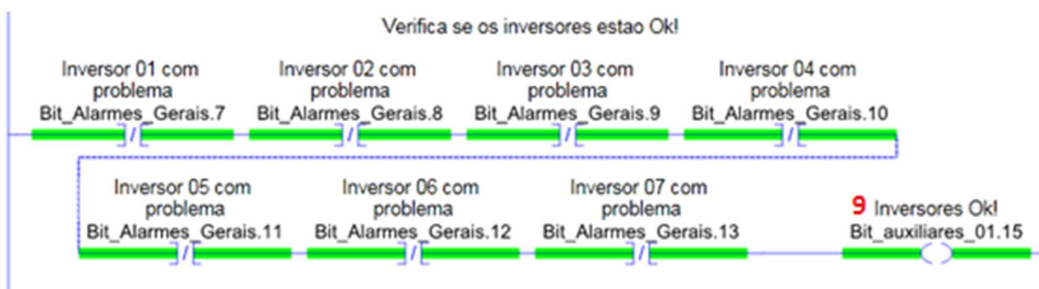


Figura 38 – Inversores Ok

Se houver problemas em algum inversor, o bit auxiliar “Inversores Ok” não estará acionado. Ele segue o mesmo princípio exibido acima, em relação aos contatos que garantem que o equipamento está apto para funcionar, mas apenas para os inversores. O contato “Inversores Ok” (9) também está presente na seção acima, “Equipamento Ok” e, sem ele, o equipamento não pode funcionar.

#### 4.11 Status Externo – Drop Station Ligada

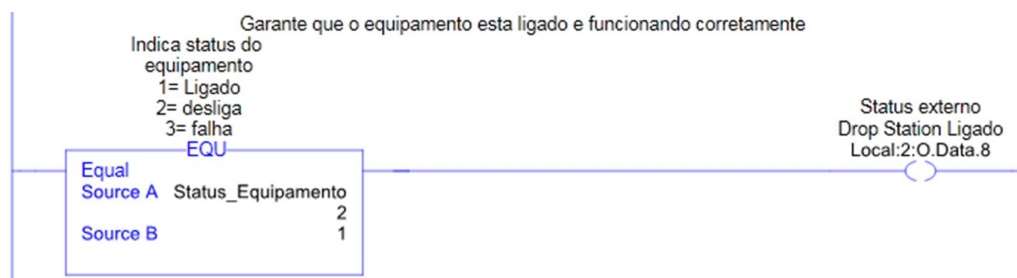


Figura 39 – Linha de comando indica que o equipamento está ligado e funcionando corretamente

Essa linha é utilizada com um bloco de igualdade, ou seja, irá conduzir se o status da máquina estiver “Ligado”. A bobina acionada é uma saída do CLP. Apesar de, aparentemente, não ter utilidade, essa saída é utilizada para enviar um sinal solicitando produtos para a máquina anterior na linha, ou seja, para que haja produtos e para exercer suas funções, a máquina depende desse sinal de saída.

## 4.12 Parâmetros dos Inversores

O CLP envia sinais para os atuadores através de suas saídas, onde esses comandos são enviados pelo software do CLP. De maneira semelhante, para que o CLP possa controlar os motores, deve enviar e receber sinais dos inversores de frequência. A figura (numero X) exibe o software Logix 5000, com as variáveis de entrada internas do inversor:

[-] Inversor_Carinho:I		AB:PowerFlex40P...	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
[+] Inversor_Carinho:I.DriveStatus		INT	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.Ready		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.Active		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.CommandDir		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.ActualDir		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.Accelerating		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.Decelerating		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.Reserved_or_Forw...		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.Faulted		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.AtReference		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.CommFreqCnt_or_...		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.CommLogicCnt_or_...		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.PLock_or_DriveHo...		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.DigIn1_or_SyncHold		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.DigIn2_or_SyncRa...		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.DigIn3_or_Travers...		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
-Inversor_Carinho:I.DigIn4_or_Travers...		BOOL	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write
[+] Inversor_Carinho:I.OutputFreq		INT	Parametros de Entradas para Inversor do Carinho.	Read/Write

Figura 40 – Parâmetros de entrada do inversor

Esses parâmetros exibidos na Figura 40 podem ser utilizados no software do CLP para monitoramento do inversor, esses dados de entrada enviam todas as informações sobre a execução do inversor. No caso da “Drop Station”, não houve necessidade de utilização desses parâmetros.

Inversor_Carinho:0		AB:PowerFlex40P...	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.LogicCommand		INT	Stop do Inversor do Carinho	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Stop		BOOL	Stop inversor do Carinho	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Start		BOOL	Start - inversor carinho	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Jog		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.ClearFaults		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Forward		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Reverse		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.LogicIn1		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.LogicIn2		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Accel1_or_Preset0		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Accel2_or_Preset1		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Decel1_or_Preset2		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Decel2_or_FindH...		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.FreqSet1_or_Hold...		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.FreqSet2_or_Pos...		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.FreqSet3_or_Sync...		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.Reserved_or_Tra...		BOOL	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write
Inversor_Carinho:0.FreqCommand		INT	Paramentos de Saída do Inversor do Carinho.	Read/Write

Figura 41 – Parâmetros de saída do inversor

Os parâmetros de saída do inversor exibidos na Figura 41 são os parâmetros que o CLP enviará um sinal e então o inversor responderá de acordo com o sinal enviado pelo CLP. Estão destacadas em vermelho as operações necessárias para o funcionamento da “Drop Station”.

**O.Stop:** Responsável por parar o inversor.

**O.Start:** Aciona o inversor

**O.Jog:** Aciona o inversor em uma frequência de operação baixa

**O.ClearFaults:** Limpa possíveis falhas do inversor

**O.Forward:** Determina o sentido de operação do inversor

**O.Reverse:** Determina o sentido de operação do inversor

Todos os parâmetros acima são variáveis Booleanas, ou seja, o CLP envia sinal de 0 ou 1.

**O.FreqCommand:** Determina a frequência de operação do inversor. É uma variável INT, ou seja, o usuário escolhe um valor numérico dentro da faixa de frequência permitida pelo inversor.

#### 4.12.1 Acionamento dos Inversores no Modo Manual

O projeto possui seis inversores de frequência, responsáveis pelo acionamento dos motores presentes no projeto. A maioria dos inversores é responsável pelo acionamento de apenas um motor, enquanto que alguns inversores são responsáveis pelo funcionamento de dois motores. No total, são utilizados nove motores no projeto. De maneira diferente da maioria dos atuadores, os inversores não possuem apenas um contato responsável por atuar ou não, mas um contato que os acionam e um que os desligam (no caso, Start\_Inversor e Stop\_Inversor). O acionamento dos inversores é feito de maneira semelhante, apresentando mudanças apenas em

relação ao endereço de cada inversor dentro das variáveis no programa em ladder. O esquema de ligação dos inversores é exibido abaixo:

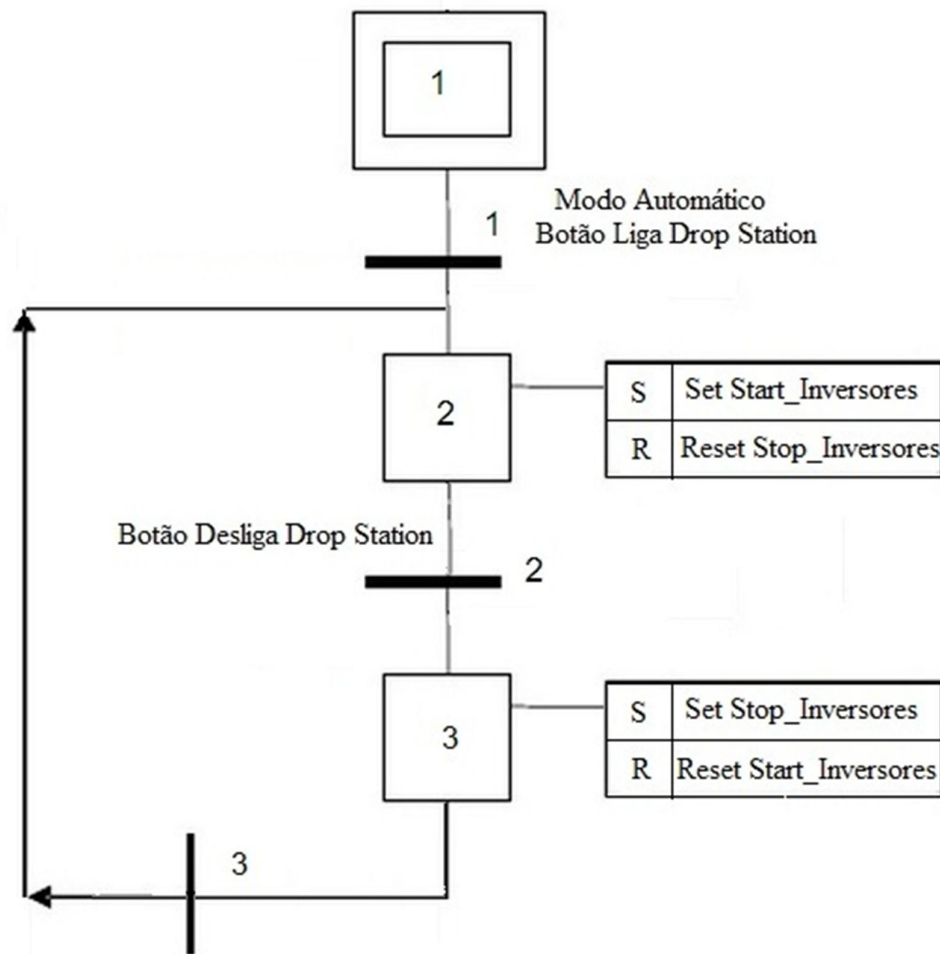


Figura 42 – Acionamento dos inversores no modo automático

A primeira condição para que esses comandos sejam executados é que o status da máquina esteja definido como “Ligado”. Com essa condição garantida, é possível verificar duas condições que farão com que a bobina responsável pelo funcionamento dos inversores seja setada ao mesmo tempo que a bobina responsável por pará-los seja resetada.

- 1- Modo Automático
- 2- IHM – Botão Liga “Drop Station”

Caso o funcionamento da máquina esteja em modo automático, basta que o usuário pressione o botão Liga na IHM para que os inversores comecem a funcionar ou, no caso dos inversores que não trabalham continuamente, estejam aptos para funcionar.

As outras duas condições são de acionamento dos inversores:

- 1- Modo Manual

## 2- Botão Liga/Desliga Inversor Manualmente

Nesse caso, a máquina estará em modo manual e o usuário deverá pressionar o botão presente na IHM para acionar o inversor desejado. No modo manual, o usuário deve iniciar todos os inversores um a um, caso queira que todos estejam em funcionamento. Na Figura 43, abaixo, o esquema de acionamento manual de um inversor é exibido. A mesma lógica é aplicada a todos os outros inversores, que possuem seus respectivos menus na IHM.

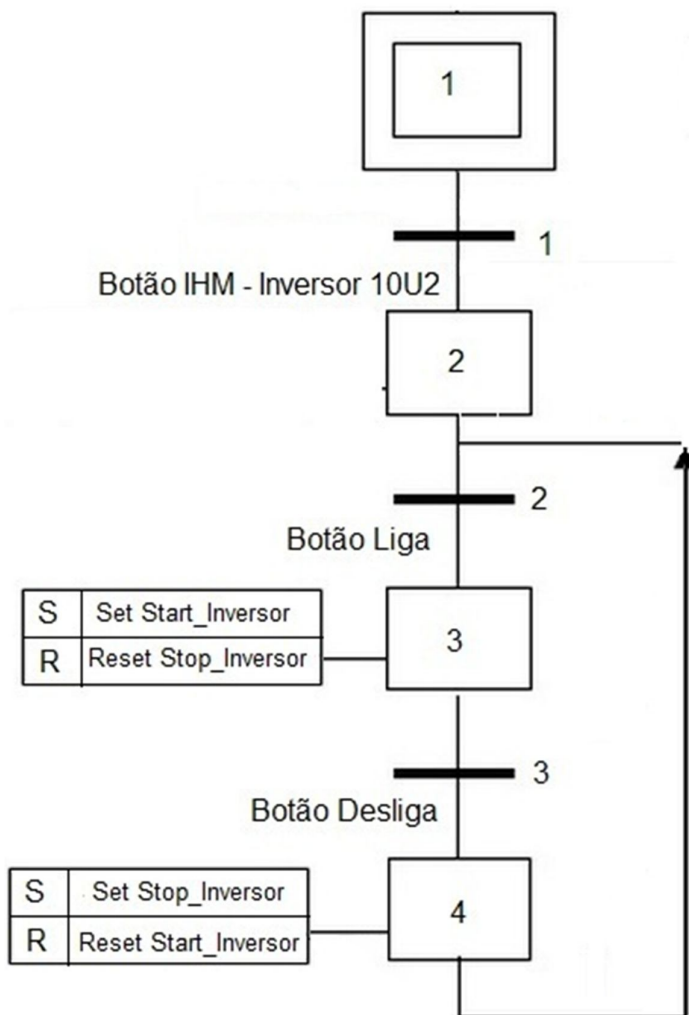


Figura 43 – Acionamento dos Inversores no Modo Manual

### 4.12.2 Acionamento dos inversores em Modo Automático – Modo Cascata

Quando a máquina começa a funcionar no modo automático, a maioria de seus inversores (e, portanto, motores) começa a funcionar simultaneamente. Isso gera um grande problema no momento da partida, pois os motores, no momento em que são ligados, costumam atingir um pico de corrente muito maior que a corrente em que, de fato, funcionam.

A solução encontrada para evitar que todos os motores sejam acionados simultaneamente é a da criação de uma rotina, chamada “cascata” no software em ladder. Essa rotina consiste em uma única linha de comando, em que é dada a partida nos inversores, um a um, com um temporizador entre eles, garantindo que haja certo intervalo de tempo entre o acionamento de um motor e do próximo, evitando sobrecarga de corrente.

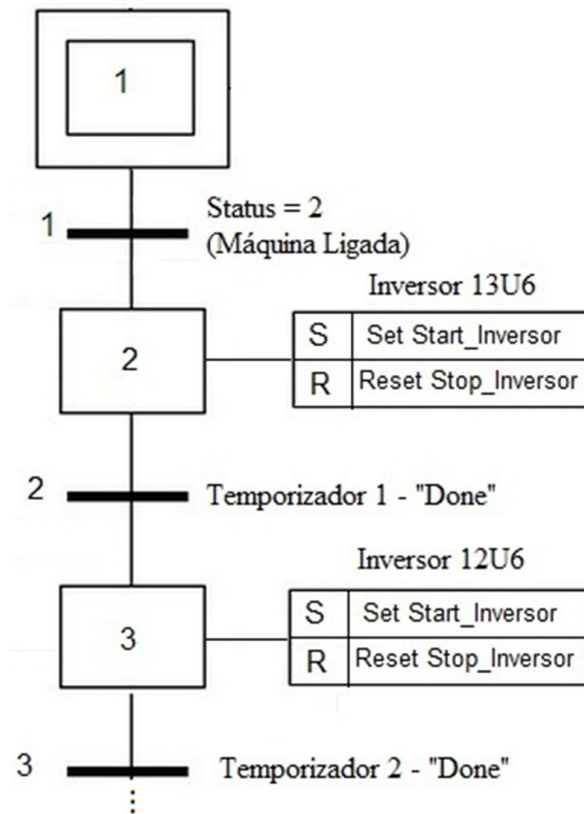


Figura 44 – Acionamento dos inversores em modo cascata

Se o status da máquina estiver definido com o valor 2 (Ligada), o drive 13U6 será o primeiro a ser ligado, e se trata do último inversor da linha que leva os produtos para o embalamento. Em seguida, o penúltimo inversor da linha é acionado, e essa ordem continua até que todos tenham sido ligados.

O funcionamento, ilustrado na Figura 44 é simples: todos os contatos responsáveis por acionar os inversores são dispostos em série, com um contato aberto do inversor anterior junto a um temporizador, ou seja, quando um inversor é acionado, ele tem seu contato fechado automaticamente, o que aciona o temporizador. Após o intervalo de tempo se encerrar, o inversor é ligado e o mesmo processo ocorre com o próximo inversor, até que todos os inversores tenham sido ligados.

### 4.13 Alinhamento do produto

Localizado no início da “Drop Station”, o aparador de produtos responsável por seu alinhamento é uma barra de metal que impede a passagem dos mesmos, chamada “Flap”. Por segurança, o aparador não deve ficar abaixado em nenhum momento enquanto não tiver produtos se aproximando. Se a máquina for desligada, ele irá recuar, voltando para sua posição inicial, que é elevada, com seu atuador recuado.

A quantidade de produtos que passa pela linha é muito grande. Assim que o produto se aproxima, é alinhado rapidamente, seguindo na linha através da esteira. Próximo ao início da linha, pouco antes do ponto em que o flap será abaixado, há um sensor fotoelétrico que detecta a presença do produto.

A melhor solução encontrada para que as especificações sejam cumpridas está apresentada abaixo. A Figura 45 representa o funcionamento do software em linguagem ladder, responsável por fazer com que o CLP envie os sinais aos atuadores presentes.

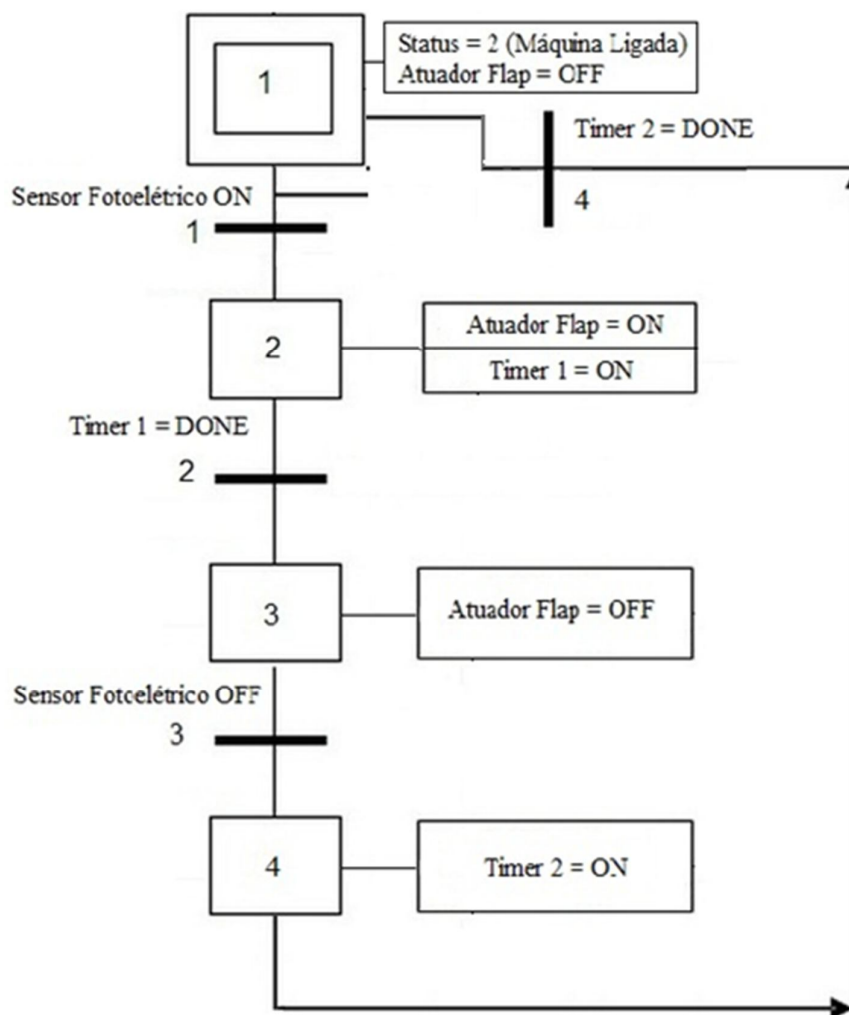


Figura 45 – Passos do aparador Flap para o alinhamento dos produtos

Status Atuador Flap	1	1	0	1
Máquina Ligada	1	1	1	1
Sensor Fotoelétrico	0	1	1	0
Temporizador 1 - DONE	0	0	1	X
Temporizador 2 - DONE	0	0	0	1
Atuador FLAP	1	0	1	1

Tabela 7 – Tabela de Decisão – Grafo de Causa-Efeito

A Tabela 7 exhibe o comportamento do Atuador Flap de acordo com o valor de cada componente. Na parte física do equipamento, existe uma caixa próxima ao aparador. Um sensor indutivo está instalado para detectar a situação dessa caixa, se está aberta ou fechada. Por questões de segurança, esses passos serão executados apenas se essa tampa estiver fechada, caso contrário, nada acontecerá nessa parte e, se houver produto, ele passará diretamente pela linha.

1- A máquina está ligada e o Flap está levantando, permitindo a passagem do produto

2- O sensor fotoelétrico detecta a presença do produto. Por isso, seu atuador é acionado, impedindo a passagem do produto. Além disso, um temporizador começa a contagem de tempo. O tempo pode ser alterado pelo usuário, e esse temporizador garante que o aparador ficará abaixado tempo suficiente para que o produto seja alinhado corretamente.

3- Assim que a contagem termina, o flap levanta novamente, permitindo a passagem do produto.

4 - Ao permitir a passagem do produto no passo anterior, o sensor fotoelétrico deixará de detectar sua presença, iniciando novamente a contagem de tempo em outro temporizador, que tem como objetivo garantir que o produto passará pela linha sem que haja o risco de o Flap abaixar enquanto ele passa. Mesmo que outro produto seja detectado pelo sensor, o atuador não irá funcionar antes que esse tempo tenha passado.

5- Assim que a contagem do tempo se encerra, é possível abaixar novamente o aparador Flap. Isso nos leva de volta ao passo 1, reiniciando a sequência.

#### 4.14 Esteiras, Carrinho e Basculante – Decisão

Essa é a parte do projeto com maior exigência em relação à decisão que será tomada pelo equipamento. Verificando o posicionamento do produto na esteira e do transportador de retirada, irá decidir entre atuar ou não o cilindro basculante, ou seja, decidir se o produto seguirá na linha e será embalado ou ficará esperando na esteira buffer até que seja recolocado na linha.

#### **4.14.1 Esteiras Buffer e Principal**

A esteira principal se movimenta todo o tempo em que a máquina estiver ligada. Ao marcar um ponto na esteira e verificar os sinais enviados pelo encoder, o equivalente a uma volta do encoder refere-se a uma movimentação de 8 cm em relação ao ponto marcado na esteira.

Quando o produto passar pelo sensor fotoelétrico, a informação sobre sua localização é enviada para o CLP e, por meio do mesmo encoder, a distância entre o produto e o atuador basculante pode ser calculada com precisão. Essa informação será utilizada posteriormente na tomada de decisão entre a atuação ou não do basculante.

#### **4.14.2 Transportador de Retirada - Home e Limit**

O transportador de retirada (também chamado de carrinho) é o componente responsável por fazer a transição do produto entre a máquina “Drop Station” e o restante da linha, que será responsável por levar o produto retirado do transportador para a máquina que irá realizar o embalamento.

Ele se movimenta entre dois pontos predeterminados, chamados de “Home” e “Limit”. Saídas do cartão de saída adicional no CLP são utilizadas para representar esses pontos (OUT 10 – Limit Transportador de Retirada e OUT 11 – Home Transportador de Retirada). Essas duas saídas são habilitadas ou desabilitadas de acordo com a informação recebida pelo encoder. Como o nome supõe, “Home” refere-se a quando o encoder informa que o transportador de retirada está no ponto 0, ou ponto inicial. Quando ele der os passos suficientes e atingir o “Limit”, o ponto em que percorreu todo o espaço necessário para entregar o produto, a rotação do motor irá mudar de sentido e, dessa maneira, o carrinho poderá voltar ao ponto inicial e buscar mais produtos. Ao chegar no ponto “Limit” e descarregá-lo, terá seu sentido modificado novamente. A figura abaixo ilustra esse processo:

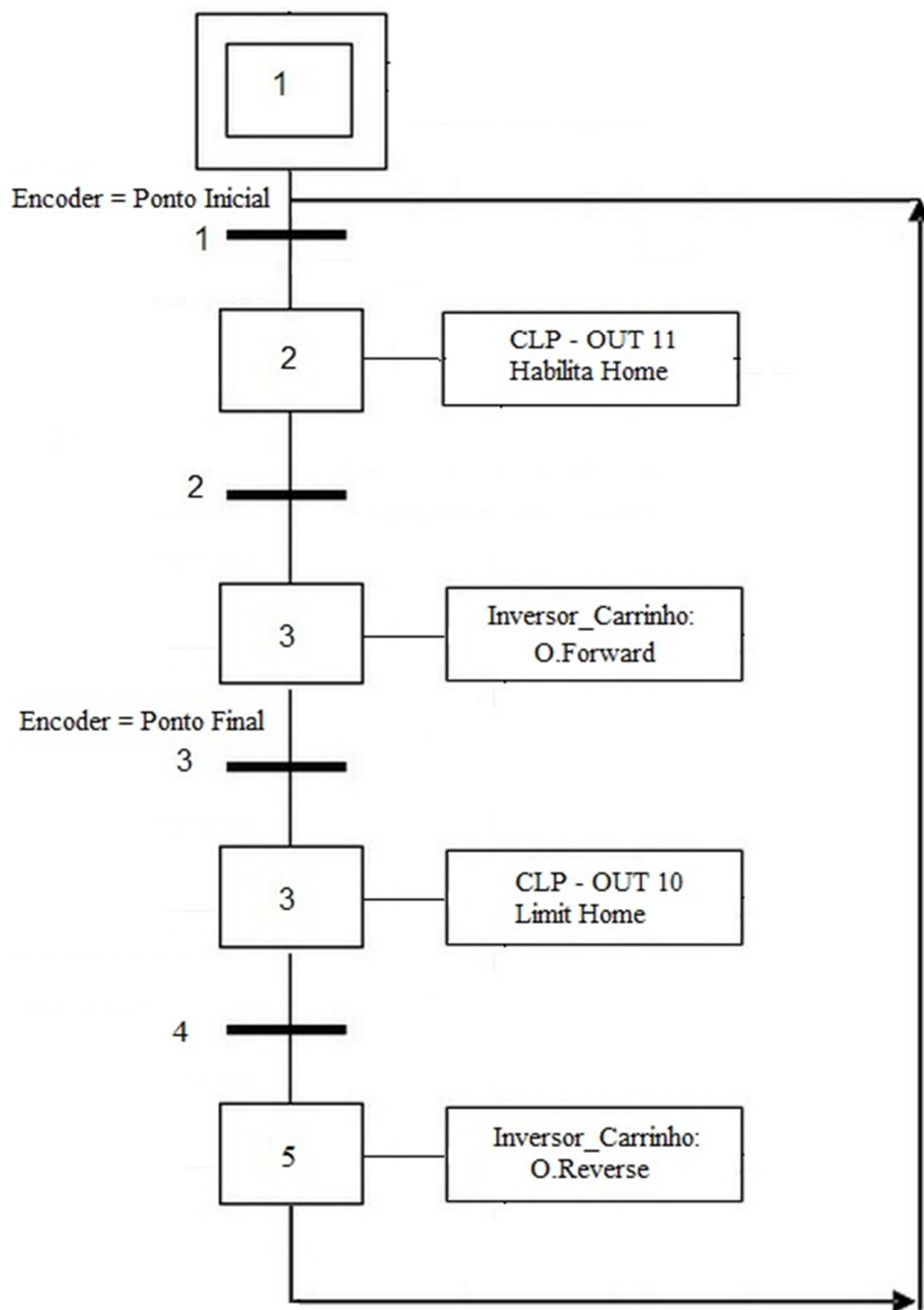


Figura 46 – Esquema ilustrando a inversão no sentido de rotação do transportador de retirada

#### 4.14.3 Basculante

O atuador basculante é o ponto crítico da “Drop Station”. Nele, as informações dos encoders serão avaliadas em conjunto com as informações enviadas pelo sensor fotoelétrico presente na esteira principal. O sensor fotoelétrico segue a lógica do registrador de deslocamento. Ele é de extrema importância para os cálculos de distância,

pois, por meio dele, é possível saber exatamente o tamanho dos produtos e a distância entre eles, o que irá auxiliar o CLP na tomada de decisões. Juntando as informações recebidas pelo sensor fotoelétrico com as informações do posicionamento do transportador de retirada, além daquelas recebidas pelo encoder presente na esteira principal, o CLP poderá decidir se enviará ou não um sinal para atuar o basculante. Se o transportador de retirada não chegar a tempo de retirar o produto, ele irá atuar e enviar o produto para a esteira Buffer, que, por sua vez, dará um passo a cada vez que o basculante atuar e deixar o produto, a fim de liberar espaço para mais produtos, para que, no final da esteira buffer, todos sejam recolocados no início da linha. Sempre que o sensor fotoelétrico acusar a presença de produtos, os passos abaixo serão executados e a decisão seguirá a seguinte lógica:

1 – O sensor irá avaliar qual das duas saídas foi acionada mais recentemente (Home ou Limit), para saber se o carrinho está levando produtos ou voltando vazio, para receber mais produtos.

2 – O sensor avalia o sinal recebido pelo encoder do carrinho com seu posicionamento atual. Também verifica o sinal proveniente do sensor fotoelétrico e a posição da esteira principal de acordo com o encoder.

3 – Juntando os itens 1 e 2, a localização do produto na esteira e a localização atual do carrinho, os seguintes valores são observados:

$\Delta 1$  = Distância entre o transportador de retirada e a posição Home (ou Limit)

$\Delta 2$  = Distância entre o produto na esteira principal e o basculante

$$(1) T1.1 = \frac{\Delta 1}{v1} \text{ ou } (1.1) T1.2 = \frac{\Delta 1}{v1} + T0$$

$$(2) T2 = \frac{\Delta 2}{v2}$$

$T0$  – Tempo necessário para que o transportador de retirada passe de “Home” até “Limit”

$T1$  – Tempo que o transportador de retirada irá levar até chegar na posição “Home”(1) e (1.1)

$T2$  – Tempo que o produto irá demorar para chegar até o atuador basculante (mesmo ponto em que o transportador de retirada atinge a posição “Home”) (2)

$V1$  – Velocidade do transportador de retirada

$V2$  – Velocidade da esteira principal.

A equação  $T1.2$  é utilizada caso o transportador de retirada esteja elevando produtos até a posição “Limit”. Essa fórmula calcula o tempo necessário para que ele deixe o produto e volte até a posição “Home”. O intuito dos cálculos exibidos acima é determinar o tempo que o produto levará para chegar ao transportador de retirada e o tempo que o mesmo levará para voltar à sua origem. Se o produto chegar antes do transportador, então o basculante irá atuar:

4.1 – Se  $T1 < T2$ , o basculante recua e o transportador de retirada levará os produtos para o embalamento normalmente. Se a saída “Home” estiver acionada, indica que o transportador de retirada também está no ponto inicial.

4.2 – Se  $T1 \geq T2$ , o basculante avança e o produto é levado até a esteira buffer.

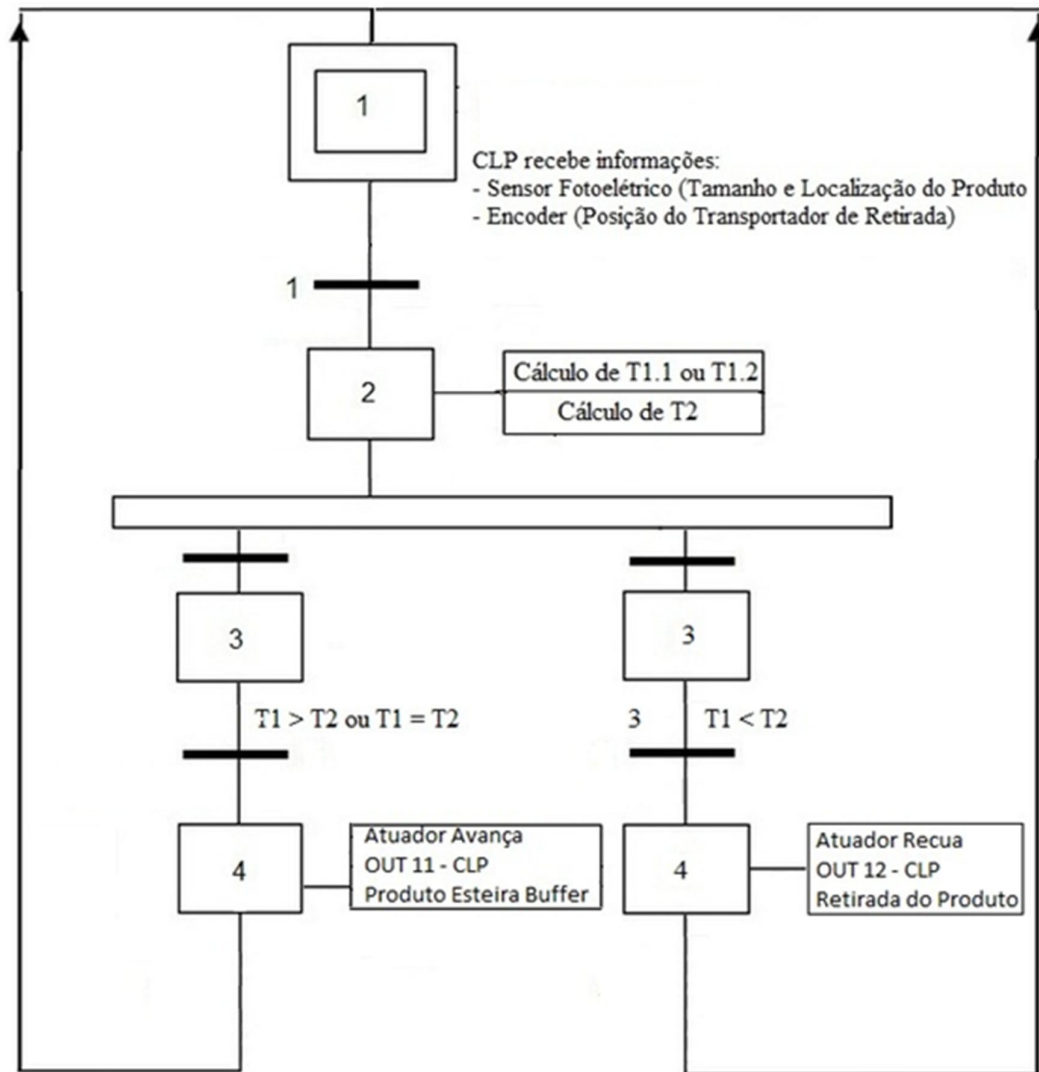


Figura 47 – Lógica de decisão do basculante

#### 4.15 Alinhamento das Esteiras (Principal e Buffer)

Apesar de parecer apenas um detalhe, o alinhamento automático das esteiras é uma parte muito importante do projeto. Em uma máquina como esta, projetada para operar com grande volume de produtos ininterruptamente, é inviável parar a linha de produção devido a uma esteira desalinhada, o que não é difícil de ocorrer. Além disso, essas esteiras possuem um

valor considerável dentro do projeto, e qualquer danificação que possam vir a sofrer é um grande prejuízo.

A solução encontrada para este problema foi a instalação de dois cilindros na lateral da máquina, próximos à esteira. Esses cilindros são dispostos um de frente para o outro, estão ligados à esteira e presos na lateral da máquina.

Próximo ao ponto em que a esteira está ligada aos cilindros, há dois sensores indutivos, também ligados à esteira. Eles são separados por um pequeno espaço central, onde há um metal que pode ser detectado por esses sensores, e são puxados pela esteira para os sensores 1 ou 2, dependendo do lado do desalinhamento. Assim que o sensor é acionado, um temporizador passa a funcionar, contando um tempo de 200ms, que pode ser ajustado pelo usuário.

Apesar de 200ms parecer um intervalo de tempo muito pequeno, é o ideal, pois é o suficiente para que seja possível ter a garantia de que a esteira não está em sua posição original. Se o tempo entre o desalinhamento e a atuação para voltá-la for grande, a esteira pode ser danificada.

O objetivo principal do temporizador é evitar que os cilindros atuem sem necessidade, já que, devido à sua proximidade, os sensores acabam detectando o metal por tempos extremamente pequenos, o que significa que a esteira não está, de fato, desalinhada. Decorrido este tempo, o CLP irá fazer com que um dos dois cilindros, o correto, corrija esse desalinhamento específico, seguindo a sequência de passos exibidos nas figuras abaixo.

As figuras possuem basicamente a mesma lógica, a única diferença é referente ao lado para o qual a esteira seja desalinhada, que irá acionar sensores e atuadores diferentes de acordo com a necessidade do momento. As tabelas de Causa-Efeito mostram como se comportam cada atuador de acordo com os outros componentes.

Sensor 2	1	1	0
Temporizador 1 - DONE	0	1	X
Status Cilindro 1	0	0	1
Temporizador 2 - DONE	0	0	1
Cilindro 1	0	1	0

Tabela 8 – Tabela de Decisão – Grafo de Causa-Efeito

Sensor 1	1	1	0
Temporizador 1 - DONE	0	1	X
Status Cilindro 2	0	0	1
Temporizador 2 - DONE	0	0	1
Cilindro 2	0	1	0

Tabela 9 – Tabela de Decisão – Grafo de Causa-Efeito

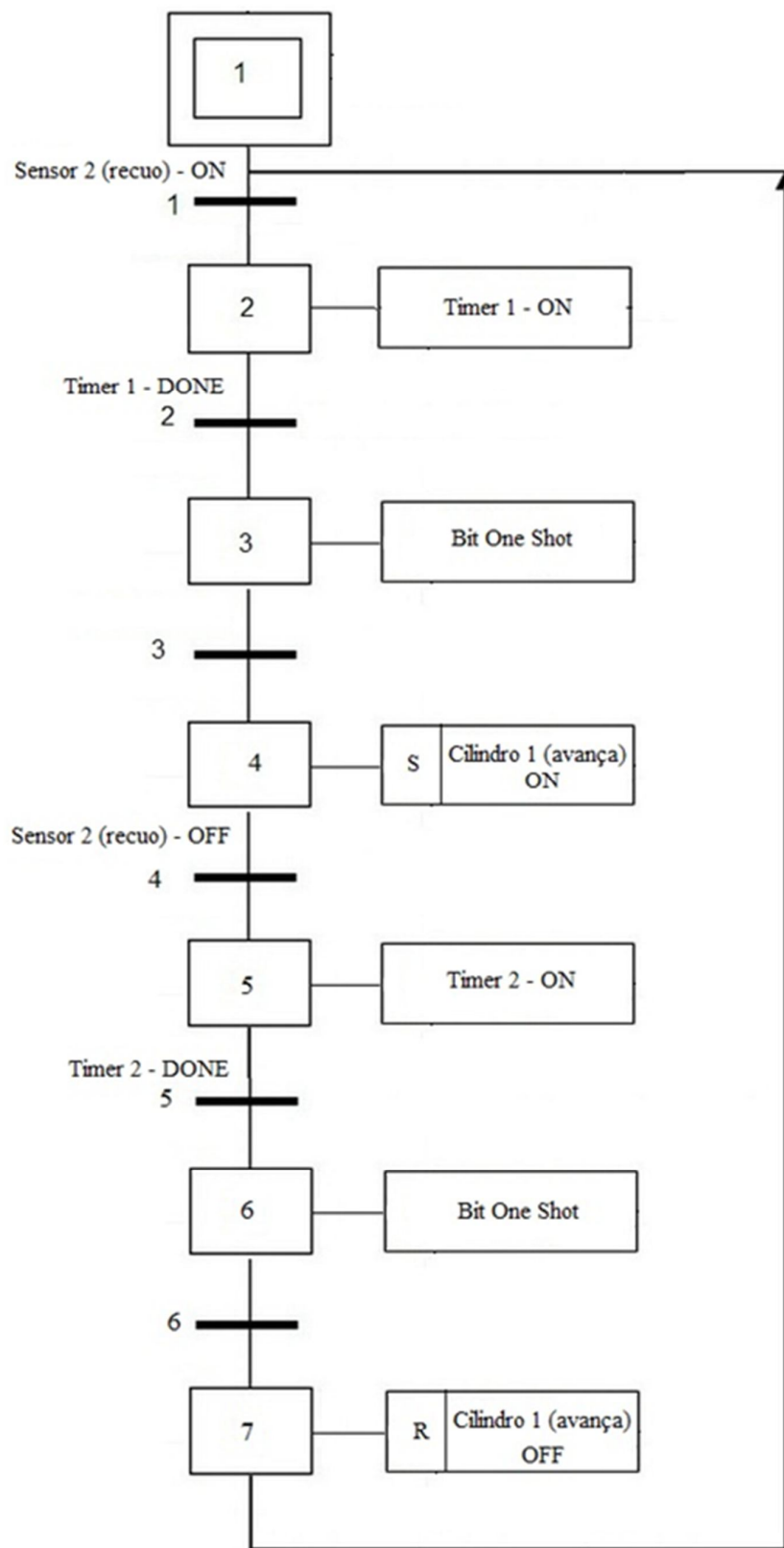


Figura 48 – Sequência de passos para o Alinhamento da Esteira (Avança o atuador)

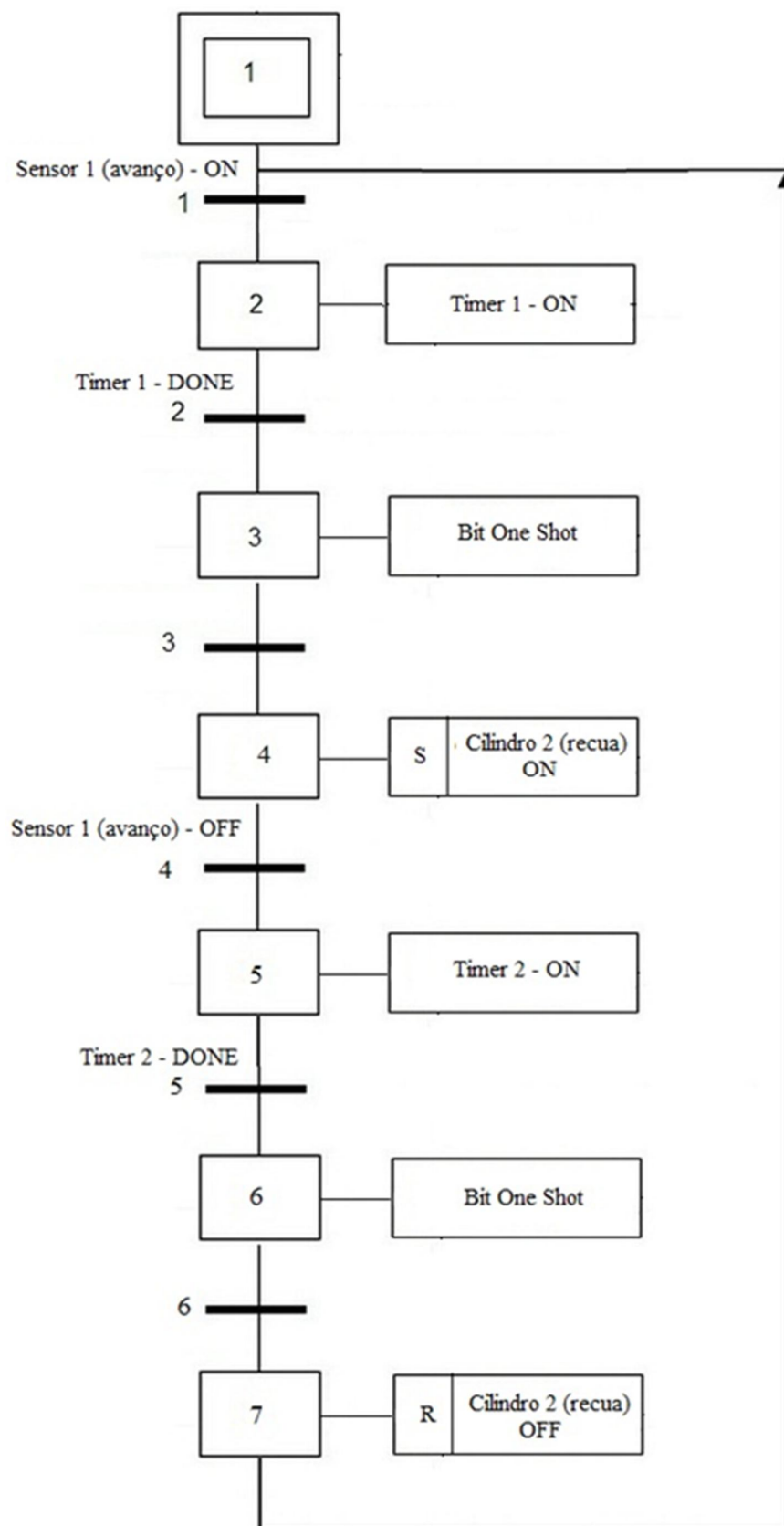


Figura 49 - Sequência de passos para o Alinhamento da Esteira (Recua o atuador)

Os passos da Figura 49 estão comentados abaixo. A lógica é exatamente a mesma do ilustrado na Figura 48, com diferença apenas nos sensores e atuadores.

1 – O sensor indutivo 1 é acionado, devido ao desalinhamento da esteira

2 – Um temporizador de 200 ms começa a contar. O passo 3 será executado quando o temporizador finalizar a contagem, para garantir que de fato a esteira está desalinhada, pois o sensor pode receber alguns pulsos que não caracterizam necessariamente o desalinhamento.

3 – Bit One Shot

4 – O cilindro 1 é ligado e avança até o ponto em que o sensor indutivo 1 irá desacionar; com isso a esteira volta a ficar alinhada

5 – Um temporizador de 200 ms começa a contar. O passo 6 será executado quando o temporizador finalizar a contagem, para garantir, analogamente ao item 2, que a esteira realmente está alinhada

6 – Bit One Shot

7 – O cilindro 1 é desligado

## **4.16 Softwares**

Três softwares da Allen-Bradley foram utilizados no projeto:

### **4.16.1 Logix 5000**

É nesse software que está presente toda a lógica utilizada para controlar as funções do equipamento através do CLP.

Nele foram criadas todas as linhas de comando em linguagem Ladder, todas as variáveis, bits auxiliares, contatos de atuadores, sensores, inversores, enfim, tudo relacionado à lógica de programação da máquina.

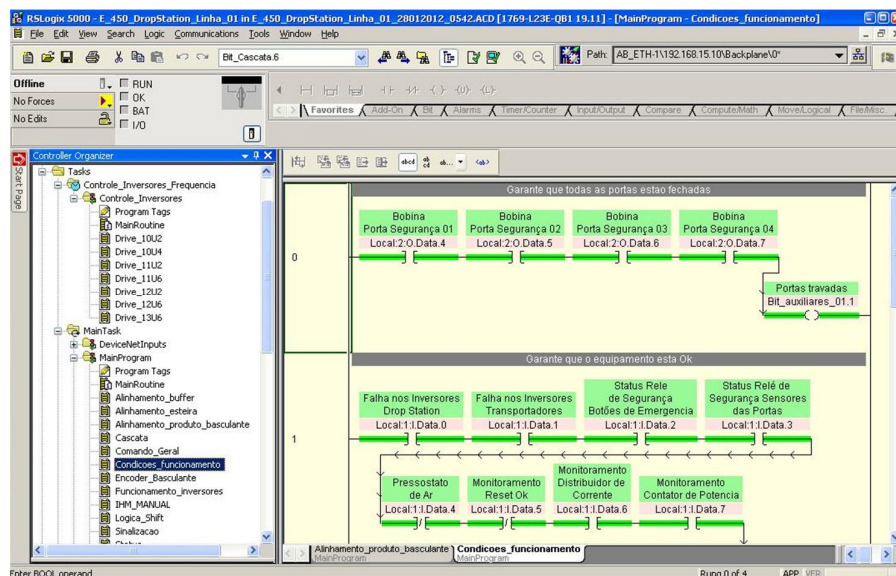


Figura 50 – Logix 5000

#### 4.16.2 DeviceNet Tag Generator

O DeviceNet Tag Generator é utilizado na integração entre os parâmetros dos inversores e o software criado através do Logix 5000.

O usuário desse software escolhe o arquivo que foi criado no Logix 5000 e o DeviceNet Tag Generator gera a comunicação entre os inversores e o software, ou seja, após sua utilização, os parâmetros dos inversores passaram a ser vistos pelo Logix5000.

Seu funcionamento é extremamente simples, se a rede estiver configurada corretamente, basta seu usuário selecionar o arquivo salvo pelo Logix 5000 e escolher as opções seguintes que o próprio programa irá reconhecer.

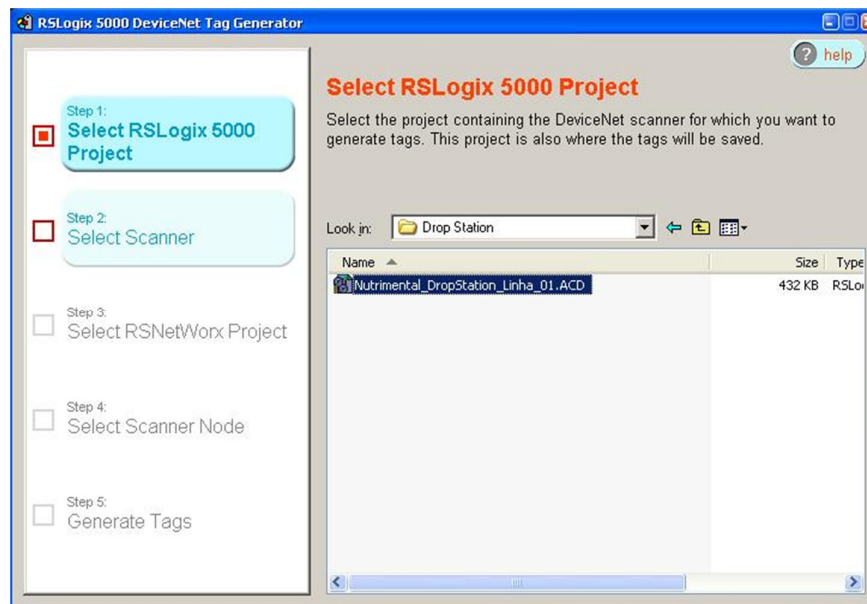


Figura 51 – DeviceNet Tag Generator

### 4.16.3 Drive Executive

Esse software é específico para a configuração dos inversores de frequência. Funciona online/offline(em relação ao inversor) e é através desse software, e do ajuste de alguns parâmetros que é possível comunicar e receber os dados do encoder presente em dois dos inversores do projeto, e assim, utilizar as informações enviadas por ele na lógica presente no projeto.

The screenshot shows the 'DriveExecutive' software interface. The main window is titled 'DriveExecutive [Powerflex 40P Node 192.168.15.13.dno - <PowerFlex 40P>]'. The 'Port 0: Parameter List' window is open, displaying a table of parameters for the '0 - PowerFlex 40P' device. The table has columns for #, Parameter Name, Value, Units, Internal Value, Comment, Default, Min, Max, and Alias. The parameters listed include frequency (Freg), status (Status), torque (Torque), and various fault codes (Codigo). The 'Parameters' button is visible at the bottom of the window.

#	Parameter Name	Value	Units	Internal Value	Comment	Default	Min	Max	Alias
1	Freg saída	0.00	Hz	0		0.00	0.00	500.00	
2	Freg comandada	0.00	Hz	0		0.00	0.00	500.00	
3	Corrente saída	0.00	A	0		0.00	0.00	2.80	
4	Tensão de saída	0.00	V	0		0.00	0.00	999.9	
5	Tensão barram CC	570	V	570		0	0	1200	
6	Status Inversor	00000000000000000010		0		00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	
7	Código falha 1	4		0		0	0	9999	
8	Código falha 2	91		91		0	9999	0	
9	Código falha 3	4		91		0	9999	0	
10	Display processo	0		0		0	0	9999	
11	Fonete controle	112		112		0	0	512	
12	Status ent ctrl	00000000000000000000		4		00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	
14	Status ent dg	00000000000000000000		0		00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	
15	Status comun	00000000000000000000		0		00000000000000000000	00000000000000000000	00000000000000000000	
16	Versão SW	2.01		201		0.00	0.00	99.99	
17	Tip de Inversor	5502		5502		0	0	7000	
18	Tempo decrdo	0	x10h	0		0	0	9999	
19	Dados pto teste	001000111100111001110		9166		00000000000000000000	00000000000000000000	11111111111111111111	
20	Ent Anla D-10V	0.0	%	0		0.00	0.00	999.9	
21	Ent Anla 4-20mA	0.0	%	0		0.00	0.00	999.9	
22	Pot. de Saída	0.00	kW	0		0.00	0.00	99.99	
23	Fator Pot. Saída	0.0	deg	0		0.00	0.00	999.9	
24	Temp Inv	37	C	37		0	0	120	
25	Status contador	0		0		0	0	9999	
26	Status conômio	0	Sec	0		0	0	9999	
28	Status Lóg. Par.	0		0		0	0	8	
29	Corrente Torque	0.00	A	0		0.00	0.00	2.80	
31	Tensão nominal	380	V	380		460	70	460	
32	Freq nominal	60	Hz	60		60	10	500	
33	Sobrecarga motor	1.4	A	14		1.4	2.8	0	
34	Freq mínima	0.00	Hz	0		0.00	0.00	500.00	
35	Freq. máxima	100.00	Hz	10000		60.00	0.00	500.00	
36	Fonete de partida	Port Comun.		0		Port Comun.	3 fios	CatMontr/Rev	
37	Modo de parada	Rampa, CF		0		Rampa, CF	Rampa, CF	Ramp+CrpEM	

Figura 52 - DriveExecutive

## 5. Resultados

A máquina foi testada com o produto que será utilizado na indústria, as barras de cereal. Apesar do fato de que o usuário tem condições de fazer ajustes que alteram as configurações de funcionamento da máquina, podendo variar o volume de produtos levados em relação ao tempo, a máquina foi testada de acordo com as condições consideradas ideais e que irão transportar a quantidade de produtos exigida pelo cliente no tempo desejado.

A capacidade de produtos é de aproximadamente 600/min. Como a esteira possui 1300 mm de largura, é capaz de transportar até 26 produtos por fila. Em um minuto de execução, a máquina transporta até 23 filas de produtos, totalizando 598 produtos.

Essa quantidade de produtos pode variar de acordo com o número de filas de produtos rejeitadas pelo transportador de retirada e que são levadas à esteira buffer. Isso acontece apenas quando as filas de produto estão muito próximas umas das outras, fazendo com que o transportador não chegue a tempo para retirar a segunda fila da sequência. A quantidade de produtos levados à esteira buffer depende da proximidade entre os produtos, mas, em geral, poucas filas são retiradas da linha de produção por esse motivo, pois o transportador de retirada possui grande velocidade na retirada dos produtos.

O volume de produtos por minuto, adequou-se ao valor pedido pela empresa compradora do equipamento.

O atuador basculante funcionou corretamente, então sempre que o transportador de retirada não chegar a tempo de retirar o produto da linha, esse atuador será acionado e o produto levado à esteira buffer.

A frequência de funcionamento dos inversores das esteiras pode ser escolhido pelo usuário, o que altera a quantidade de produtos por minuto. Com isso diminui-se a participação do atuador basculante, já que o inversor do transportador de retirada está numa frequência maior do que a esteira principal.

## **6. Conclusões**

Como pode ser observado nos Resultados, as expectativas em relação ao equipamento foram atingidas. Os atuadores funcionaram corretamente, acionando sempre no momento exato. Portanto, o principal objetivo desse Trabalho de Conclusão de Curso foi cumprido, que era solucionar a incapacidade de tomar decisões de um equipamento.

Apesar do foco principal ser sobre a lógica de programação da Drop Station, é impossível separar as áreas, ou seja, muitos conceitos da Engenharia Elétrica estiveram envolvidos. Pode-se verificar a comunicação entre software e hardware na hora das tomadas de decisão, acionando os atuadores. Há também, integração com eletrônica de potência, através dos inversores de frequência, que são utilizados para acionar motores.

Pode-se verificar também como os sensores enviam sinal para o CLP, e como eles podem ser utilizados na lógica do software em ladder, através de diversos tipos de contato, no caso os Normalmente abertos e Normalmente fechados.

Os sensores foto-elétricos também são de extrema importância para o projeto, já que é através de um desses sensores, junto ao encoder, que é possível saber a localização exata do produto em determinado momento. Permite também saber a distância exata entre as amostras de produtos, bem como seu tamanho. O encoder também é importante na localização do transportador de retirada. Pode-se saber a localização exata do transportador por causa dele.

Os blocos da linguagem ladder exibidos em Referências Bibliográficas foram utilizados ao longo do projeto e, através desses blocos e outros presentes na linguagem ladder, muitos outros problemas da indústria em relação à capacidade limitada dos equipamentos de tomarem decisões podem ser sanados.

## 7. Referências Bibliográficas

1. da Silva, M.E. **Curso de Automação Industrial**. Escola de Engenharia de Piracicaba – EEP , Piracicaba – SP. 2007.
2. Martins, G.M. **Princípios de Automação Industrial**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 2007
3. Silva, E.C.N.S. **Apostila de Pneumática**. Escola Politécnica da USP, São Paulo-SP. 2002
4. Rockwell Automation. [Online] Disponível em < <http://ab.rockwellautomation.com/>> [Acesso em 25 de outubro de 2012]
5. Ribeiro, M.A. **Automação Industrial**. 4a. edição. Tek Treinamento e Consultoria LTDA, Salvador-BA. 2001
6. Kopelvski, M.M. **Teoria de CLP**. 2010. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Disponível em: <[http://www.catalao.ufg.br/mat/docentes/stoppa/ap\\_CLP.pdf](http://www.catalao.ufg.br/mat/docentes/stoppa/ap_CLP.pdf)> Acesso em: 20 de outubro 2012.
7. de Oliveira, M.A. **Encoder**. Instituto Federal de Educação Tecnológica do Mato Grosso.Disponível em <<http://www.redeprof.cba.ifmt.edu.br/~mario/Encoder%20%5BModo%20de%20Compatibilidade%5D.pdf>> Acesso em: 20 de outubro 2012.
8. WEG EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS S/A. **Guia de Aplicação de Inversores de Frequência WEG** - 3ª edição.
9. Brandão, D. **Notas de Aula – SEL0406**, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.