

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
*Campus* DIVINÓPOLIS  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA

Wesley de Sousa Faria

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETROPNEUMÁTICO DE ENVASAMENTO PARA  
UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS



Divinópolis  
2019

Wesley de Sousa Faria

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETROPNEUMÁTICO DE ENVASAMENTO PARA  
UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Colegiado de Graduação em Engenharia Mecatrônica como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica e Automação.

Orientador: Prof. Me. Juliano de Barros Veloso e Lima

Divinópolis  
2019

Wesley de Sousa Faria

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA ELETROPNEUMÁTICO DE ENVASAMENTO PARA  
UMA INDÚSTRIA DE BEBIDAS

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentada ao Colegiado de Graduação em En-  
genharia Mecatrônica como parte dos requisitos  
exigidos para a obtenção do título de Engenheiro  
Mecatrônico.

Áreas de integração: Mecânica e Automação.

Comissão Avaliadora:

Prof. Me. Juliano de Barros Veloso e Lima  
CEFET/MG *Campus V*

Prof. Me. Amanda Fernandes Vilaça Mar-  
tins  
CEFET/MG *Campus V*

Prof. Me. Diêgo Fernandes da Cruz  
CEFET/MG *Campus V*

Divinópolis  
2019

DEDICO ESTE TRABALHO AOS  
MEUS PAIS E AMIGOS PELO INCEN-  
TIVO E APOIO DURANTE TODOS ES-  
SES ANOS DE CURSO.

# Agradecimentos

Agradeço,

primeiramente aos meus pais, Edson e Elionete, que me apoiaram, instruíram e acompanharam, não só durante a realização deste trabalho mas também em todo o decorrer do curso. E apesar das dificuldades sempre estiveram presentes.

Aos meus amigos Thiago, Flávio, Marcony, Cortez e Leo pelas risadas, jogatinas e conselhos que serviram como um alívio diante das mais diversas situações.

A todos os meus amigos da Mecatrônica e turma 8 que sempre estiveram comigo enfrentando provas, trabalhos e dificuldades que só quem passa por uma federal conhece.

A Daiane, que me ajudou e aconselhou, escutando reclamações e me auxiliando muito na revisão e montagem desse texto.

Ao professor Juliano, que aceitou me orientar na realização deste projeto e apesar das muitas atividades que executa, conseguiu encontrar tempo para me ajudar e guiar em momentos de dificuldade.

E a todos os demais professores, técnicos e funcionários do CEFET que aconselharam, ensinaram ou que de alguma forma fizeram parte dessa etapa que por mais difícil que tenha sido, teve seus momentos de diversão, alegria e sem dúvida me ajudaram a crescer não só como profissional mas também como pessoa.

A vida é uma sequência de encontros inéditos com o mundo, e portanto ela não se deixa traduzir em fórmulas de nenhuma espécie.

Clóvis de Barros Filho

# Resumo

A proposta do presente trabalho é o desenvolvimento de um projeto de sistema eletropneumático de envasamento de garrafas para uma empresa de laticínios da cidade de Divinópolis - MG, contemplando as áreas da Mecânica e Automação. A máquina projetada é capaz de encher e tampar de forma semi autônoma frascos de iogurte que atualmente, na indústria em questão, tem seu processo de movimentação e fechamento feitos de forma manual. Para o deslocamento das embalagens, o equipamento conta com uma esteira que funciona através de um conjunto composto de uma corrente de arraste e uma catraca movida por um atuador pneumático. Além disso, um segurador é utilizado para auxiliar durante o processo de selagem, a fim de evitar a flambagem das embalagens e o derramamento do líquido. Um outro cilindro é responsável por pressionar as tampas, que assim como as garrafas, são posicionadas manualmente por um operador. Para a identificação e acionamento dos sistemas de envase e de fechamento são utilizados dois sensores de proximidade. O sistema de bombeamento de iogurte usado anteriormente pela empresa foi mantido. Visando o baixo custo de montagem, utiliza-se de um microcontrolador para o recebimento e processamento de dados enviados pelos sensores. Este componente também é responsável por comandar todo o circuito de controle da máquina. Ao fim de cada etapa são realizadas simulações e representações do sistema projetado em softwares específicos, com o intuito de identificar possíveis erros e corrigi-los. Assim, este projeto buscou possibilitar a montagem posterior de um equipamento com um maior rendimento, economia de mão-de-obra e que reduza custos de produção para a empresa.

Palavras-chave: Bebidas, Automação, Envasadora, Iogurte.

# Abstract

The purpose of this work is the development of project of an electropneumatic bottle filling system for a dairy company in the city of Divinópolis - MG, covering the areas of Mechanics and Automation. The engineered machine is capable of semi-autonomously filling and capping yogurt bottles which currently, in said industry, have their movement and closing process done manually. For the displacement of the packages, the equipment has a conveyor belt that works through a set composed of a drag chain and a ratchet driven by a pneumatic actuator. In addition, a holder is used to assist during the sealing process to prevent buckling of packaging and spillage of liquid. Another cylinder is responsible for pressing the lids, which like the bottles, are manually positioned by an operator. For the identification and activation of the filling and closing systems, two proximity sensors are used. The company's former yogurt pumping system was maintained. Aiming at low assembly cost, a microcontroller is used for receiving and processing data sent by the sensors. This component is also responsible for commanding the entire control circuit of the machine. At the end of each step, simulations and representations of the designed system are performed in specific software, in order to identify possible errors and correct them. Thus, this project sought to enable the subsequent assembly of equipment with higher efficiency, labor-saving and reducing production costs for the company.

Keywords: Drinks, Automation, Potting Machine, Yogurt.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	<b>xii</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Acrônimos e Notação</b>	<b>xiv</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	2
1.2 Definição do Problema . . . . .	2
1.3 Objetivos do Trabalho . . . . .	3
1.3.1 Objetivo Geral . . . . .	3
1.3.2 Objetivos específicos . . . . .	3
1.4 Estado da Arte . . . . .	4
1.5 Organização do Documento . . . . .	6
<b>2 Fundamentos</b>	<b>7</b>
2.1 Revisão Bibliográfica . . . . .	7
2.2 Fundamentação Teórica . . . . .	9
2.2.1 Sistema Transportador . . . . .	9
2.2.2 Correntes e Engrenagens . . . . .	15
2.2.3 Eletropneumática e Sistemas Eletropneumáticos . . . . .	17
2.3 Microcontroladores . . . . .	25
2.3.1 PIC 18F2550 . . . . .	26
2.4 Controlador Lógico Programável - CLP . . . . .	27
2.4.1 Linguagem Ladder . . . . .	28
<b>3 Metodologia</b>	<b>30</b>
3.1 Modelo Máquina Manual . . . . .	30
3.2 Modelo Mecânico do Sistema Automatizado . . . . .	32
3.3 Projeto de Automação . . . . .	33
3.3.1 Dimensionamento dos Atuadores . . . . .	35
3.3.2 Método Alternativo : Implementação em PLC . . . . .	36
3.4 Projeto do Circuito de Comando . . . . .	38
3.4.1 Programação Microcontrolador . . . . .	40
3.4.2 Simulação de Funcionamento da Máquina . . . . .	42
3.5 Dimensionamento da Corrente de Arraste e das Engrenagens . . . . .	43

---

3.6	Representação Mecânica . . . . .	44
3.7	Orçamento Sistema Redler . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>49</b>
4.1	Conclusões . . . . .	49
4.2	Propostas de continuidade . . . . .	50
<b>A</b>	<b>Códigos</b>	<b>52</b>
A.1	Código Modelo Arraste Corrente Redler . . . . .	52
<b>B</b>	<b>Catálogos</b>	<b>54</b>
<b>C</b>	<b>Dados Técnicos</b>	<b>58</b>
	<b>Referências</b>	<b>63</b>

# Lista de Figuras

1.1	Envasadora Rotativa MAQ-2-R (TEKMILK, 2019) . . . . .	4
1.2	Envasadora Linear MAQ-2-L (TEKMILK, 2019) . . . . .	5
2.1	Modicon 084 - Primeiro Controlador Lógico Programável (SCHNEIDER ELECTRIC BRAZIL, 2019) . . . . .	8
2.2	Correia para Esteira Transportadora (TERRA NOVA DISTRIBUIDORA, 2015) . . . . .	10
2.3	Tambor motriz revestido em cerâmica (CARNIZELLO, 2011) . . . . .	11
2.4	Esquemático de um tambor em corte (CARNIZELLO, 2011) . . . . .	12
2.5	Rolete Plano (CARNIZELLO, 2011) . . . . .	12
2.6	Rolete Inclinado (CARNIZELLO, 2011) . . . . .	13
2.7	Rolete Inclinado (HADEROB USINAGEM, 2019) . . . . .	13
2.8	Motor Trifásico (WEG Brazil, 2019) . . . . .	14
2.9	Componentes Corrente de Rolo (ANDRADE, 2010) . . . . .	15
2.10	Dimensões Engrenagem Cilíndrica (GORDO; FERREIRA, 2009) . . . . .	17
2.11	Esquemático em Corte de Cilindro de Ação Simples (SILVA, 2002) . . . . .	18
2.12	Cilindro de Ação Simples (TA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 2019) . . . . .	18
2.13	Representação Simbólica Normalizada Cilindro de Ação Simples (a) normalmente retraído com retorno por mola (b) normalmente distendido com retorno por mola (FIALHO, 2006) . . . . .	19
2.14	Esquemático em Corte de Cilindro de Dupla Ação (SILVA, 2002) . . . . .	19
2.15	Cilindro de Dupla Ação (AUTOMAÇÃO FRANCA, 2019) . . . . .	19
2.16	Representação Simbólica Normalizada Cilindro de Dupla Ação (FIALHO, 2006) . . . . .	20
2.17	Cilindro Pneumático Rotativo (LOJA DUPLA AÇÃO, 2019) . . . . .	20
2.18	Representação Simbólica Normalizada Cilindro Oscilante (FIALHO, 2006) . . . . .	21
2.19	Diagrama Representativo Circuito Eletropneumático (BONACORSO; NOLL, 1997) . . . . .	23
2.20	Representação Vias nos quadrados de posição (BONACORSO; NOLL, 1997) . . . . .	24
2.21	Válvula Eletropneumática 5/2 com acionamento unidirecional (SILVEIRA, 2014) . . . . .	24
2.22	Válvula Eletropneumática 4/2 com acionamento bidirecional (BONACORSO; NOLL, 1997) . . . . .	25
2.23	Diagrama de Identificação de terminais PIC18F2550 (MICROCHIP INC., 2019) . . . . .	27
2.24	Diagrama de blocos de um PLC (SILVA, 2012) . . . . .	27

2.25	Exemplo de Diagrama ladder (CASILLO, 2010)	28
2.26	Representação Principais Símbolos Ladder (LEITE, 2014)	29
3.1	Máquina Manual utilizada no Laticínio	30
3.2	Vista Ampliada Máquina Manual	31
3.3	Corrente Transportadora de Arraste tipo Redler (INDUSCORE, 2019)	32
3.4	Diagrama Pneumático Envasadora	33
3.5	Diagrama Elétrico Envasadora	34
3.6	Diagrama Ladder Envasadora	37
3.7	Placa Microcontrolada $\mu$ Start (EMBARCADOS, 2019)	39
3.8	Sensor de Proximidade Infravermelho E18-D80NK (MASTER WALKER ELECTRONIC SHOP, 2019)	39
3.9	Módulo Relé 1 canal 5V(AUTOCORE ROBÓTICA, 2019)	40
3.10	Diagrama de blocos completo envasadora	41
3.11	Circuito utilizado para a simulação no Proteus	42
3.12	Especificações Corrente Rendler Seleccionada - Tipo T	43
3.13	Representação sistema de envase da máquina automática	44
3.14	Representação sistema tampador da máquina automática	45
3.15	Vista frontal da Sistema Pneumático de Arraste da Corrente	45
3.16	Vista Lateral/Frontal da máquina automatizada com carga	46
3.17	Vista Lateral/Frontal máquina automatizada vazia	46
B.1	Página Catálogo Correntes Cerello (CERELLO, 2019)	54
B.2	Página Catálogo Engrenagens Cerello (CERELLO, 2019)	55
B.3	Página Catálogo Correntes Induscor (INDUSCORE, 2019)	56
B.4	Página Catálogo Engrenagens Induscore (INDUSCORE, 2019)	57
C.1	Dados técnicos cilindro selecionado para movimentação da esteira (FESTO, 2019)	58
C.2	Dados técnicos cilindro selecionado para o Segurador e Posicionador de Garrafas (FESTO, 2019)	59
C.3	Dados técnicos cilindro selecionado para o Tampador de Garrafas (FESTO, 2019)	60
C.4	Dados técnicos PIC 18f2550 (MICROCHIP, 2019)	61

# Lista de Tabelas

2.1	Fatores de Correção de Força . . . . .	21
3.1	Especificações Técnicas Placa Microcontrolada . . . . .	38
3.2	Orçamento Componentes Sistema com Corrente de Arraste . . . . .	48
C.1	Especificações Técnicas Sensor de Proximidade . . . . .	62

# Lista de Acrônimos e Notação

CLP	Controlador Lógico Programável
IHM	Interface Homem Máquina
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
IMA	Instituto Mineiro de Agropecuária
PIC	<i>Programmable Interface Controller</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
MODICON	<i>Modular Digital Controller</i>
UCP	Unidade Central de Processamento
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
NA	Normalmente aberto
NF	Normalmente fechado
ICSP	<i>In Circuit Serial Programming</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>

## Introdução

A globalização e com ela o aumento da concorrência, junto à elevação dos níveis de exigências dos consumidores são assuntos que requerem atenção por parte das empresas. Inovação em produtos e processos de produção e melhorias nos já existentes são necessidades reais e inevitáveis. O investimento em desenvolvimento de produtos e a implementação de novas tecnologias na indústria de alimentos resultam não só no aumento da competitividade, mas também em melhorias na eficiência, produtividade e lucratividade.

Uma das justificativas desse aumento produtivo é que, com o uso de máquinas automatizadas e de robôs em processos industriais torna-se possível a execução de funções repetitivas por longos períodos sem a necessidade de pausas ou elementos de conforto como os requeridos por funcionários humanos. Isso permite ainda uma redução de acidentes devido ao cansaço e a condições insalubres. Além desses fatores, no caso da indústria de alimentos em que se deseja um grande cuidado em questões de higiene, a utilização de processos automatizados reduz os focos de contaminação.

Apesar de hoje existirem no mercado diversas desenvolvedoras que tem como objetivo a elaboração de máquinas para esse fim, em empresas de menor porte, ainda existe uma grande parte do processo produtivo sendo realizado manualmente. No ramo de laticínios por exemplo, máquinas que executam tarefas simples como rotular e tampar garrafas, normalmente exigem um investimento muito alto e em muitas vezes não atendem a necessidade do cliente.

Neste sentido, a proposta deste trabalho é o projeto de uma máquina envasadora de garrafas de iogurte que tenha suas funções de movimentação e fechamento de embalagens realizadas por atuadores pneumáticos. Além disso, busca-se obter um equipamento que exija um investimento menor do que a compra de um maquinário novo. Com isso, deseja-se ser capaz de desenvolver uniformidade na linha de produção, sem que sejam necessárias pausas, buscando aumentar a produtividade e a redução de custos.

## 1.1 Motivação

O processo de automação industrial dentro das empresas reflete a necessidade não apenas da constante diminuição dos custos de produção como também as exigências cada vez maiores do mercado que se baseia em padrões de qualidade para aquisição dos produtos.

Com um consumidor cada vez mais crítico, a adoção de cadeias produtivas especializadas que assegurem o abastecimento contínuo dos estoques com qualidade tornou-se essencial para a sobrevivência dessas indústrias no mercado.

Para o caso específico de indústrias de alimentos esse tipo de projeto traz melhorias bem além de apenas reduzir custos. A substituição do funcionário humano por máquinas automatizadas possibilita uma diminuição considerável dos focos de contaminação permitindo que a matéria-prima e demais insumos utilizados sejam manejados com maior segurança. Além disso, em muitos casos através da automação é possível reduzir consideravelmente o consumo energético da empresa e otimizar o uso de água no processo produtivo, evitando desperdícios financeiros e trazendo um comprometimento do meio ambiente.

Todos esses fatores somados ao envolvimento do autor com a área de alimentos, contribuíram para a escolha e proposição deste tema.

## 1.2 Definição do Problema

Os consumidores estão cada vez mais atentos à qualidade, aparência e ao valor dos produtos. Por isso, para se manter no mercado e conseguir conquistar uma parcela cada vez maior dele, é preciso investir constantemente em novos maquinários e zelar pelos produtos vendidos. Porém, pequenas indústrias muitas vezes não possuem os recursos financeiros necessários para realizar tais investimentos e veem como uma melhor alternativa a automação de maquinários que já possuem. Essa, além de quase sempre ser uma saída mais econômica, possibilita uma maior adequação às necessidades do cliente, uma vez que conhecendo o processo é mais fácil de se ajustar a máquina a ele e apresentar um projeto mais direcionado, reduzindo gastos com funções desnecessárias. Isso acaba possibilitando um melhoramento gradativo no sistema produtivo sem que seja necessária a aplicação de grandes capitais.

A realização deste trabalho, surgiu da necessidade de uma empresa de laticínios da cidade de Divinópolis em automatizar uma linha de produção de garrafas de 200ml de iogurte, uma vez que, atualmente apresenta um sistema manual e que exige a disponibilidade de muitos funcionários para realizar processos simples porém repetitivos.

## 1.3 Objetivos do Trabalho

São objetivos deste projeto:

### 1.3.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo realizar o projeto de automatização de um sistema de envasamento de iogurtes em embalagens de 200ml para uma indústria de laticínios da cidade de Divinópolis - MG. Esse equipamento deverá ter as funções de movimentar e fechar garrafas realizadas através de atuadores pneumáticos, reaproveitando a estrutura e do sistema de bombeamento da máquina manual utilizada na empresa. Com isso, deseja-se não só melhorar o rendimento da linha de produção, como também desenvolver um sistema alternativo aos presentes no mercado atualmente, que utilizam correias e motores elétricos.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Estudar e compreender o funcionamento de uma envasadora de líquidos;
- Pesquisar e listar as principais características dos modelos de envasadoras mais utilizados atualmente no mercado;
- Desenvolver o modelo 3D da Máquina Manual;
- Estudar e revisar projetos de esteiras transportadoras;
- Determinar o sistema de transporte de garrafas;
- Estudar e revisar projetos eletropneumáticos;
- Realizar o projeto eletropneumático do sistema;
- Simular o sistema pneumático projetado utilizando relés e linguagem ladder;
- Dimensionar os componentes pneumáticos que serão utilizados;
- Pesquisar e encontrar fornecedores para os componentes mecânicos e elétricos;
- Dimensionar a esteira transportadora;
- Solicitar orçamento dos componentes mecânicos;
- Desenvolver o modelo 3D completo da Máquina Automatizada;
- Desenvolver o código para recepção e processamento dos dados dos sensores;
- Simular o sistema eletrônico projetado.

## 1.4 Estado da Arte

Atualmente é possível encontrar várias empresas especializadas no desenvolvimento de máquinas e equipamentos para envase em fábricas de bebidas. Foram criados e colocados no mercado diversos modelos de envasadoras de líquidos que podem ser classificadas basicamente em dois tipos: modelos rotativos e modelos lineares.

Nos rotativos, uma esteira linear posiciona as embalagens em uma roda de aço com direcionadores e é nela onde ocorre o envase do líquido propriamente dito e o processo de fechamento das tampas. A cada giro da roda uma determinada quantidade de garrafas passa por essas etapas. Um dos modelos mais conhecidos pelas empresas é chamado *MAQ-2-R*, mostrado na Figura 1.1.



Figura 1.1: Envasadora Rotativa MAQ-2-R (TEKMILK, 2019)

Essa máquina tem toda a sua estrutura construída em aço inox 304 e possui um painel de comando com Interface Homem Máquina (IHM) digital para a visualização e controle de funções da máquina, como a velocidade da esteira e a quantidade de garrafas produzidas.

Seu sistema de posicionamento de tampas é manual, porém é possível que seja acoplado um posicionador automático caso seja necessário. O fechamento das garrafas é feito através de pressão acumulativa de um cilindro pneumático e pode ser por rosqueamento ou por batoque. E, por fim, seu sistema de dosagem utiliza uma bomba positiva com bicos de envase ante respingos.

A produção média desse modelo é de 2.000 à 2200 garrafas com 200ml por hora, variando de acordo com a velocidade de envase escolhida. Podem ser encontrados versões com preços que variam entre R\$40 e R\$45mil.

Já os equipamentos lineares são aqueles em que todos os processos de produção ocorrem sob uma esteira reta. Esses possuem reguladores simples que permitem ao operador determinar o tamanho das garrafas que serão envasadas, normalmente apresentando volumes de: 200ml, 500ml ou 1000 ml. O modelo mais conhecido de envasadora linear é a *MAQ-2-L* produzida pela mesma fabricante citada anteriormente.

Essa máquina tem os mesmos componentes e funções das rotativas, se distinguindo apenas pela ausência da roda de envase. Possui a vantagem de ser mais simples e com manutenção e limpeza mais fáceis do que a *MAQ-2-R*, porém, ocupa um espaço físico maior. O custo desse equipamento é inferior ao apresentado anteriormente, com variações entre R\$30 a R\$35 mil. A Figura 2.1 mostra uma envasadora linear do modelo *MAQ-2-L*.



Figura 1.2: Envasadora Linear MAQ-2-L (TEKMILK, 2019)

Para esse sistema, a produção média por hora é de: 2040 unidades de 200ml, 1800 unidades de 500ml ou 1100 unidades de 1000ml.

É importante ressaltar que, tanto para modelos rotativos quanto para modelos lineares, as garrafas são colocadas na máquina por meio humano. Além disso, cada modelo pode ser fabricado com uma quantidade de bicos de envase escolhida pelo comprador, normalmente sendo de dois a quatro bicos.

## 1.5 Organização do Documento

Este trabalho se apresenta dividido em 4 capítulos, os quais se subdividem em tópicos com o intuito de melhorar o entendimento do mesmo.

O primeiro capítulo trata das considerações iniciais do texto. Nele são abordados temas como motivação, problematização e objetivos. Além disso, é feita uma introdução e uma pequena abordagem do tema tratado ao longo do documento.

O segundo capítulo é voltado para fundamentação teórica, ou seja, conceitos, definições e outras informações que apresentem alguma relevância para a compreensão geral do trabalho.

O terceiro capítulo apresenta o desenvolvimento do trabalho. Neste tópico estão listados todos os passos realizados durante a etapa de projeto.

No quarto capítulo estão contidas as conclusões obtidas com a realização deste projeto, tal como sugestões de continuidade para o mesmo.

## Fundamentos

Neste capítulo é apresentada uma síntese dos principais conceitos teóricos utilizados como base na execução deste trabalho.

### 2.1 Revisão Bibliográfica

A automação é definida por PEREIRA (2015) como a tecnologia por meio da qual um processo ou procedimento é alcançado sem assistência humana. Segundo COSTA *et al.* (2003) esse conceito começou a ser desenvolvido no início no século XVIII, com o despertar da revolução industrial. Nesse período, o trabalho muscular passou a ser substituído pelo trabalho das máquinas (principalmente da máquina a vapor) tendo o objetivo de aumentar e melhorar a produtividade nas fábricas.

No século seguinte a indústria começou a crescer e fatores como a descoberta de novas fontes de energia e a substituição do ferro pelo aço, impulsionaram seu desenvolvimento na Europa e EUA. Assim, nos anos que seguiram, foram criados dispositivos mecânicos chamados relés, que viriam a se tornar uma das bases da automação moderna e que são utilizados até hoje. A todos esses acontecimentos foi dado o título de II Revolução Industrial como cita SILEVIRA; LIMA (2003).

No início do século XX, embora o conceito de indústria já estivesse bastante estabelecido, os ambientes fabris utilizavam de processos de automação ainda muito rudimentares. Foi então, após a Segunda Guerra Mundial, que os sistemas de controle começaram a surgir na indústria de processos. Na década de 60, com o aparecimento dos transistores, a instrumentação analógica começou a ser substituída por um computador. (COSTA *et al.*, 2003).

Em 1968, uma empresa americana, conhecida como BedFord Association, foi contratada para desenvolver um dispositivo eletrônico compacto que substituísse os relés, facilitando a manutenção, a programação e a montagem de sistemas automatizados. Foi criado então o *MODICON* (Modular Digital Controller) que seria o primeiro Controlador

Lógico Programável inventado, tornando o sistema muito mais flexível econômico e eficiente (COSTA *et al.*, 2003). Essa criação deu início a chamada III Revolução Industrial que viria a durar aproximadamente 40 anos.

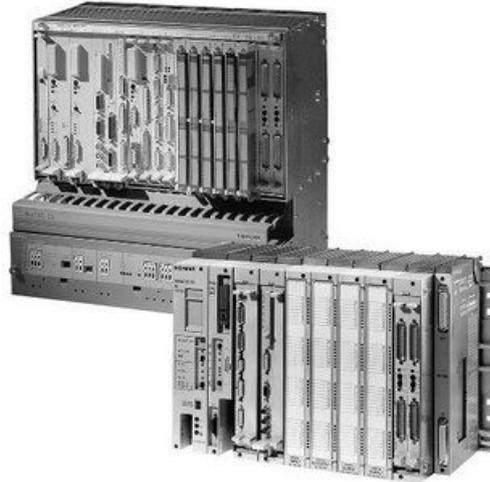


Figura 2.1: Modicon 084 - Primeiro Controlador Lógico Programável (SCHNEIDER ELECTRIC BRAZIL, 2019)

Recentemente inaugurou-se uma nova era cuja a base é a Internet, que até então vinha sendo utilizada como canal de comunicação e pesquisa, passando agora a ser colocada dentro da indústria para adaptar os processos produtivos. Essa implementação transforma as fábricas em um ambiente onde todos os equipamentos e máquinas estão conectados em redes e disponibilizam informações de forma única, esse conceito é conhecido de Internet das Coisas ou Indústria 4.0. (VENTURELLI, 2014).

Todo o desenvolvimento da automação se deu sempre como uma resposta ao desafio das empresas de tornar seus processos mais eficiente, de forma a aumentar a produtividade de suas linhas de produção, aproveitando ao máximo o tempo e o equipamento disponível. Para indústrias de alimentos em que a exigência por qualidade é ainda maior, melhorias como essas são imprescindíveis.

No caso específico de indústrias de bebidas, MORAES *et al.* (2017) afirma que as máquinas de envase ou enchimento são em sua maioria o coração das linhas de produção, sendo todo o conceito do processo construído sobre estas. Ou seja, nesse tipo de fábrica, a automação do sistema de envase pode ser a chave para atingir a otimização do sistema. E é exatamente pela importância da automação para empresas desse ramo, que este assunto vem sendo alvo de diversas pesquisas ao longo dos últimos anos, fazendo-se presente em trabalhos de conclusão de curso e artigos científicos que têm a proposta de automatizar o processo de envase de produtos.

Um dos trabalhos acadêmicos mais recentes sobre o assunto é intitulado “Implementação de um Sistema Automatizado para Envasadora de Suco de Laranja”(SASSARO;

SCHREIBER, 2017). O objetivo desse trabalho era projetar e montar um sistema automático de envase focando no desenvolvimento eletrônico e computacional, terceirizando a fabricação dos componentes mecânicos. Um diferencial desse projeto foi a substituição do *PLC* por um microcontrolador do tipo *PIC* visando a redução de custos. Essa medida limitou as possibilidades de aplicação da máquina, porém, como para o caso desejado apenas o *PIC* já seria suficiente para atender as necessidades da empresa, essa substituição foi executada com sucesso.

Já PACCOLA (2009) buscou automatizar um processo de envase já existente na empresa de sucos para qual o trabalho foi desenvolvido. Esse projeto porém utilizou um *PLC*, programado na linguagem ladder, para controle do processo. PEREIRA (2015) também utilizou esse tipo de controlador em seu trabalho de conclusão de curso, direcionado porém, à uma envasadora de produtos saneantes. Outra diferença foi que este montou apenas o projeto teórico, não o implementando, apesar de concluir que o sistema seria totalmente viável e interessante para a empresa, melhorando o processo produtivo e reduzindo custos.

MORAES *et al.* (2017) realizou um projeto de um sistema de envase de água, sendo este desenvolvido para fins didáticos, utilizando uma placa microcontrolada *Arduíno*. Para isso, além da placa, foram utilizados relés, uma bomba de água, válvulas solenoides e alguns sensores. Toda a programação foi feita na linguagem C, comum nesse tipo de sistema eletrônico.

## 2.2 Fundamentação Teórica

### 2.2.1 Sistema Transportador

O transporte de sólidos e equipamentos por esteiras ou correntes é um procedimento bastante utilizado dentro de empresas de diversos setores. Máquinas de transporte são parte integrante dos equipamentos mecânicos na indústria moderna e a determinação correta de seus parâmetros e de sua eficiência de operação são fatores fundamentais que tem influência direta sobre todo o processo de produção, afirma ARGENTA (2013).

Na grande maioria das vezes, os transporte de sólidos são feitos por transportadores de esteiras com correias. Esse tipo de equipamento é constituído basicamente por um sistema tracionado, geralmente composto de um motor elétrico e um redutor acoplado a ele, correia, roletes, tambores, guias laterais e estrutura.

## Correias

Segundo CARNIZELLO (2011) a correia é o componente mais importante de uma esteira transportadora e representa uma boa parcela do investimento inicial. Este é o componente que estará em contato direto com o material a ser transportado e é seu movimento que promove o transporte do mesmo.

Uma correia transportadora é constituída basicamente de dois elementos: carcaça e coberturas, sendo que cada parte é especificada para o tipo de transporte solicitado, como mostra a Figura 2.2. A carcaça é o elemento de força da correia, isso porque dela depende a resistência para suportar a carga, a resistência para suportar as tensões e flexões e todo o esforço a que é submetida à correia na movimentação da carga. Normalmente o material mais utilizado na fabricação dos tecidos das carcaças são as fibras têxteis, porém sua estrutura também pode ser construídas por cabos de aço. Essa última é mais resistentes às altas tensões e é comumente usada em transportadores de longa distância ou de alta capacidade. Já as carcaças de lona são mais comuns e economicamente mais viáveis.

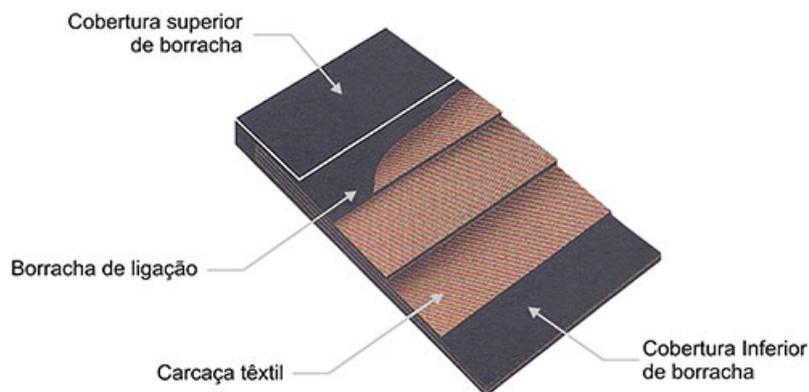


Figura 2.2: Correia para Esteira Transportadora (TERRA NOVA DISTRIBUIDORA, 2015)

As coberturas das correias são feitas de borracha vulcanizada e têm a função de proteger a carcaça contra o ataque do material transportado ou qualquer deterioração que possa ocorrer no ambiente de trabalho. SACRAMENTO (2012) afirma que essas coberturas podem ser de dois tipos: lisas ou não lisas. As correias com coberturas lisas atendem ao transporte do material em plano horizontal e podem também operar em plano inclinado, contanto que não ultrapassem os ângulos especificados pelos fabricantes. Enquanto as correias com cobertura não lisa são utilizadas no transporte de produtos em inclinações que podem atingir até  $45^\circ$  e por isso são fabricadas em vários relevos.

Outro ponto crucial na resistência da correia é a emenda, como cita CARNIZELLO (2011). Na grande maioria das vezes, essa emenda é feita no local onde o transportador

irá operar, o que dificulta muito o processo. Pode ser de 2 tipos: emenda vulcanizada ou emenda mecânica. A emenda vulcanizada possui um custo bem mais elevado e leva mais tempo para ser feita, porém ela garante uma resistência consideravelmente maior que a emenda mecânica, além de uma vida útil muito maior. A emenda mecânica, apesar de ser mais viável economicamente e mais rápida, possui inúmeras desvantagens em relação à emenda vulcanizada, produzindo uma superfície áspera o que pode causar danos aos tambores, roletes, raspadores e limpadores da máquina. Além disso, ela expõe a correia cortada à umidade e ao material transportado, podendo causar danos à carcaça.

A seleção do tipo correto de correia depende de diversos fatores como as características do material a ser transportado (granulometria, densidade, abrasividade, ângulo de acomodação, temperatura), a capacidade do transportador, o tipo de rolete, a largura da correia e a tensão máxima presente no transportador.

### Tambores

Esses componentes são normalmente construídos em aço e têm como função principal tracionar a correia para o funcionamento do transportador, sendo neste caso, papel exercido pelo tambor motriz, afirma SACRAMENTO (2012). Este é o tambor ao qual está acoplada a motorização e que é responsável por receber o torque do acionamento e transmiti-lo para a correia transportadora. No intuito de produzir um maior coeficiente de atrito, esses elementos geralmente apresentam um revestimento de cerâmica, o que evita também o escorregamento. Um exemplo de tambor desse tipo é mostrado pela Figura 2.3



Figura 2.3: Tambor motriz revestido em cerâmica (CARNIZELLO, 2011)

Além do tambor motriz, com a movimentação da correia, movem-se também os demais componentes da esteira, incluindo os tambores movidos, responsáveis por promover o apoio no restante da máquina. Normalmente, estes são revestidos com uma camada de borracha, para melhorar a aderência com a correia. Os tambores movidos possuem também outras funções no transportador, tais como a de efetuar desvios e dobras na correia. Segundo SACRAMENTO (2012), podemos classificar tambores em: Acionamento,

Retorno, Esticadores, Dobras, Aletados, Magnéticos e de Encosto. Cada um desses tipos é utilizado para uma determinada função e é posicionado de acordo com o modelo de esteira projetado.

O tambor é normalmente fixado por mancais e composto por um eixo, cubos, discos laterais e discos internos, anéis de fixação, casca externa e revestimento. A Figura 2.4 mostra um esquemático em corte que destaca alguns desses componentes constituintes do tambor.

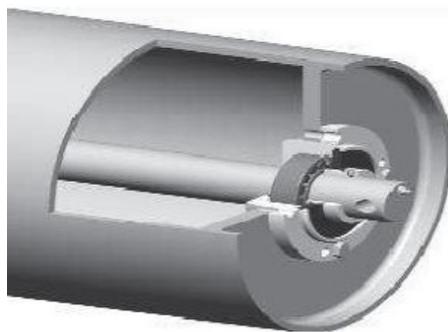


Figura 2.4: Esquemático de um tambor em corte (CARNIZELLO, 2011)

### Roletes

São conjuntos de rolos, geralmente cilíndricos, responsáveis por suportar o peso da correia e do material transportado. Os roletes podem efetuar livre rotação em torno de seus próprios eixos e são instalados com o objetivo de dar suporte à movimentação da correia e guia-la na direção de trabalho de carga. Podem ter dois tipos de configuração: planos ou inclinados. Além disso, podem ser encontrados montados com um único rolo ou com rolos múltiplos. As Figuras 2.5 e 2.6 mostram esquemáticos de roletes do tipo plano e do tipo inclinado, respectivamente.



Figura 2.5: Rolete Plano (CARNIZELLO, 2011)



Figura 2.6: Rolete Inclinado (CARNIZELLO, 2011)

Segundo CARNIZELLO (2011), dependendo da sua aplicação, roletes podem ser classificados como: Roletes de impacto, roletes de carga, rolete auto-alinhantes, roletes de transição, rolete de retorno com anéis, rolete em espiral, rolete em catenária, roletes guias e roletes de retorno com anéis. Esses últimos têm os rolos fabricados em borracha e são responsáveis por suportar o peso da correia durante o retorno da mesma, ajudando também em seu alinhamento. Geralmente, são compostos de um rolo plano horizontal sustentado por suportes fixados na parte inferior da estrutura do transportador e possuem um maior espaçamento entre si. Atualmente, têm sido comumente utilizados roletes de retorno em V, que são compostos por dois rolos que formam um ângulo de  $10^\circ$  com a horizontal

A nomenclatura dos roletes é dada como base em alguns parâmetros construtivos da máquina e do próprio elemento, como mostra a Figura 2.7.

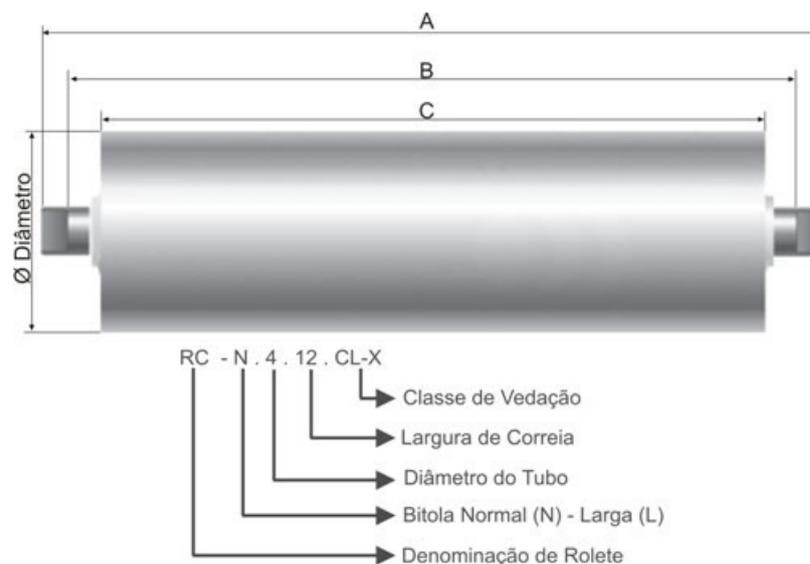


Figura 2.7: Rolete Inclinado (HADEROB USINAGEM, 2019)

### Conjunto de Acionamento

Esse conjunto é acoplado ao tambor motriz e tem a função de promover a movimentação do transportador e o controle de sua velocidade de trabalho. Geralmente é constituído de um motor elétrico, dispositivos de segurança e um redutor que normalmente, são projetados de acordo com o tipo de transporte e a potência transmitida.

Segundo SACRAMENTO (2012), podem ser instalados em três posições: na cabeceira do transportador, no centro e no retorno. Para o seu dimensionamento deve ser analisados o perfil do transportador, o espaço disponível para sua instalação e operação, a potência transmitida, o sentido da correia e as tensões que nela atuam.

O motor é o coração nesse tipo de transportador, sendo responsável pelo torque que gira o tambor motriz e movimenta a correia. Na grande maioria dos casos, trata-se de um motor elétrico trifásico, do tipo rotor de gaiola, como o mostrado na Figura 2.8.



Figura 2.8: Motor Trifásico (WEG Brazil, 2019)

Já o redutor é o componente responsável por diminuir a rotação na saída do motor e aumentar o torque. Segundo CARNIZELLO (2011) como os transportadores geralmente não necessitam de uma velocidade alta (em média de 1 m/s a 8 m/s) e exigem um torque muito elevado para a levar o material e vencer o atrito de todos os componentes, os redutores de velocidade são imprescindíveis no projeto de um transportador de correia de grande porte.

### 2.2.2 Correntes e Engrenagens

Segundo MARCO FILHO (2009), correntes são elementos de máquinas flexíveis utilizadas para a transmissão de potência ou transporte/movimentação de carga. Esses elementos, apesar de possuírem características comuns a outros tipos de transmissão (correas e engrenagens), têm também características únicas, devendo o projetista analisá-las e considerá-las como uma interessante opção para determinadas aplicações.

Esse tipo de componente além de transmitir grandes quantidades de energia e possuir um bom rendimento (0,95 a 0,99 quando bem dimensionados) também demonstra um bom sincronismo e não apresenta deslizamentos. São adequadas para grandes distâncias de eixo e operam em condições severas de operação, sob umidade, alta temperatura ou ambiente agressivo.

As correntes porém, como qualquer outro tipo de elemento de máquina, possuem algumas desvantagens, como por exemplo: sofrer desgastes devido a fadiga e tensão superficial; demandarem de lubrificações para um bom funcionamento e um aumento em sua vida útil; operarem em situações de menor velocidade, podendo gerar ruídos, choques e vibrações.

Os principais tipos são as correntes de rolos, correntes de buchas, correntes de dentes e correntes com elos fundidos (ANDRADE, 2010).

Desses, o modelo mais utilizado tanto para transmissão de movimentos quanto para esteiras transportadoras são as correntes de rolos. Essas são fabricadas com diversos elos sendo cada um deles composto de placas, roletes, grampos ou anéis e pinos, como mostrado na Figura 2.9.

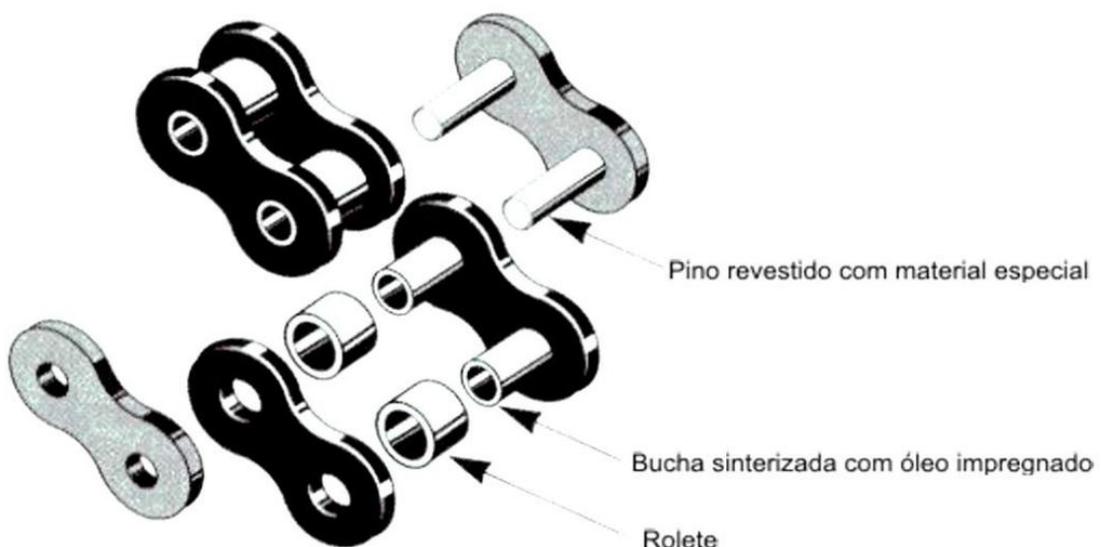


Figura 2.9: Componentes Corrente de Rolo (ANDRADE, 2010)

Estas correntes normalmente estão disponíveis no mercado de formas padronizadas e são fabricadas nos mais diversos materiais, tais como aço, aço inox e plásticos (para autolubrificação). Permitem uma velocidade de até 11 m/s, porém a faixa recomendada é de 3 a 5 m/s.

Para a determinação da corrente de rolos mais adequada, o projetista deve inicialmente definir qual o passo solicitado para a corrente, qual o número de correntes necessárias para o projeto (simples, dupla, tripla, quádrupla e etc.) e qual o número de elos (comprimento) da corrente. Com base nessas informações é possível acessar o catálogo de diversos fornecedores e assim escolher o modelo daquele fabricante que atende as especificações desejadas.

Segundo ANDRADE (2010) o tempo de vida útil da corrente pode ser determinado estatisticamente e é estimado em 15.000 h, correspondendo a uma confiabilidade de 90% ( $R = 0.9$ ). Alguns dos fatores que resultam no aumento ou na diminuição desse tempo são: a carga de tração, o efeito cordal, o desgaste devido ao atrito e os efeitos centrífugos.

Para seu funcionamento normal essa corrente será acoplada à dois tipos de engrenagens: engrenagens motoras (pinhão) e engrenagens movidas (coroa) que são os elementos responsáveis pela transmissão do movimento. Assim, uma vez estabelecida a corrente pode-se então passar para a escolha dessas engrenagens.

As engrenagens utilizadas nas transmissões por correntes são fabricadas em aço e, quando necessário, são submetidas a um tratamento térmico específico. O procedimento para seu dimensionamento deve ser o mesmo as engrenagens cilíndricas de dentes retos, utilizando critérios de tensão e desgaste quando necessário. Os cálculos das dimensões desse elemento são realizados em função do passo da corrente e do número de dentes escolhido. As Equações de 2.1 até 2.3 mostram as principais fórmulas para o seu dimensionamento correto.

$$D_p = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{z}\right)} \quad (2.1)$$

$$M = \frac{p}{\pi} \quad (2.2)$$

$$D_{Ext} = M \cdot (z + 2) \quad (2.3)$$

Em que  $p$  é o passo da corrente,  $z$  é o número de dentes da engrenagem,  $D_p$  e  $D_{Ext}$  são os diâmetros primitivo e externo, respectivamente. E, por fim,  $M$  é o módulo da engrenagem. Com esses valores é possível determinar também dados como espessura do dente, diâmetro interno da engrenagem, cabeça, fundo, dentre outros mostrados na Figura 2.10.

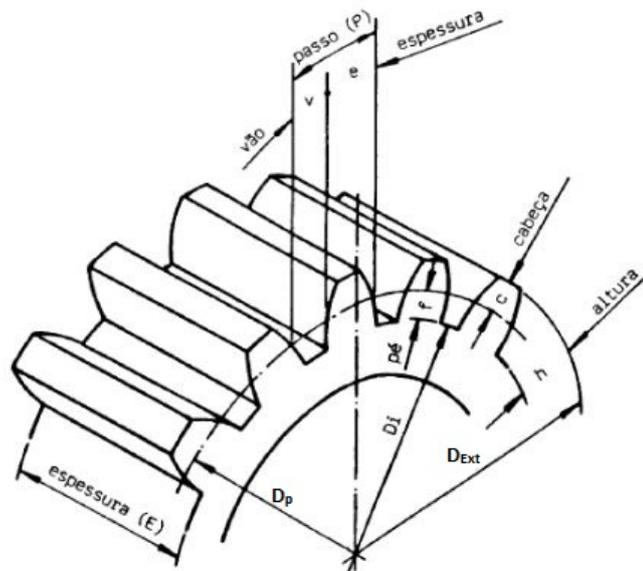


Figura 2.10: Dimensões Engrenagem Cilíndrica (GORDO; FERREIRA, 2009)

### 2.2.3 Eletropneumática e Sistemas Eletropneumáticos

FIALHO (2006) define Eletropneumática como o ramo da pneumática que utiliza a energia elétrica CC ou CA como fonte para o acionamento de válvulas direcionais, energizando sensores magnéticos de posicionamento pressostatos, micro-chaves e outros componentes.

Quando comparados com equipamentos hidráulicos, os elementos pneumáticos são sem dúvida os elementos mais simples, de maior rendimento e de menor custo que podem ser utilizados na solução de problemas de automação, como afirma SILVA (2002). Porém possuem também algumas desvantagens como a impossibilidade de paradas intermediárias, capacidade de alcançar apenas pequenas forças e a necessidade de silenciadores nos orifícios de escape.

Por isso atuadores pneumáticos são utilizados quando existe o envolvimento de cargas da ordem de até uma tonelada onde se deseja movimentos de duas posições (início e fim) limitados por batentes mecânicos. Atualmente, existem várias aplicações da pneumática no meio industrial e mesmo em nossa vida diária. Entre alguns exemplos de aplicações atuais de pneumática podemos citar: prensas pneumáticas, dispositivos de fixação de peças em máquinas ferramenta e esteiras, robôs industriais para aplicações que não exijam posicionamento preciso, freios de caminhão, brocas de dentistas, dentre muitas outras.

## Atuadores Pneumáticos

Atuadores são os elementos de um circuito pneumático responsáveis por efetivamente realizar trabalho. Podem ser classificados em duas categorias: atuadores que geram movimentos lineares, conhecidos como atuadores lineares e atuadores que geram movimento rotativo chamados atuadores rotativos.

Para atuadores lineares os dois tipos mais utilizados são o cilindro de Ação Simples e o cilindro de Dupla Ação. O primeiro consiste de um pistão com uma mola que quando tem sua pressão reduzida faz com que a haste retorne. Este tem como característica o consumo de ar em apenas um sentido, força de avanço reduzida em 10% (devido à utilização da mola), maior comprimento, cursos limitados e uma baixa força de retorno. As Figuras 2.11 e 2.12 mostram, respectivamente, um desenho esquemático em corte e uma imagem de um cilindro de ação simples.

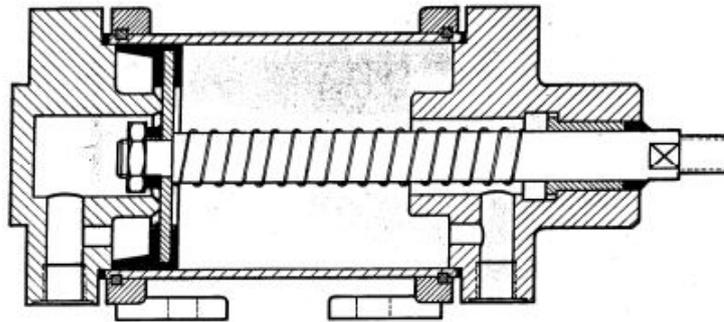


Figura 2.11: Esquemático em Corte de Cilindro de Ação Simples (SILVA, 2002)



Figura 2.12: Cilindro de Ação Simples (TA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL, 2019)

A Figura 2.13 mostra a representação simbólica normalizada de um cilindro de ação simples de acordo com a norma DIN/ISO 1978.



Figura 2.13: Representação Simbólica Normalizada Cilindro de Ação Simples (a) normalmente retraído com retorno por mola (b) normalmente distendido com retorno por mola (FIALHO, 2006)

Já o cilindro de dupla ação é o mais utilizado para aplicações na indústria. Este, diferente do primeiro citado, sofre atuação do ar comprimido nos dois sentidos, ou seja, tanto seu avanço quanto seu retorno dependem do fluxo de fluido. Apresenta uma força de avanço maior do que de retorno e não permite cargas radiais em sua haste. As Figuras 2.14 e 2.15 mostram respectivamente, um esquemático em corte e uma imagem de um cilindro de Dupla Ação.

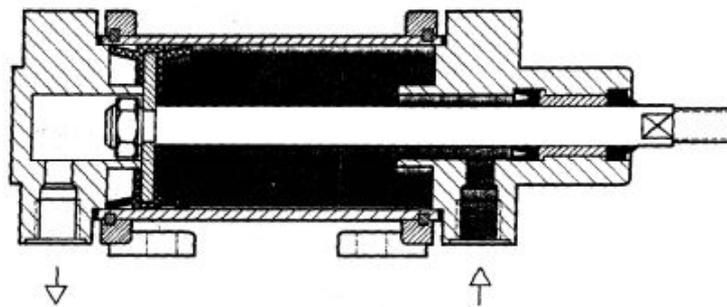


Figura 2.14: Esquemático em Corte de Cilindro de Dupla Ação (SILVA, 2002)



Figura 2.15: Cilindro de Dupla Ação (AUTOMAÇÃO FRANCA, 2019)

Sua representação simbólica normalizada de acordo com a norma DIN/ISO 1929 é mostrada pela Figura 2.16.

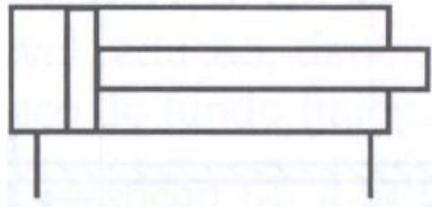


Figura 2.16: Representação Simbólica Normalizada Cilindro de Dupla Ação (FIALHO, 2006)

Segundo FIALHO (2006) o estudo da cinemática demonstra a impossibilidade de utilização dos atuadores lineares para execução de movimentos com ângulos superiores a  $120^\circ$ . Para contornar esse problema, desenvolveu-se o atuador pneumático rotativo ou oscilante, que possibilita deslocamentos angulares de até  $360^\circ$ .

Seu funcionamento é de simples entendimento. Esse dispositivo consiste em dois atuadores lineares de ação simples, dentro de um compartimento, montados um contra o outro, fixos às extremidades de uma cremalheira. Essa, por sua vez, ao se movimentar lateralmente devido a ação dos atuadores, tem seu movimento linear transmitido a um conjunto eixo de roda dentada alojada ao centro do equipamento. Com isso o movimento linear é convertido em movimento rotacional e momento de torção. As Figuras 2.17 e 2.18 mostram um exemplo de um cilindro rotacional e sua representação simbólica de acordo com a norma DIN/ISO 1929 de agosto de 1978.



Figura 2.17: Cilindro Pneumático Rotativo (LOJA DUPLA AÇÃO, 2019)

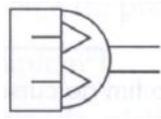


Figura 2.18: Representação Simbólica Normalizada Cilindro Oscilante (FIALHO, 2006)

### Dimensionamento de Atuadores Lineares

Os atuadores pneumáticos, na grande maioria de suas aplicações, desenvolvem seus esforços durante a fase de avanço do pistão. No caso do dimensionamento do atuador, torna-se necessário determinar a força de projeto  $F_p$  requerida para realizar a movimentação da carga. Também é importante considerar que, no princípio do movimento, além da força necessária à aplicação, também existe a força de atrito estático e que durante o movimento existe a força de atrito cinético, que agem externa e internamente no atuador.

Segundo FIALHO (2006) foi verificado que os coeficientes de atrito, que são geradores das forças citadas, variam conforme a aplicação da carga, a natureza dos materiais e seu acabamento, bem como a velocidade de deslocamento e o tipo de lubrificação. Assim, para o cálculo da força de projeto necessária à operação, deve-se corrigi-la multiplicando-a por um fator de correção  $\phi$ , conforme apresentado na Tabela 2.1. Com isso obtém-se a real força de avanço ou retorno, e com ela, juntamente com a pressão de trabalho, determinar o mínimo diâmetro necessário do atuador.

Velocidade de deslocamento da haste do atuador	Exemplo	Fator de Correção ( $\phi$ )
Lenta e carga aplicada somente no fim do curso	Operação de rebitagem	1.25
Lenta e carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso	Talha Pneumática	1.35
Rápida com carga aplicada somente no fim do curso	Operação de Estampagem	1.35
Rápida com carga aplicada em todo o desenvolvimento do curso	Deslocamento de mesas	1.50
Situações gerais não descritas anteriormente	—————	1.25

Tabela 2.1: Fatores de Correção de Força

#### 1 Diâmetro do Atuador

O diâmetro do atuador é determinado em função da força de avanço  $F_a$ , que é a força de projeto  $F_p$  corrigida pelo fator  $\phi$ , e da pressão de trabalho  $P_t$  (normalmente  $6\text{kp}/\text{cm}^2$ ). Esse diâmetro refere-se ao diâmetro interno do cilindro que é obtido da equação da área do pistão, para o caso de força aplicada durante a fase do avanço, como mostra a Equação (2.4). Entretanto, se a força for aplicada durante o retorno do atuador, a variável  $A_p$  da mesma equação, deve ser substituída por  $A_c$ .

$$D_p = 2\sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \quad (2.4)$$

Lembrando que a equação da pressão é:

$$P_t = \frac{F_a}{A_p} \quad (2.5)$$

Isolando  $A_p$ , lembrando que  $F_a = F_p \cdot \phi$  e substituindo na Equação (2.4) temos que a mínima dimensão de diâmetro a ser utilizada é dada por:

$$D_p = 2\sqrt{\frac{F_p \cdot \phi}{\pi \cdot P_t}} \quad (2.6)$$

Em que:

- $D_p$  - Diâmetro mínimo aceitável do pistão [cm];
- $F_p$  - Força de projeto, força necessária para execução da operação [ $k_p$ ];
- $\phi$  - Fator de correção da força de Projeto (Tabela 2.1);
- $P_t$  - Pressão de trabalho [ $\text{kp}/\text{cm}^2$  ou bar];

Uma vez calculado o diâmetro do pistão, e conhecidas as demais necessidades quanto ao tipo de fixação e curso, pode-se procurar nos catálogos dos fabricantes um atuador que tenha diâmetro igual ou superior ao calculado.

## 2 Cálculo do Consumo de Ar Necessário

O cálculo do consumo de ar dos atuadores tem por objetivo não somente possibilitar o dimensionamento da rede de distribuição de uma forma bem mais precisa, como também para uma análise detalhada da rentabilidade do equipamento, como afirma FIALHO (2006). O consumo de ar portanto é dado pela Equação 2.7 ou pela Equação 2.8.

$$C = \frac{A_p \cdot L \cdot n_c (P_t + 1,013)}{1,013 \cdot 10^6} \quad (2.7)$$

$$C = \frac{A_p \cdot L (P_t + 1,013)}{T \cdot 1,013 \cdot 10^6} \quad (2.8)$$

Em que:

- $C$  - Consumo de Ar [l/seg];
- $A_p$  - Área efetiva do pistão [ $mm^2$ ];
- $L$  - Curso [mm];
- $n_c$  - Número de ciclos por segundo;
- $P_t$  - Pressão de Trabalho [bar];
- $Q$  - Fluxo de ar [l/seg];
- $T$  - Tempo para um único ciclo em segundos [s].

### Válvulas Eletropneumáticas

De acordo com BONACORSO; NOLL (1997) válvulas eletropneumáticas são componentes do sistema automatizado que recebem comandos do circuito elétrico de controle e com isso, acionam os elementos de trabalho pneumático conforme mostra o diagrama da Figura 2.19.

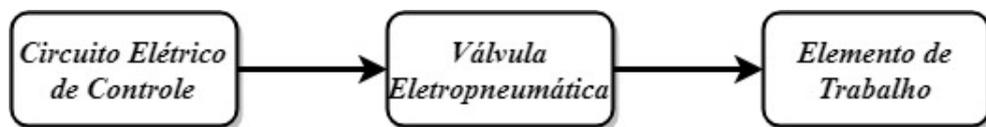


Figura 2.19: Diagrama Representativo Circuito Eletropneumático (BONACORSO; NOLL, 1997)

Sua representação em um sistema automatizado se dá por meio de símbolos que transmitem a idéia de seu funcionamento, informando o número de vias, de posições e de solenóides que possuem.

Segundo BONACORSO; NOLL (1997), *Vias* são definidas como orifícios que as válvulas possuem para a passagem de ar. Já a *Posição* é o número de estados que a válvula pode ter ou permanecer. Em sua representação gráfica cada posição que a válvula pode assumir é representada por meio de um quadrado. Nos quadrados representativos de posição podemos encontrar vias de passagem, vias de bloqueio ou a combinação de ambas como mostrado na Figura 2.20.

E, por fim, o sistema de acionamento das válvulas é representado externamente por meio de solenóides. As válvulas podem ser acionadas por um único *Solenóide*, sendo chamadas de válvula unidirecionais ou por dois solenóides, conhecidas como válvula bidirecionais.

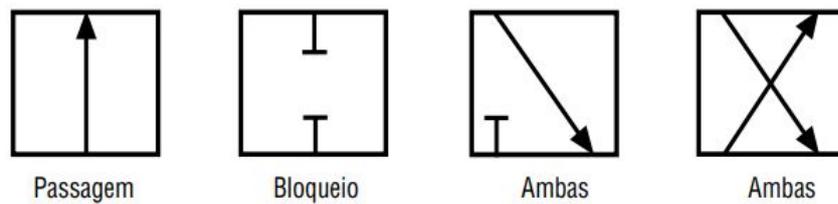


Figura 2.20: Representação Vias nos quadrados de posição (BONACORSO; NOLL, 1997)

### 1 Válvula direcional

Segundo SASSARO; SCHREIBER (2017) esta válvula tem como objetivo orientar a direção por onde o ar irá passar, apresentando simbologias no próprio corpo das válvulas como as mostradas na Figura 2.20. Cada um destes símbolos internos indica a quantidade de orifícios que terá a válvula, conforme ilustra a Figura 2.21.

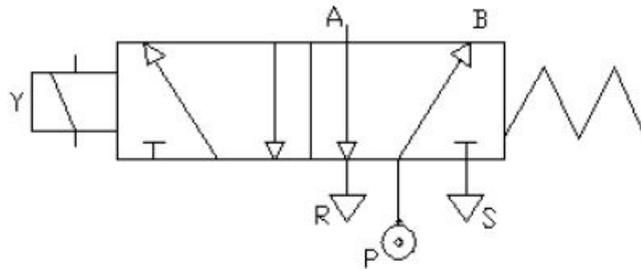


Figura 2.21: Válvula Eletropneumática 5/2 com acionamento unidirecional (SILVEIRA, 2014)

A válvula representada acima possui um acionamento unidirecional pois, apresenta apenas um solenoide. A indicação 5/2 em seu nome nos diz que esta possui 5 vias e duas posições. SILVEIRA (2014) afirma que na posição de repouso desta válvula, o orifício P é direcionado ao B e a via A é ligada ao escape R, não sendo utilizado o escape S. Ao se acionar o solenoide Y, a válvula troca de estado, ligando o orifício P ao A, a via B é ligada a S e o escape R não é usado. Enquanto o solenoide estiver acionado, a válvula permanece neste estado, caso contrário, retorna à posição de repouso.

Já na válvula com acionamento bidirecional mostrada na Figura 2.22, não há necessidade de se manter a corrente elétrica no solenoide para que ela permaneça em um determinado estado. Neste tipo de dispositivo, o acionamento e o desacionamento são executados por pulsos de corrente elétrica de curta duração como afirma BONACORSO; NOLL (1997).

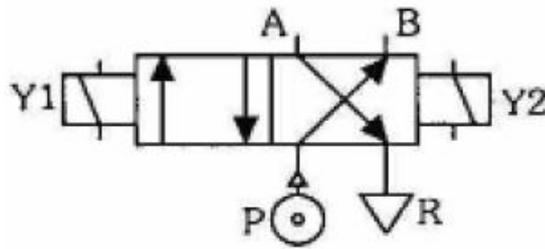


Figura 2.22: Válvula Eletropneumática 4/2 com acionamento bidirecional (BONACORSO; NOLL, 1997)

Segundo BONACORSO; NOLL (1997) um pulso de corrente no solenóide Y1 faz com que a válvula troque de estado, ligando o orifício P ao A e a via B ao escape R. Após o término deste pulso de corrente, a válvula se mantém neste estado até que seja dado um pulso de corrente no solenóide Y2. Um pulso de corrente no solenóide Y2 faz com que a válvula troque novamente o seu estado, ligando o orifício P ao B e a via A ao escape R. Após o término deste pulso de corrente, a válvula se mantém neste estado até que outra vez seja dado um pulso de corrente no solenóide Y1, voltando ao estado anterior. É importante ressaltar que no caso de acionamento dos dois solenóides, a válvula permanece no estado relativo ao solenóide que primeiro foi comandado.

## 2 Válvula Controladora de Fluxo

De acordo com SASSARO; SCHREIBER (2017) a válvula controladora de fluxo serve para diminuir a quantidade de ar que passa através da tubulação, conseguindo assim controlar a velocidade de um cilindro. Ela possui uma entrada, que geralmente é a pressão máxima disponível pela fonte, e uma saída, que é a pressão desejada ajustada por uma chave e monitorada por um barômetro integrado a ela. Quando ocorre a necessidade de extrema precisão são utilizadas válvulas de rosca micrométrica, que permitem um ajuste mais eficaz da velocidade do atuador.

## 2.3 Microcontroladores

Segundo TORRES; MARTINS (2008) microprocessadores são máquinas elétricas onde podemos armazenar instruções, tomadas de decisão e aritméticas de forma a permitir que este funcione de acordo com um programa previamente armazenado em sua memória.

O autor diz ainda que, de modo geral, um microcontrolador possui o mesmo princípio de funcionamento que um microprocessador, só que diferente dele, este primeiro não necessita de nenhum dispositivo (CHIP) externo para funcionar. Basicamente, podemos considerar um microcontrolador como um CHIP que além do microprocessador, possui também diversos outros dispositivos necessários para o funcionamento de um sistema

computadorizado.

SOUZA (2003) afirma que o microcontrolador consegue ser programável, para gravar as informações aplicadas dentro dele, de forma que, sempre que é alimentado com tensão ele executa seu programa. Além disso, é constituído de memória de dados, portas, temporizadores, contadores, conversores analógicos e digitais, entre outros. Esse componente otimiza tudo isto dentro de um único CHIP.

A principal diferença entres os diversos tipos de microcontroladores, são as quantidades de memória interna (programa e dados), velocidade de processamento, quantidade de pinos de entrada/saída (I/O), alimentação, periféricos, arquitetura e set de instruções.

### 2.3.1 PIC 18F2550

De acordo com TREVISAN (2019) o PIC é um circuito integrados produzido pela *Microchip Technology Inc.* e inserido na categoria dos microcontroladores. Esse dispositivo esta disponível em uma ampla gama de modelos para que o desenvolvedor escolha de acordo com as exigências de projetos específicos e diferenciam-se pelo número de entradas e saídas e pelo conteúdo do dispositivo.

O modelo 18F2550 é um dispositivo de alta performance com a capacidade de interfacear com um computador através de uma comunicação serial via porta USB. Porém, possui também a tradicional interface padrão ICSP (para programação em protoboards). Seu programa pode ser desenvolvido nas linguagens Assembly ou C.

Este microcontrolador possui 24 terminais multifuncionais, sendo desses: 10 terminais capazes de gerar sinais PWM com resolução de 10 bits, 4 timers e 2 comparadores. Há também um oscilador interno capaz de operar em 8 frequências definidas entre 31kHz e 8MHz. Além disso, pode trabalhar com dois osciladores externos de frequências de até 48MHz. Seus terminais são agrupados em 4 portas, identificadas pelas letras A, B, C e E. A Figura 2.23 mostra o diagrama de identificação dos terminais desse modelo.

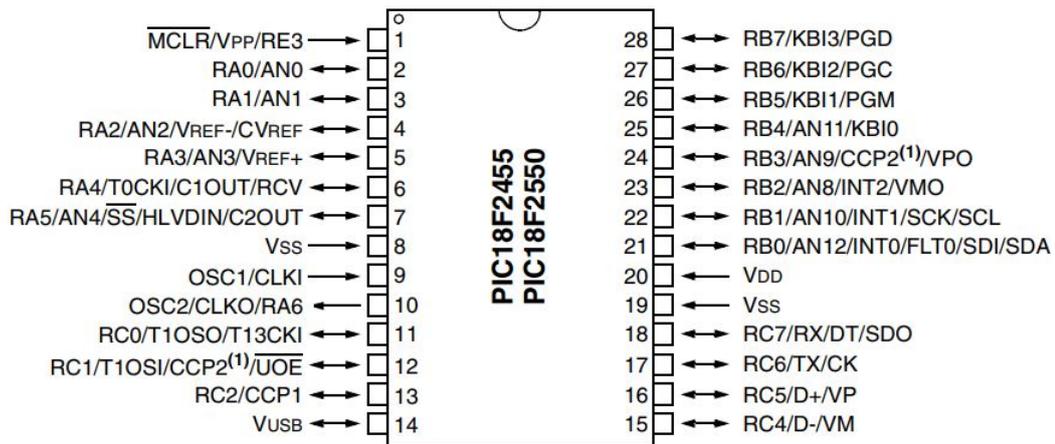


Figura 2.23: Diagrama de Identificação de terminais PIC18F2550 (MICROCHIP INC., 2019)

A tabela com os principais dados técnicos deste PIC podem ser encontrados no Apêndice C.

## 2.4 Controlador Lógico Programável - CLP

Segundo SILVA MELLO (2010) Controladores Lógicos Programáveis ou Controladores Programáveis, conhecidos também por suas siglas *CLP* ou pela sigla do inglês *PLC* (*Programmable Logic Controller*), tratam-se de computadores especializados, baseados em microprocessadores e que desempenham funções de controle de diversos tipos e níveis de complexidade. Normalmente, esses dispositivos são definidos pela capacidade de processamento de um determinado número de pontos de Entradas e/ou Saídas.

De acordo com SILVA (2012) o *PLC* pode ser dividido em cinco partes principais como mostrado pela Figura 2.24.

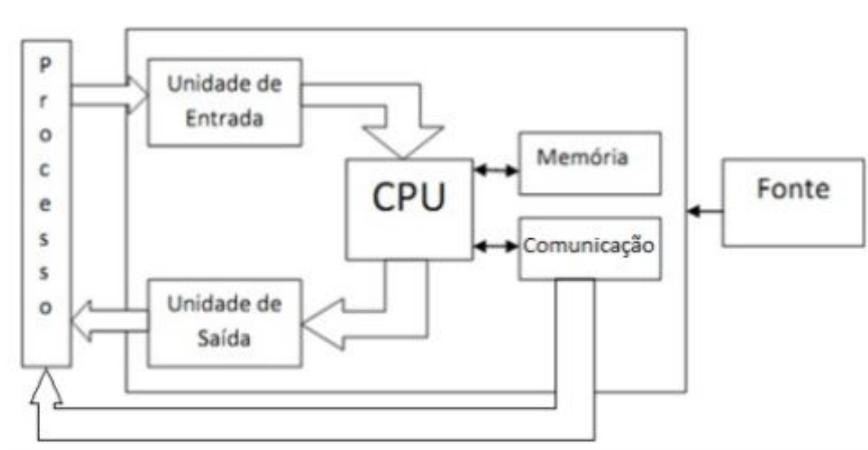


Figura 2.24: Diagrama de blocos de um PLC (SILVA, 2012)

Cada um dos blocos mostrados acima representa um setor do controlador que executa determinadas funções no sistema.

A fonte de alimentação é responsável por fornecer a energia elétrica necessária para o funcionamento normal do *CLP*. Como estes são equipamentos modulares, algumas vezes é necessário que se utilize uma segunda fonte pra que possa suportar aumentos de periféricos.

Já as unidades de Entrada e de Saída, que também são conhecidas como Interfaces de Entradas e de Saída, representam os blocos em que os atuadores e sensores serão ligados para comunicar com o controlador.

A Unidade Central de Processamento também conhecido pela sigla do inglês *CPU*, é responsável por receber e gerenciar os processos, além de executar operações lógicas, aritméticas e avançadas, atualizando os cartões de saída.

Por fim, é através dos sistemas de comunicações que os programas são introduzidos no *PLC*. Alguns modelos de pequeno porte ainda possuem uma *IHM* que permite o usuário desenvolver o *software* diretamente sobre ela. Porém a maioria dos programas utilizados nos sistemas de Automação Industrial atualmente são complexos o suficiente para inviabilizar esta prática. Então hoje é comum que os *CLP's* se comuniquem com algum computador pessoal para desenvolvimento do programa.

### 2.4.1 Linguagem Ladder

SILVEIRA (2014) explica que mesmo tendo sido a primeira linguagem destinada especificamente à programação de *PLCs*, a linguagem ladder, atualmente, ainda é a mais utilizada. O nome ladder, do inglês “escada”, foi escolhido devido a configuração de seus diagramas ser constituída por duas barras verticais paralelas interligadas por linhas horizontais formando os degraus de uma escada.

A cada Lógica de Controle existente no Programa de Aplicação dá-se o nome de *rung* e é composta por colunas e linhas, conforme apresentado na Figura 3.6.

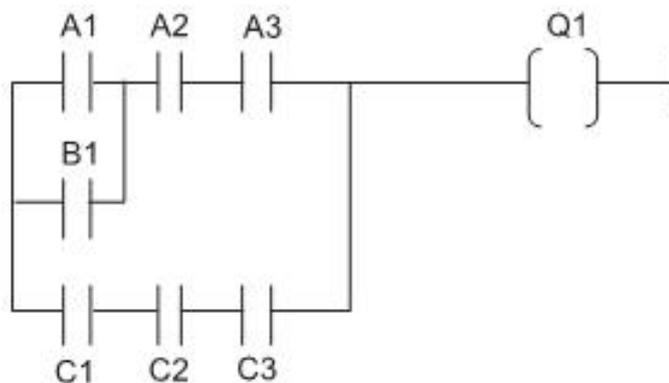


Figura 2.25: Exemplo de Diagrama ladder (CASILLO, 2010)

CASILLO (2010) cita que, a idéia por trás dessa linguagem é representar graficamente um fluxo de eletricidade virtual entre as duas barras verticais energizadas. Essa eletricidade virtual flui sempre do pólo positivo em direção ao negativo. Isso significa dizer que, leitura do diagrama ladder é sempre feita da esquerda para a direita.

As principais instruções de comando da linguagem são as representações dos contatos Normalmente Abertos, Normalmente Fechados e das Bobinas dos Relés. Os símbolos para cada um desses é mostrado na Figura 2.26.

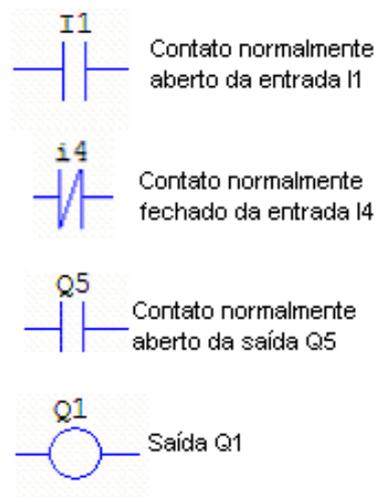


Figura 2.26: Representação Principais Símbolos Ladder (LEITE, 2014)

## Metodologia

Neste capítulo serão descritas todas as etapas de elaboração e desenvolvimento do projeto.

### 3.1 Modelo Máquina Manual

A máquina utilizada atualmente pela empresa necessita que as garrafas sejam fechadas e deslocadas manualmente. Essas duas etapas estão sincronizadas com o temporizador que comanda os cilindros da bomba de envase. As Figuras 3.1 e 3.2 mostram uma representação do equipamento em questão.

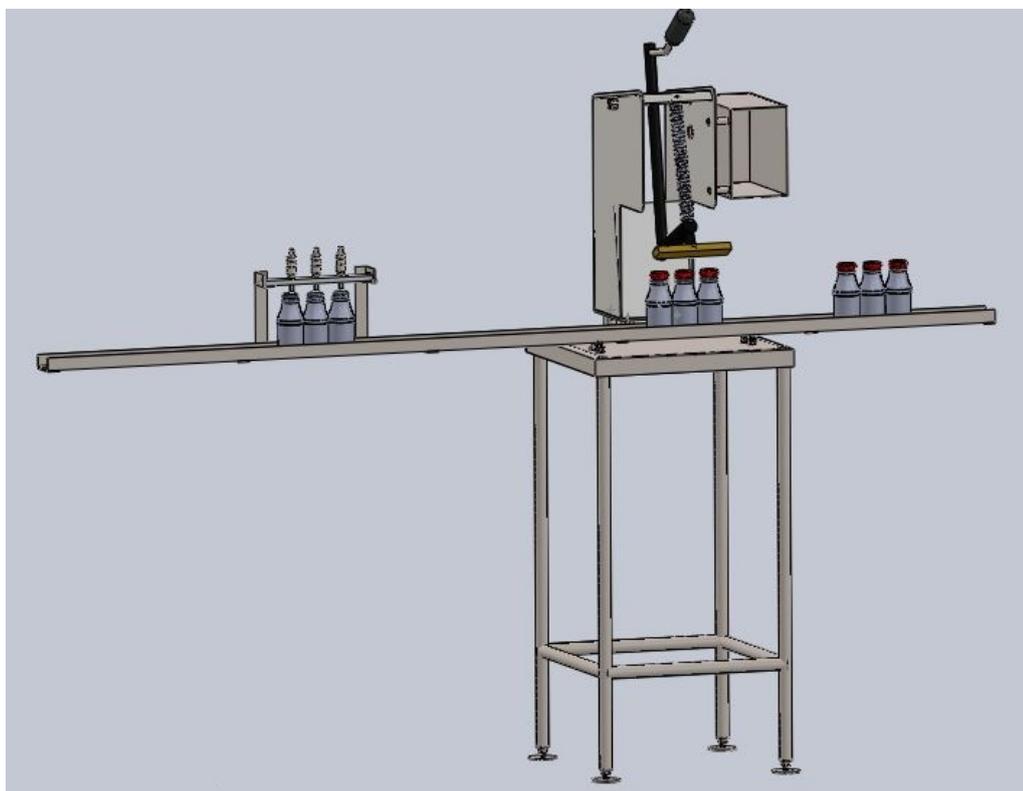


Figura 3.1: Máquina Manual utilizada no Laticínio

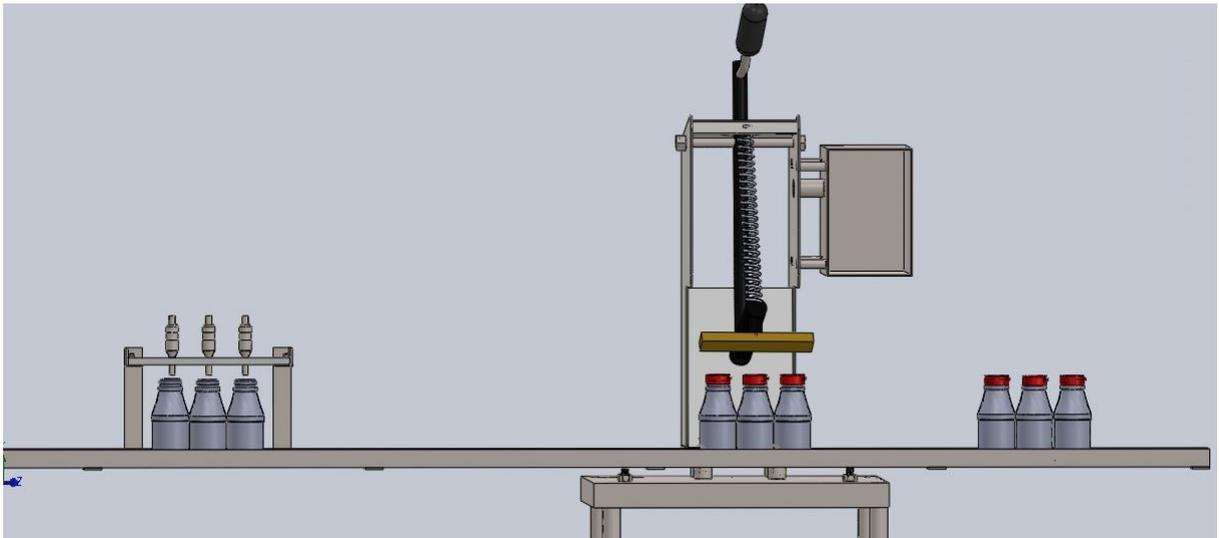


Figura 3.2: Vista Ampliada Máquina Manual

Como pode ser observado, esse modelo possui três bicos de envase que são ligados a um sistema de bombeamento pneumático através de mangueiras de silicone. O equipamento tem também uma alavanca com uma barra metálica presa em sua extremidade e tensionada por uma mola, que quando é puxada para baixo, pressiona as tampas e fecha as garrafas.

O processo de envase começa quando um funcionário coloca as garrafas manualmente do início da guia até logo abaixo dos bicos e aciona o temporizador da bomba através de uma chave elétrica. Os atuadores pneumáticos desse conjunto de bombeamento são pré regulados a uma altura tal que seja possível atingir o volume desejado para encher os frascos. Os cilindros então avançam e através de um sistema de esferas e molas, o líquido é direcionado para as embalagens, as enchendo. Posteriormente, outro funcionário faz o deslocamento das mesmas, já cheias, e posiciona outras três, essas vazias, debaixo dos bicos de envase. Isso é feito durante o período de retração do pistão da bomba.

É importante ressaltar que, nas figuras citadas acima, foram representados apenas os recipientes que são submetidos a algum dos processos principais do equipamento. Porém, durante o funcionamento da máquina, a guia tem embalagens por toda a sua extensão. Assim sendo, quando o operador desloca as garrafas cheias que estão sob os bicos, ele conseqüentemente movimenta todas as outras posicionadas a direita destas para a próxima etapa. Um terceiro funcionário é responsável então por colocar as tampas de forma que, no próximo ciclo de deslocamento, três frascos sejam direcionados para a base de fechamento. Uma vez sob esse mecanismo, um quarto operador puxa a alavanca, pressionando-a sobre as garrafas, vedando e deixando-as prontas para seguir para rotulagem no próximo ciclo.

A guia tem 2 metros de comprimento e 55 mm de largura. Sobre ela cabem cerca de 40 garrafas de 200 ml. Essa máquina tem atualmente, uma capacidade produtiva de 900 a

1200 garrafas por hora. Entretanto, por se tratar de um processo manual e dependente de quatro funcionários humanos, esse rendimento pode alterar consideravelmente de acordo com as condições de seus operadores.

## 3.2 Modelo Mecânico do Sistema Automatizado

A primeira versão de projeto visava automatizar o processo de deslocamento de garrafas com a utilização de uma esteira transportadora com correia tracionada por um motor elétrico. Porém, após um estudo do processo, notou-se que, além da implementação desse tipo de equipamento ser trabalhosa e custosa, ela poderia ser substituída por um conjunto mais simples e que atenderia satisfatoriamente as necessidades da empresa. Com base nisso, como já existe na fábrica todo o sistema de compressão e distribuição de ar que ainda tem capacidade de alimentar diversos outros equipamentos, analisou-se a possibilidade da utilização de atuadores pneumáticos. Esse novo sistema usa um cilindro pneumático e um mecanismo de catraca para a movimentação das garrafas, as arrastando de forma linear. Optou-se também por substituir a correia por uma corrente transportadora de arraste como a mostrada pela Figura 3.3.



Figura 3.3: Corrente Transportadora de Arraste tipo Redler (INDUSCORE, 2019)

A vantagem dessa corrente sobre a correia é que, além não ser mais necessária a utilização de tambores e de roletes, ela torna possível a aplicação da força do cilindro diretamente sobre os elos para sua movimentação. Para isso, é usado um mecanismo em aço inox preso na ponta do pistão. Quando o componente pneumático estiver avançando, o contato do dispositivo com a corrente o pressiona para trás permitindo que este deslize livremente sobre ela. Ao atingir seu fim de curso, o atuador retorna e a ponta da haste é travada sobre o elo, arrastando o componente pela distância desejada. Como 3 garrafas serão posicionadas entre as chapas metálicas presas aos pinos da corrente, a movimentação

destas também irá as deslocar. A distância mínima necessária entre um arrastador e outro é de 150 mm (3 garrafas).

É utilizado também um cilindro posicionador responsável por manter as garrafas alinhadas durante o processo de envase, evitando que elas se movimentem e o líquido caia fora do local desejado. Para o fechamento, optou-se pelo uso de um outro atuador pneumático com uma base de metálica, semelhante aquela já utilizada na versão manual, presa em sua ponta. Quando acionado, esse componente pressiona as tampas, posicionadas manualmente, sobre as garrafas, fechando-as. Sabe-se que, dependendo do material e da força que se aplica sobre as embalagens, elas podem danificar, derramando seu conteúdo.

Para evitar este problema foi usada uma chapa de nylon usinada com entradas no formato das garrafas, fixada a um cilindro responsável por segurar e dar sustentação a estas durante o processo de fechamento. A cada ciclo, três garrafas são submetidas a um desses processos.

### 3.3 Projeto de Automação

Para dar início ao projeto de automação, primeiramente foi montado um circuito pneumático com todos os cilindros utilizado no sistema e suas respectivas válvulas, através do software *FluidSim*. O diagrama em questão é mostrado na Figura 3.4.

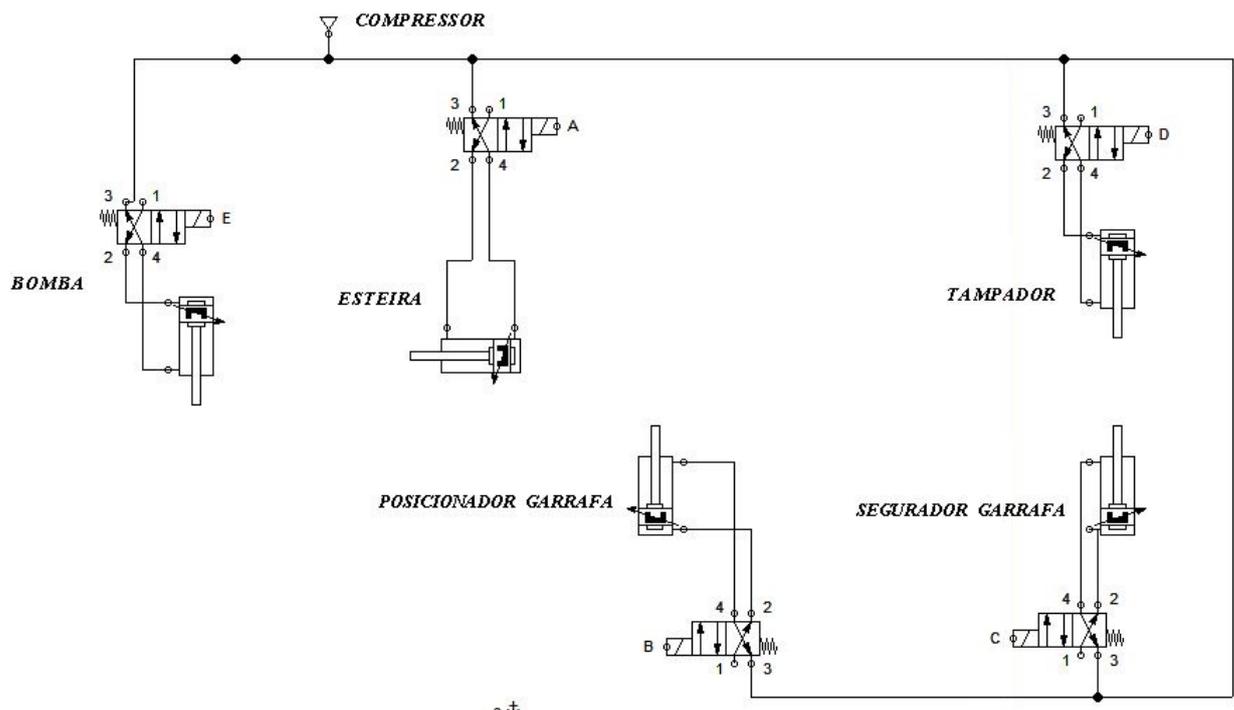


Figura 3.4: Diagrama Pneumático Envasadora

Como pode ser observado na figura acima, apenas um dos três cilindros das bombas foi representado. Esse artifício foi utilizado para a simplificação do circuito durante a simulação, pois os três atuadores funcionarão da mesma forma, com acionamento simultâneo e mesma duração. As válvulas escolhidas tem quatro vias, duas posições e são todas unidirecionais, ou seja, acionadas por apenas um solenoide. O uso da válvula com solenoide em apenas uma direção torna o circuito de comando mais simples, permitindo que a válvula comute em um sentido (avançando ou recuando o cilindro) e retorne para seu estado inicial por influência de um mola.

Outra característica do projeto é que a válvula do cilindro da esteira foi montada de forma inversa às demais, fazendo com este esteja inicialmente avançado e recue quando o sistema for ligado. Isso significa que, todas as demais válvulas só poderão ser acionadas quando o pistão da esteira tiver recuado. Essa medida foi tomada para evitar que os atuadores funcionem enquanto as garrafas estejam em movimento.

A Figura 3.5 mostra o diagrama elétrico de comando das válvulas do circuito pneumático desenvolvido.

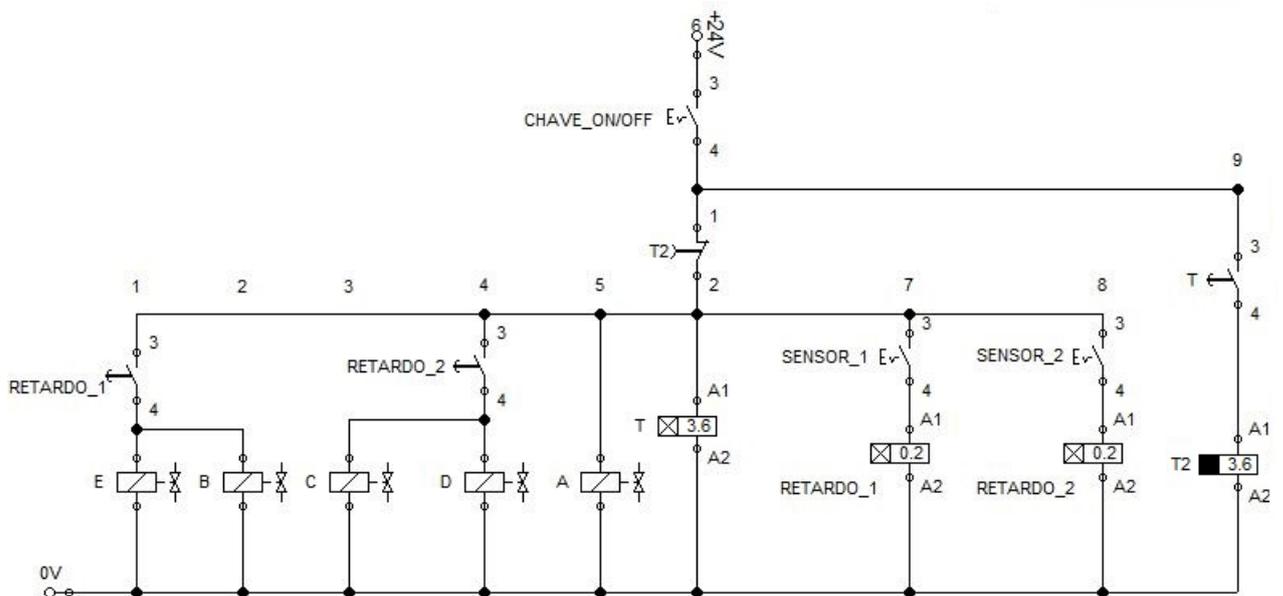


Figura 3.5: Diagrama Elétrico Envasadora

O funcionamento do sistema se dá basicamente em sincronia com dois temporizadores principais. Quando a *chave ON/OFF* é ligada, o solenóide *A*, que comanda o cilindro da esteira, comuta, fazendo com que este recue. Simultaneamente, o temporizador *T* inicia sua contagem e, quando atinge o tempo programado, *T2* é acionando. Esse segundo, ao ser ativado desliga o solenóide *A* avançando novamente com o atuador da esteira. Após o período de *T2* terminar *T* volta a contar, repetindo o ciclo até que a chave seja desligada.

Paralelamente a esses comandos, duas avaliações são feitas. A primeira delas por um sensor de proximidade, no diagrama chamado de *Sensor\_1* e representado por um botão,

que será posicionado em frente ao bico de envase mais a direita do início da guia. Ele será responsável por identificar se existem garrafas na posição de envase a cada recuo da esteira. Caso existam, seu contato se fecha iniciando uma contagem de tempo que, ao terminar, comuta os solenoides  $B$  e  $E$  alguns décimos de segundos depois da leitura do sensor. Estes, por sua vez, farão com que os pistões das bombas e do posicionador avancem. Isso garante que o atuador da esteira tenha recuado completamente e que todas as embalagens estejam em suas posições antes de iniciar o envase.

A segunda avaliação é feita por um outro sensor de proximidade, no esquemático chamado de *Sensor\_2* e posicionado em frente a extremidade mais a direita da barra metálica do tampador. Este, assim como o primeiro, quando ativado, inicia um temporizador que funciona como retardo para os solenoides  $C$  e  $D$  do segurador e do tampador, respectivamente. Assim, estes dois componentes apenas irão avançar alguns décimos de segundo após o acionamento do sensor, dando certeza de que a esteira esteja totalmente parada.

Como dito anteriormente, as duas verificações dos sensores são feitas de forma paralela ao restante do sistema. Ou seja, o atuador responsável por mover a corrente e os dois temporizadores,  $T$  e  $T2$ , tem o mesmo funcionamento independente do acionamento ou não de qualquer um dos sensores.

É válido ressaltar que a utilização de relés temporizados e contatores foi apenas para avaliar o funcionamento da máquina em simulação. A versão final do projeto tem todas as funções de comando e processamento de dados realizados por um microcontrolador.

### 3.3.1 Dimensionamento dos Atuadores

Para o dimensionamento dos cilindros do sistema utiliza-se dos métodos e as equações citadas na Subseção 2.2.3. Como dito, quando se fala em dimensionamento de atuadores deve-se levar em conta as forças em que cada parte do mecanismo irá solicitar, a necessidade de atuação e a pressão de trabalho do compressor.

Sabe-se que a pressão de trabalho já utilizada na rede de distribuição de ar comprimido da empresa é de 6 bar. Especificou-se para cada cilindro o diâmetro de seu pistão, levando em consideração as características citadas acima. Como não é possível saber exatamente a força que cada atuador deve exercer, para fins de projeto, o que se fez foi aproximar seu valor de forma que o dimensionamento seja um pouco superior ao necessário.

Para o atuador da esteira considerou-se que a força aplicada deve ser igual ao peso de 40 garrafas de 200g, que é a quantidade máxima de embalagens cheias que podem ser posicionadas sobre a guia. Sabendo disso, utilizando a Tabela 2.1 (que faz a correção da força de projeto considerando a força de atrito Estático e a força de atrito Cinético internas do cilindro) e a Equação (2.6) obtemos o seguinte resultado para o diâmetro do pistão da esteira:

$$D_{pesteira} = 16 \text{ mm}$$

Assim sendo, qualquer cilindro que tenha um diâmetro igual ou superior a 16mm atenderá tranquilamente a essa aplicação. Como a força de atrito entre a guia e as embalagens é muito pequena e a estimativa da força de arraste aplica uma situação extrema que nunca irá acontecer, já no mínimo seis garrafas sempre estarão vazias, pode se considerar que esta primeira encontra-se implícita no cálculo acima.

Para o caso do cilindro que realiza a pressão para fechar as garrafas, estimou-se que uma força de 1 kgf é suficiente para realizar a tarefa. É válido lembrar que este é um valor superdimensionado e determinado empiricamente. Caso durante o funcionamento da máquina perceba-se que essa seja uma força muito alta e esteja danificando as embalagens é possível abaixar a pressão até um valor desejado utilizando uma válvula reguladora de fluxo. Dessa forma, considerando a força citada acima, temos:

$$D_{ptampador} = 5.6 \text{ mm}$$

Por esse ser um valor muito pequeno, adota-se o valor de diâmetro comercial mais próximo, que é de 8 mm. Esse mesmo número pode ser adotado para o cilindro posicionador e para o segurador de garrafas, uma vez que estes não exercerão praticamente nenhuma força em seu eixo, sendo utilizado apenas para apoiar e guiar as embalagens durante funcionamento da máquina.

Todos os dados técnicos referentes aos cilindro dimensionados podem ser encontrados no Apêndice C

### 3.3.2 Método Alternativo : Implementação em PLC

Uma forma alternativa ao sistema montado nas Subseções anteriores, que utiliza relés e botoeiras, é a implementação do circuito em um *PLC*. A vantagem de se utilizar esse componente é a economia de espaço, uma vez que praticamente todos os componentes elétricos mostrados anteriormente seriam substituídos por um único bloco de comando. Além disso, com o *PLC* é mais simples alterar o funcionamento da máquina, já que é necessário que se modificasse apenas o código gravado em sua memória. Outro ponto positivo é que, esse dispositivo tornaria possível a identificação de falhas através da *IHM* poupando ao operador o trabalho e o tempo que se tem ao procurá-las componente por componente.

Apesar dessas vantagens, optou-se por não utilizar o *PLC* para este projeto, pois um dos objetivos do trabalho é desenvolver um sistema alternativo aos existentes no mercado, reduzindo custos de montagem, o que não aconteceria caso esse dispositivo fosse implementado. Além disso, por se tratar de um sistema relativamente simples e que

necessita de poucos componentes, não existe um motivo forte que justifique o gasto em um equipamento dessa natureza.

No entanto, foi feita a programação em linguagem *ladder* com auxílio do simulador de entradas e saídas do software *LogixPro*, o qual é mostrado pela Figura 3.6. O intuito desse código foi tornar possível a realização de uma comparação entre a linguagem do *PLC* e o diagrama elétrico montado e mostrado na Figura 3.5.

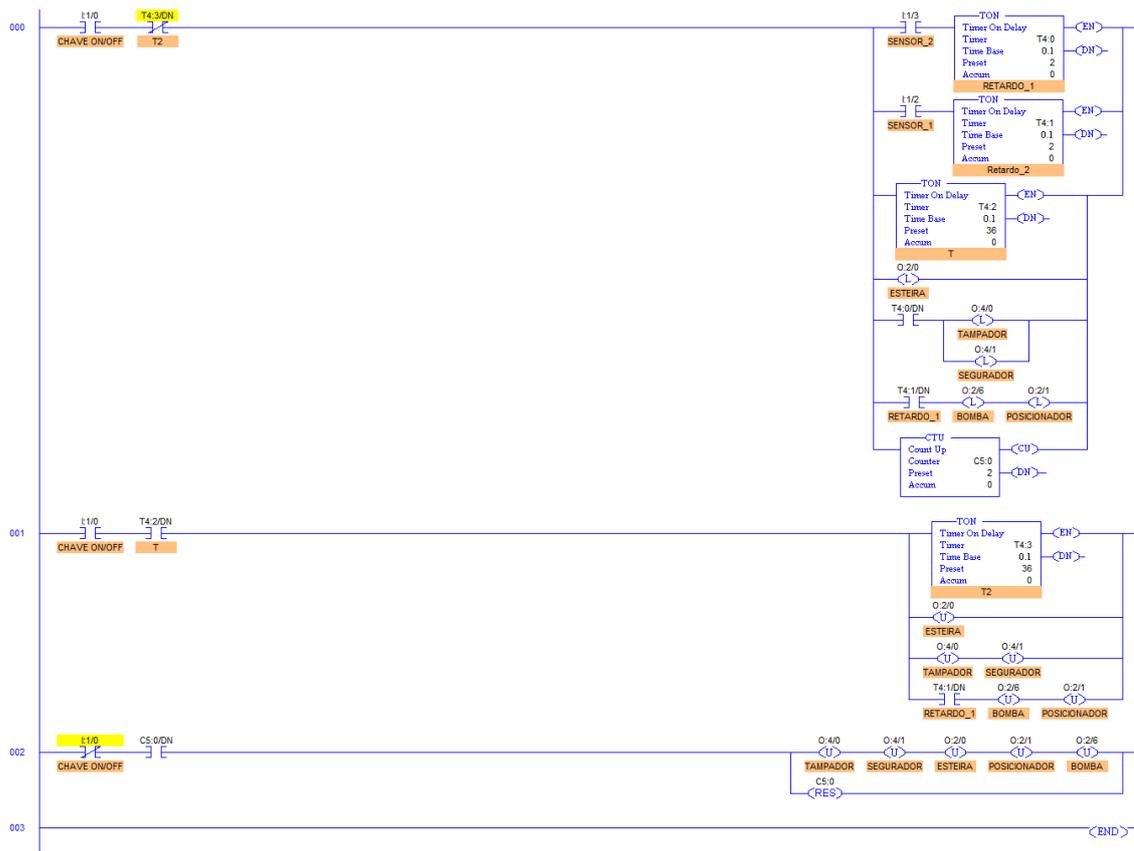


Figura 3.6: Diagrama Ladder Envasadora

O funcionamento deste circuito é idêntico ao descrito anteriormente, sendo os componentes agora parte de um único bloco e organizados de forma horizontal, que é uma característica dessa linguagem. Foi acrescentado também um contador ao sistema para que, ao pressionar a *chave ON/OFF* pela uma segunda vez, feche o contato do contador presente na *Network 3* e desligue todo o sistema.

Como é possível perceber, em termos de complexidade ambos os circuitos tem praticamente o mesmo nível. Para a simulação, as diferenças existentes entre programar o *PLC* ou montar um circuito eletropneumático são mínimas. Porém, como dito anteriormente, o *PLC* têm na prática diversas vantagens.

Para a regulagem dos tempos tanto para o sistema em *ladder* quanto nos relés foi utilizada a base que se tem atualmente do acionamento das bombas do sistema manual. Isso é, foi utilizado 3,6 décimos de segundo para cada temporizador e 0,2 décimos de segundo para os retardos.

### 3.4 Projeto do Circuito de Comando

Todo o comando do sistema é realizado pelo controlador, o qual pode ser considerado “cérebro” da máquina. No caso deste projeto, como um dos objetivos é a redução de custos, foi escolhido para essa função uma placa microcontrolada por PIC. Porém, outras plataformas, como o Arduíno, também atenderiam satisfatoriamente à essa função. A escolha pela utilização dessa primeira se deve ao fato de o código já ser desenvolvido preparado para uma aplicação comercial e não se prender a bibliotecas pré definidas, dando maior liberdade ao programador.

Dentre as diversas famílias de PIC disponíveis no mercado optou-se pela 18F, mais especificamente o PIC 18F2550. Selecionou-se esse tipo, não só pela maior familiaridade do autor com esse controlador, mas também devido ao maior número de entradas e saídas digitais presentes no mesmo, superior ao de modelos como o 16F, por exemplo. Isso permite que mais componentes sejam utilizados na máquina e comandados pela mesma placa em aplicações futuras.

A Tabela 3.1 mostra as especificações técnicas da placa que podem ser consideradas as mais relevantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Descrição	Valor
Microcontrolador	PIC 18F2550
Tensão de Operação	5V
Tensão de Alimentação (Recomendado)	2 - 5.5 V
Tensão de Alimentação (Limites)	6 - 15 V
Número de Portas Digitais I/O	24
Número de portas PWM	10
Número de Entradas Analógicas	10
Corrente Máxima nas Portas	200mA
Memória Flash	32 Kb
SRAM	2Kb
EEPROM	256b

Tabela 3.1: Especificações Técnicas Placa Microcontrolada

Como no controle dessa máquina o PIC irá se comunicar com dispositivos que foram fabricados para trabalhar em níveis de tensão e corrente maiores do que as permissíveis pelo mesmo, é necessário que se faça uma avaliação cuidadosa destes dados de funcionamento do microcontrolador e de cada um dos componentes do sistema antes de se iniciar o projeto eletrônico.

Na Figura 3.7 é apresentada uma foto de uma placa microcontrolada  $\mu$ Start comandada por um PIC 18F2550.

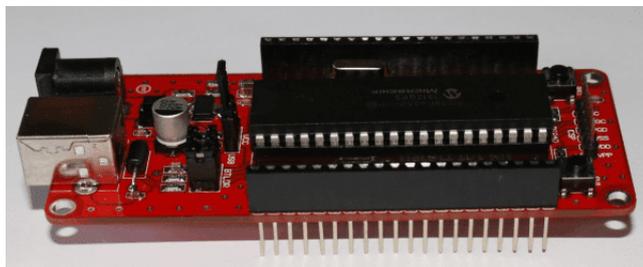


Figura 3.7: Placa Microcontrolada  $\mu$ Start (EMBARCADOS, 2019)

No circuito estão disponíveis dois botões, localizados próximos a uma das extremidades da placa, sendo um utilizado para resetar o controlador e o outro para utilização do usuário.

A alimentação do sistema pode ser feita através de uma fonte externa com tensão que varie entre 6V a 15V. A seleção de qual fonte será utilizada pelo circuito é feita através do jumper VCC presente na placa. É possível também que se remova os jumpers BTLDR caso se deseje utilizar o pino da comunicação USB como pino de I/O.

E, por fim, é importante ressaltar que essa placa não necessita de um programador externo para gravar o código desenvolvido no microcontrolador. A  $\mu$ Start possui um programa bootloader para carregar o arquivo executável e, quando este carregador é ativado ele salva o programa .hex na memória do componente através da interface USB.

Para a verificar a presença de garrafas sob os bicos de envase e sob o tampador serão utilizados dois sensores de proximidade infravermelho E18-D80NK, semelhantes ao mostrado na Figura 3.8.



Figura 3.8: Sensor de Proximidade Infravermelho E18-D80NK (MASTER WALKER ELECTRONIC SHOP, 2019)

Este sensor é capaz de detectar objetos que estejam a uma distância de 3 a 80cm a qual pode ser ajustada através de um potenciômetro que se encontra em sua parte inferior. O modelo foi escolhido devido a seu baixo tempo de resposta, seu baixo custo e por seu funcionamento simples. Além disso, o componente já é desenvolvido para a utilização em placas microcontroladas, não necessitando de nenhum circuito intermediário para se comunicar com o PIC.

Quanto ao acionamento das solenoides das válvulas pneumáticas, existem duas limitações quando se utiliza um microcontrolador. A primeira é a tensão de trabalho da solenoide que é 24 Vcc, diferente da tensão de trabalho da placa. E a segunda é a corrente necessária para o acionamento deste componente, que ultrapassa a permissível nas saídas digitais. Para resolver este problema é utilizado o módulo relé para acionamento de cargas, mostrado na Figura 3.9.



Figura 3.9: Módulo Relé 1 canal 5V(AUTOCORE ROBOTICA, 2019)

Com o uso deste circuito pode-se acionar qualquer carga, desde que o relé escolhido tenha a capacidade de corrente e tensão exigidas pelo componente que se deseja alimentar. Este módulo é bem simples e possui três pinos de entrada e três saídas. Para que seja acionado basta que se envie um sinal baixo do controlador para o pino IN da placa intermediária. Com isso o contato do relé se fecha ligando o circuito de comando com a tensão de alimentação das válvulas pneumáticas. Para o caso deste projeto é utilizado um módulo com 8 relés, sendo um para cada atuador da máquina e dos cilindros da bomba.

### 3.4.1 Programação Microcontrolador

Para a criação do código na linguagem C do microcontrolador foi utilizado o software de desenvolvimento *PIC C Compiler*. Este programa gera um arquivo .hex que é utilizado para simulação e, posteriormente, gravação no microcontrolador.

O primeiro passo para o desenvolvimento desse código da máquina foi a criação de um diagrama de blocos que facilitasse a visualização de cada etapa do processo de funcionamento, como mostrado na Figura 3.10. Este serviu como um guia e através dele foi possível otimizar o programa evitando linhas desnecessárias.

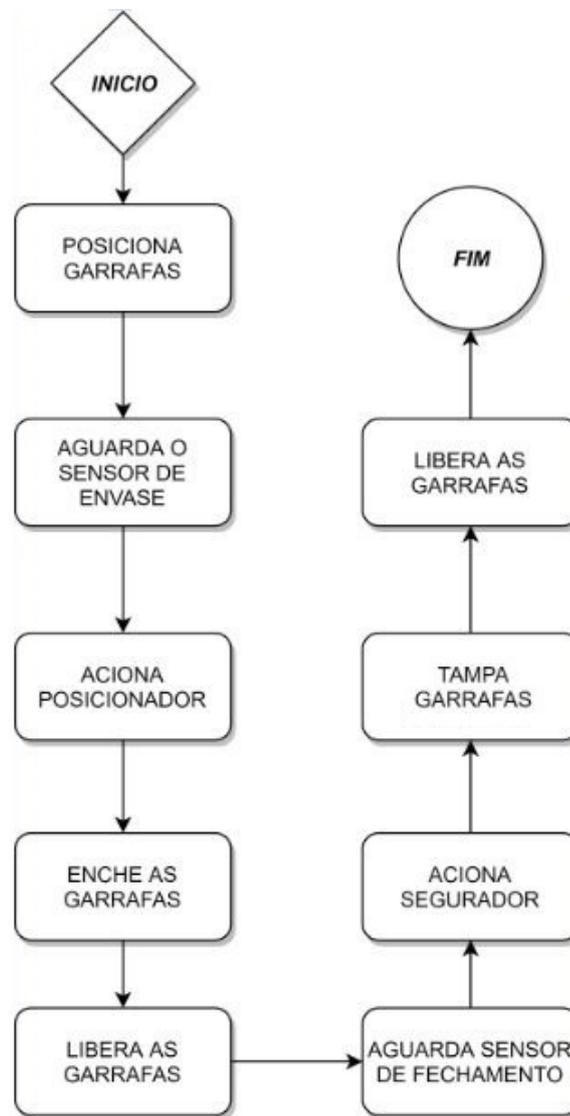


Figura 3.10: Diagrama de blocos completo envasadora

Sendo assim, criou-se o código de forma que ao ligar a chave geral da máquina, o pistão da esteira recue e permaneça nessa posição por 3.6 s antes de avançar novamente. Esse ciclo se repete indefinidamente até que pelo menos um dos sensores sejam acionados. Os tempos de avanço e recuo assim como o funcionamento de todos os outros atuadores seguiram os mesmos critérios descritos na Seção 3.3. O programa desenvolvido encontra-se no Apêndice A.

### 3.4.2 Simulação de Funcionamento da Máquina

Para que fosse possível realizar uma simulação que atendesse as necessidades de construção do projeto, com maior grau de confiabilidade e realidade, foi utilizado o software *Proteus*. Neste programa foram verificados e corrigidos os problemas de execução do código, assim como o ajuste dos tempos de funcionamento de cada atuador. A Figura 3.11 mostra o circuito desenvolvido para a execução de tais testes.

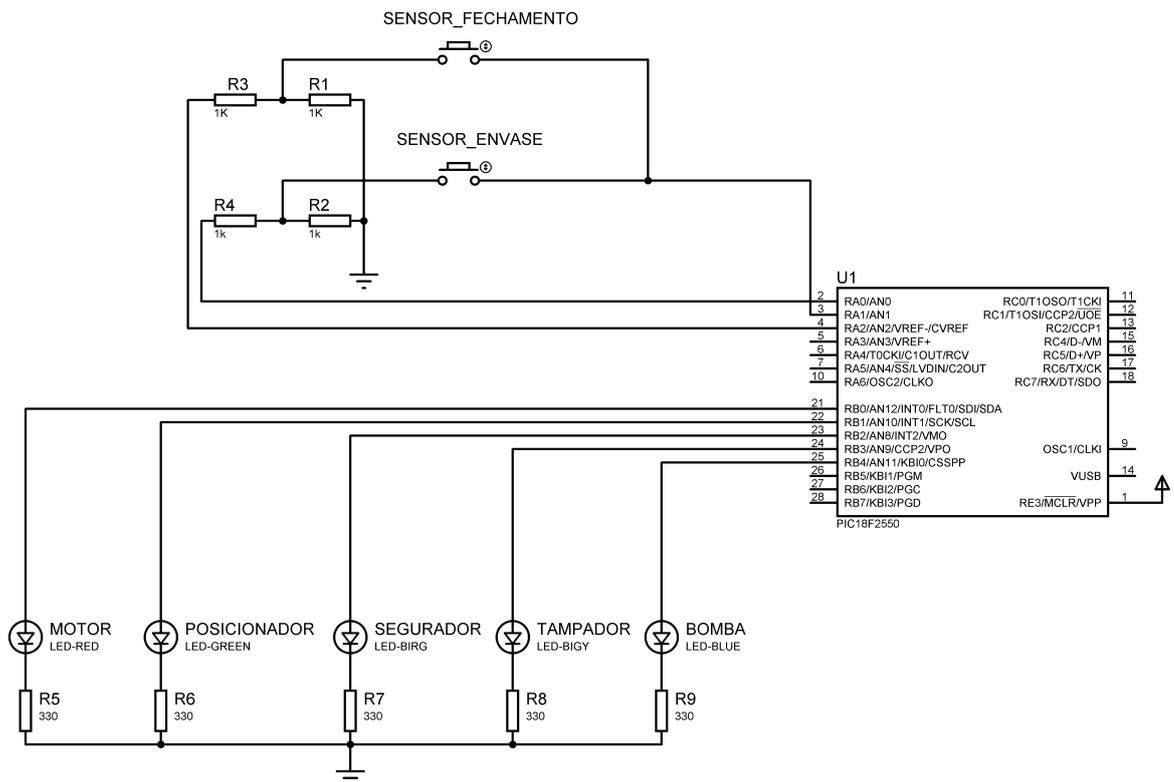


Figura 3.11: Circuito utilizado para a simulação no Proteus

Como pode ser observado na figura acima, para fins de simulação, cada um dos atuadores pneumáticos foi representado por um led e os sensores de presença foram simbolizados por botões.

### 3.5 Dimensionamento da Corrente de Arraste e das Engrenagens

Para a escolha da corrente responsável por movimentar as embalagens, toma-se como parâmetro inicial o diâmetro destas. Ou seja, para que se mova 3 garrafas a cada ciclo é necessário que a corrente se desloque 150 mm. Com base nisso, define-se que a distância entre os arrastadores da Redler onde as garrafas serão posicionadas deve apresentar no mínimo esse comprimento. É necessário então que se defina um valor de passo que quando multiplicado por um número inteiro resulte nesse deslocamento.

Após um estudo dos catálogos de alguns dos principais fabricantes desse tipo de equipamento determinou-se que o valor comercial de passo  $P$  mais adequado para a corrente é de 50,8 mm (2") com arrastadores posicionados a cada 3 passos (152,4 mm). Essa pequena folga presente entre eles é considerada muito pequena para que as garrafas tombem durante o movimento.

Uma vez selecionado o passo, as demais especificações foram escolhidas seguindo esses mesmos catálogos. A Figura 3.12 mostra os valores determinados para cada componente da corrente.

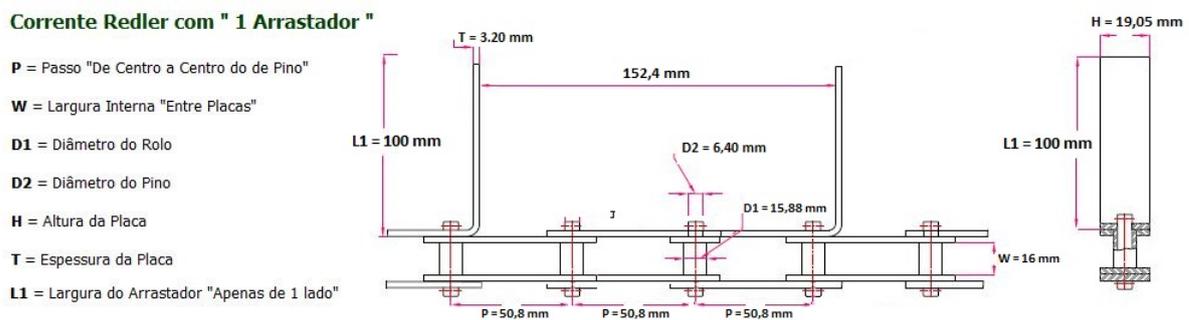


Figura 3.12: Especificações Corrente Rendler Selecionada - Tipo T

Após selecionado o modelo da corrente é necessário que se determine quais as engrenagens serão utilizadas para movimentá-la. Como no sistema projetado todo o movimento será realizado pelo cilindro pneumático, não existe diferença entre elas já que ambas serão engrenagens movidas.

Para a primeira etapa na determinação dos parâmetros deste componente toma-se o valor do passo da corrente escolhida como igual ao passo da engrenagem desejada. Além disso, de acordo com as necessidades do projeto, escolhe-se também o número de dentes do elemento. Para o caso deste projeto, novamente com base nos catálogos dos fabricantes e nas especificações da máquina, foi selecionada uma engrenagem de  $z = 8$  dentes. Com esses dois valores em mãos e utilizando as Equações 2.1, 2.2 e 2.3, obtém-se:

$$D_p = 132,74mm \quad (3.1)$$

$$M = 16,17mm \quad (3.2)$$

$$D_{Ext} = 161,7mm \quad (3.3)$$

Assim, com esses dados calculados, selecionou-se dentro das opções comerciais disponíveis, o modelo que melhor se encaixa para a utilização na corrente projetada. As páginas dos catálogos que contém tanto as informações da corrente quanto das engrenagens escolhidas podem ser encontradas no Apêndice B.

### 3.6 Representação Mecânica

Após o dimensionamento de todos os componentes foi realizada a montagem do sistema com a corrente no software *SolidWorks*. Esse esboço é importante para que se avalie corretamente o posicionamento de cada elemento da máquina possibilitando uma melhor visualização do projeto. A Figura 3.13 mostra o conjunto de envase para a versão do sistema com arraste Redler.

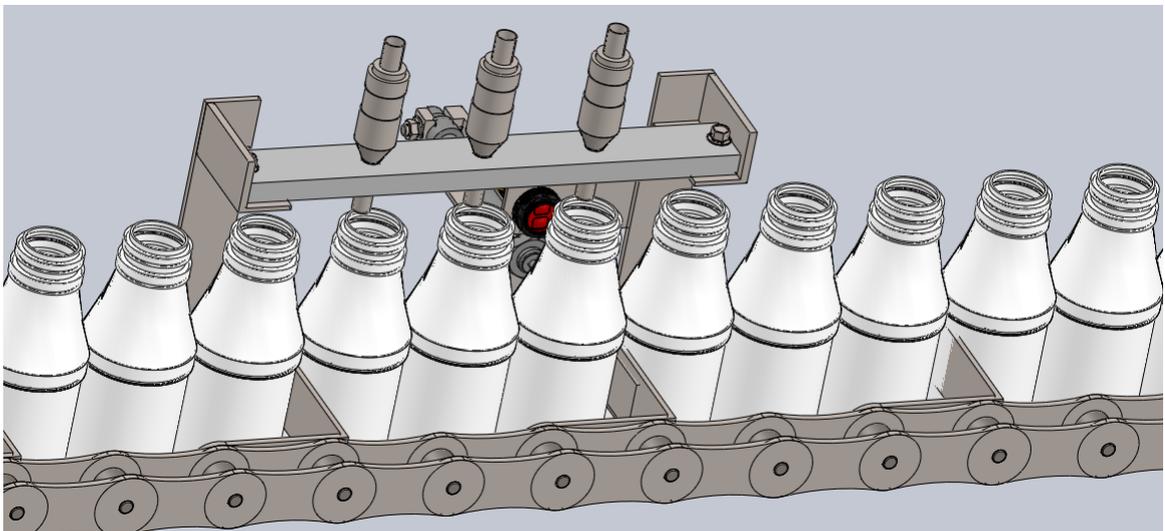


Figura 3.13: Representação sistema de envase da máquina automática

Já na Figura 3.14 é mostrado o componente responsável pela selagem das tampas nas garrafas, sendo esta formada por um cilindro pressionador e um cilindro segurador.

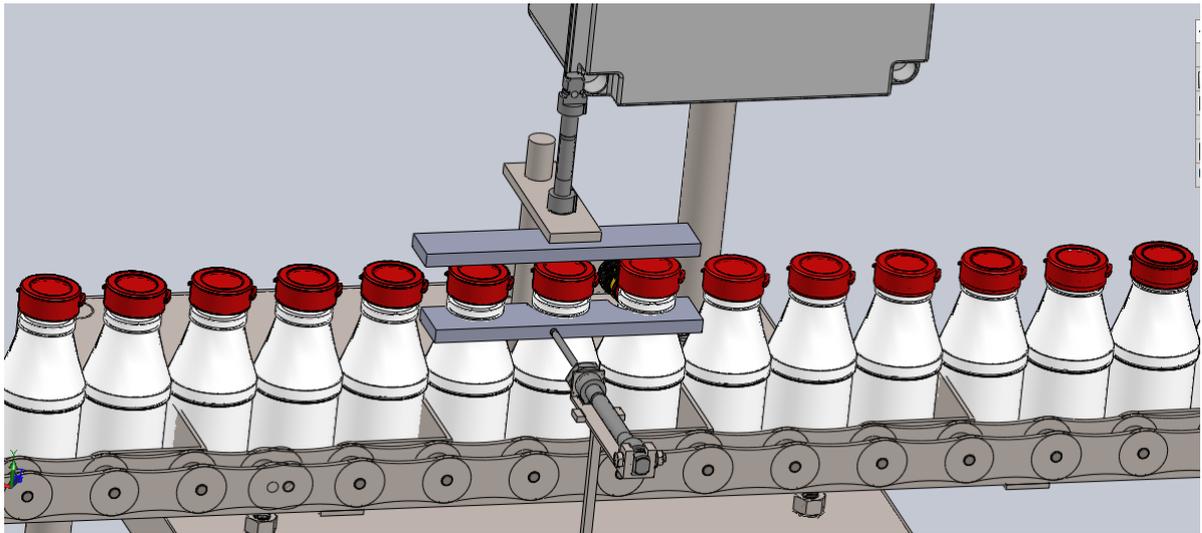


Figura 3.14: Representação sistema tampador da máquina automática

A movimentação da corrente é realizada por um dispositivo mecânico preso a sua extremidade do atuador pneumático como mostrado na Figura 3.15. Esse conjunto foi posicionado na parte de baixo da máquina para não ocupar espaço de trabalho dando mais liberdade para que o operador coloque as garrafas na guia.

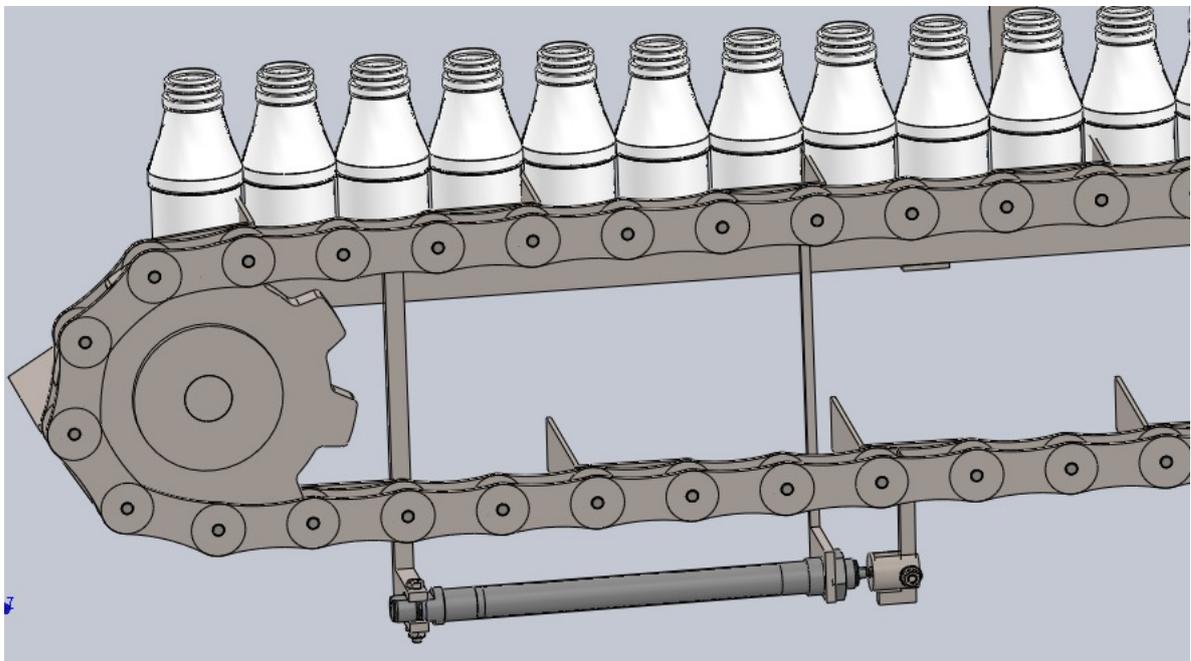


Figura 3.15: Vista frontal da Sistema Pneumático de Arraste da Corrente

Por fim, as Figuras 3.16 e 3.17 representam a máquina completa para essa versão com movimentação por corrente Redler.

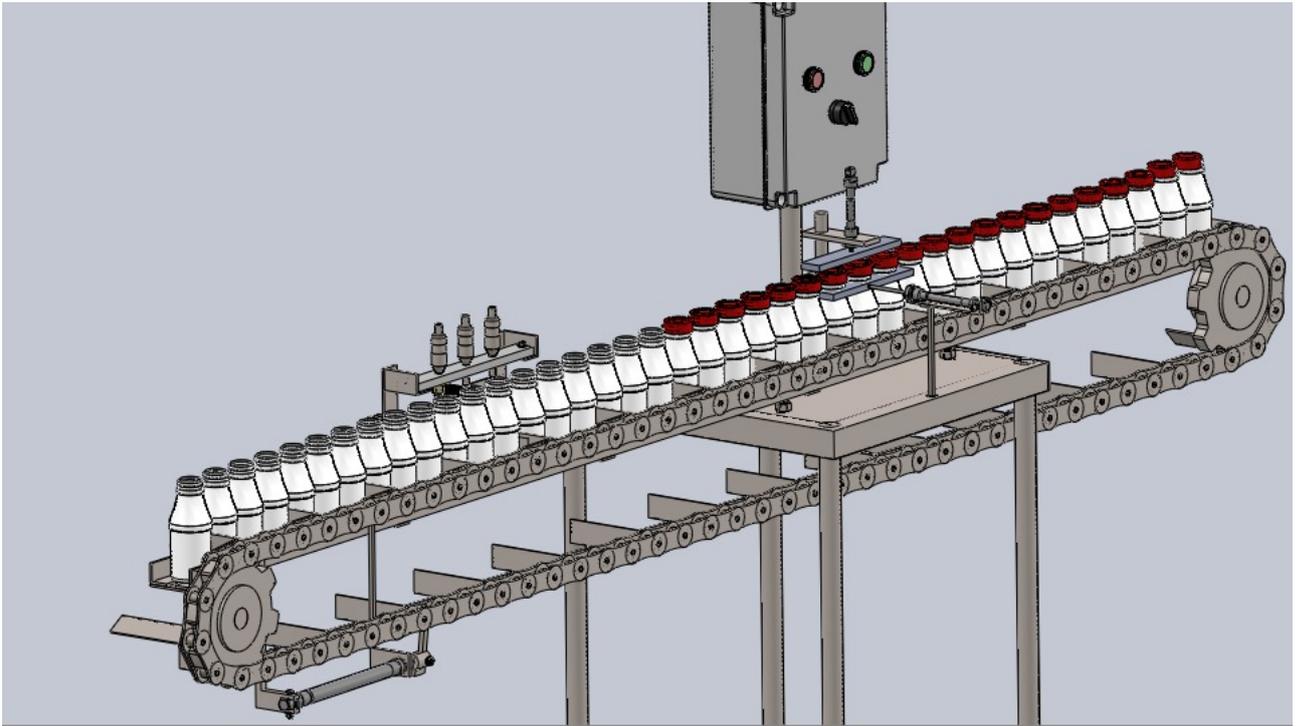


Figura 3.16: Vista Lateral/Frontal da máquina automatizada com carga

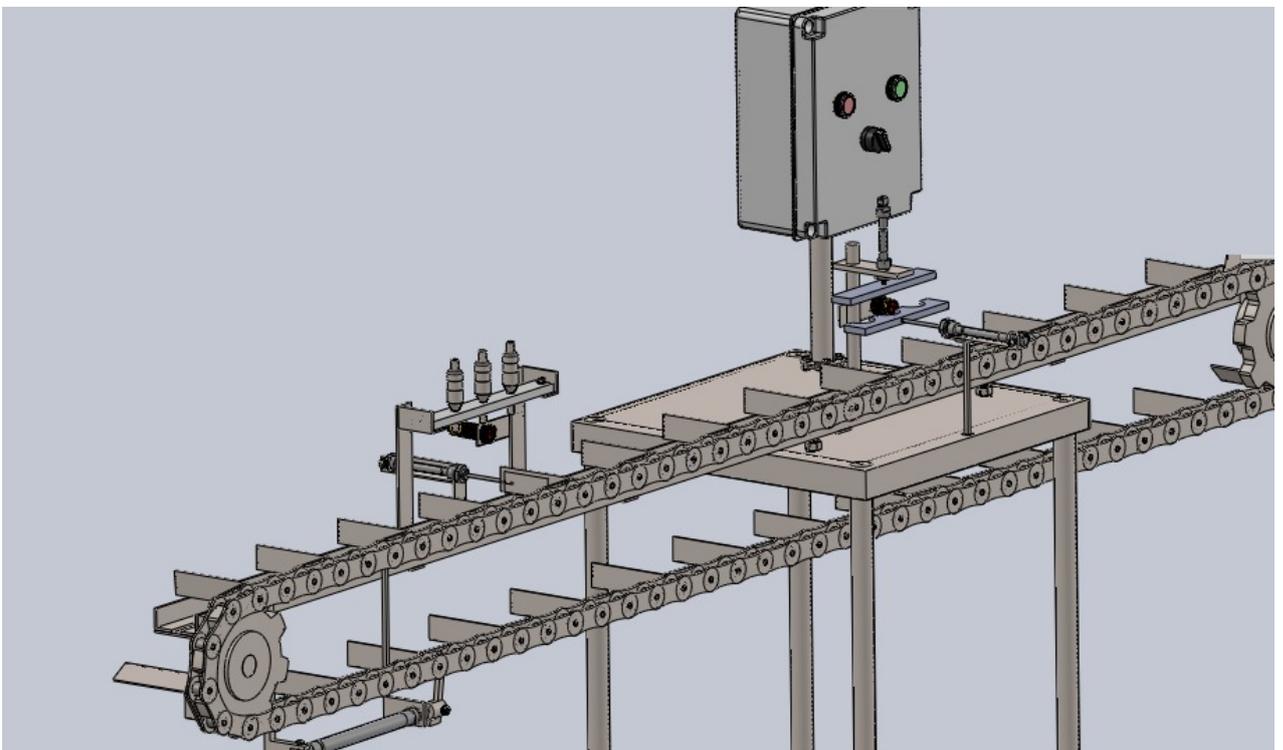


Figura 3.17: Vista Lateral/Frontal máquina automatizada vazia

Com a montagem no software foi constatado que, para esse tipo de sistema, não existe a necessidade da utilização do cilindro posicionador localizado debaixo dos bicos de envase. Isso por que como a distância entre as placas têm uma folga muito pequena, os próprios arrastadores realizam a função de segurar as garrafas para que não caiam durante o processo de enchimento.

Com base nos tempos programados para avanço e recuo dos atuadores pneumáticos é possível estimar ainda que esse modelo apresenta um rendimento de aproximadamente 1500 garrafas/hora. Além disso, são necessários apenas dois operadores para o bom funcionamento da máquina; um para posicionar as embalagens no início da guia e outro para colocar as tampas que serão fechadas pelo cilindro tampador.

### 3.7 Orçamento Sistema Redler

Para a análise do custo e da viabilidade do projeto foi montada a Tabela 3.2 em que são listados os principais itens necessários para a montagem da máquina e realizada uma consulta de preços em alguns fornecedores.

<i>Orçamento Sistema com Arraste Redler</i>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>QTD</b>	<b>FORNECEDOR</b>	<b>CUSTO TOTAL (R\$)</b>
Corrente Redler Inox (4m)	1	INDUSCORE (2019)	3.980,00
Engrenagens Inox	2	INDUSCORE (2019)	1.980,00
Cilindro Pneumático Dupla Ação Ø16 X 160 mm	1	VALVULEX [1] (2019)	144,80
Cilindro Pneumático Dupla Ação Ø8 X 25 mm	1	VALVUTEX [2] (2019)	67,00
Cilindro Pneumático Dupla Ação Ø8 X 50 mm	1	VALVULEX [3] (2019)	71,00
Válvula Solenoide 5/2 Vias 24Vcc	6	VOLTEX AUTOMAÇÃO (2019)	253,80
Modulo Relé 8 canais 5V	1	ELETROGATE (2019)	44,00
Placa Microcontrolada PIC	1	VMR (2019)	84,90
Sensor Óptico de Proximidade E18-D80NK	2	MASTER WALKER (2019)	77,80
Caixa P/ Componentes Eléctricos	1	KRAUS+MULLER (2019)	34,80
Sinalizadores Painel Eléctrico	2	ENG (2019)	32,00
<b>VALOR TOTAL R\$ 6770,10</b>			

Tabela 3.2: Orçamento Componentes Sistema com Corrente de Arraste

Como pode ser visto os componentes que mais oneram o custo final da máquina são justamente as engrenagens e a corrente, sendo responsáveis por 88% desse valor. Apesar disso, o gasto com esse modelo ainda é muito menor do que a aquisição de um equipamento novo.

## Considerações Finais

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões e as discussões acerca dos resultados obtidos na realização do projeto, ao fim do segundo semestre de execução do mesmo.

### 4.1 Conclusões

Ao término deste trabalho é possível afirmar que todos os objetivos específicos de projeto, tal como o objetivo geral foram cumpridos conforme o proposto. Apesar disso, durante o seu desenvolvimento diversas alterações se fizeram necessárias para atender a novas solicitações mantendo um baixo custo sem que se perdesse em eficiência e qualidade do trabalho.

A proposta inicial era desenvolver e implementar a automatização da máquina envasadora utilizando o sistema de movimentação de garrafas por meio de uma correia transportadora e um motor elétrico. Porém, a pedido da empresa pra qual o sistema foi direcionado, esse modelo foi modificado para um que tivesse todas as etapas do processo realizada por atuadores pneumáticos. Como esse tipo de sistema, para essa aplicação, não é comum no mercado, essa etapa exigiu uma avaliação mais aprofundada do processo e uma nova pesquisa sobre formas alternativas de deslocamento.

O modelo eletropneumático desenvolvido se mostrou eficiente em todas as simulações realizadas. O sistema de correntes tem a vantagem de transportar as garrafas de forma padronizada e suas placas servem como apoio para segurar as embalagens para que não derramem durante a mudança de etapas, problema que pode ocorrer no sistema de transporte por correia. O monitoramento por sensores foi outro fator importante acrescentado ao projeto. Ele impede que as etapas de envase e de fechamento sejam executadas caso não existam garrafas devidamente posicionadas. Contudo, é válido lembrar que todo o processo foi desenvolvido considerando que cada ciclo seja realizado sempre com três garrafas e seu bom funcionamento só é garantido para essa condição.

Esse sistema apresentou, porém, um custo um pouco mais elevado do que o que se esperava, com um valor de R\$6770,10. Isso devido a corrente e as engrenagens que, por trabalharem em área de produção de alimentos, precisam ser de material inoxidável, o que aumenta muito seu custo. Apesar disso, essa ainda é uma alternativa viável para a empresa uma vez que, o investimento seria no mínimo 77% menor do que o necessário para adquirir um equipamento novo. Além disso, seu rendimento, mesmo sendo pouco menor que o dos modelos de mercado, ainda é satisfatório.

Entretanto, mesmo com essa redução o sistema não foi implementado na empresa devido ao surgimento da necessidade de investimento por parte dela, em outras linhas de produção. Assim a montagem física do projeto não pode ser executada para esse trabalho e será realizada posteriormente.

Por fim, o que se conclui é que a implementação do sistema eletropneumático propostos é sim interessantes para o laticínio em questão. Isso por que, além de reduzir o número de funcionários realizando tarefas repetitivas de 4 para 2 e permitir que os mesmos sejam realocados em outros setores, essa mudança no maquinário aumenta a produção por um investimento baixo. Ainda, como o projeto foi desenvolvido tendo como base essa linha de produção específica, foi possível a criação de máquina direcionada para as necessidades da empresa, evitando componentes desnecessários e reduzindo sua complexidade.

De uma forma geral, a realização deste trabalho permitiu que o autor colocasse em prática diversos conhecimentos adquirido durante o curso, exigindo uma interdisciplinaridade inerente à um bom engenheiro mecatrônico. E ainda projetar um sistema simples e efetivo que pode ser aplicado a industrias de todos os portes como uma forma alternativa e barata aos sistemas de envasamento presentes no mercado.

## 4.2 Propostas de continuidade

Mesmo que todos os objetivos do projeto tenham sido realizados, existem alguns pontos que podem ser desenvolvidos em trabalhos futuros para testar e melhorar o rendimento da máquina.

Sua implementação física é o primeiro deles pois, apesar de todas as simulações realizadas e da precisão dos softwares utilizados, alguns componentes podem apresentar funcionamento um pouco diferente quando testados em ambiente real. Isso exigirá um ajuste fino e algumas possíveis mudanças no posicionamento de determinados elementos.

Um segundo tópico interessante de se abordar seria a comparação entre o sistema de transporte por correias e o sistemas eletropneumático desenvolvidos. Uma análise aprofundada que avalie o tempo de vida, desgastes, rendimento, custos e facilidade de implementação permitiria a listagem de vantagens e desvantagens dos diferentes modelos

possíveis. E com base nisso, afirmar qual é mais vantajoso economicamente e em termos de eficiência produtiva.

Uma outra opção seria o estudo de um conjunto eletropneumático alternativo que possa substituir a corrente e as engrenagens na movimentação das garrafas. Com isso, encontrar uma forma de se reduzir ainda mais o investimento inicial por parte da empresa sem perda de eficiência.

Por último, sugere-se o desenvolvimento e a implementação de um dispositivo de posicionamento de tampas para que seja acoplado aos demais sistemas da máquina. E, com isso, diminuir a necessidade de realização de atividades repetitivas por operários humanos e ainda as chances de erro durante o processo de envase.

## Códigos

### A.1 Código Modelo Arraste Corrente Redler

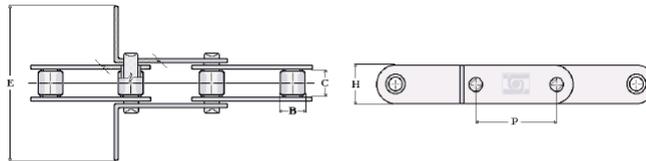
```
1
2 include <main.h>
3
4 //Modulo relé utilizado é acionado por 0
5
6 void main()
7 {
8
9     while(TRUE)
10    {
11
12        // FUNCIONAMENTO ESTEIRA
13
14        output_high(pin_A1);    // tensão 5v
15        output_low(pin_B0);    //Liga Pistão Esteira
16        delay_ms(3600);
17        output_high(pin_B0);  //Desliga Pistão Esteira
18        delay_ms(3600);
19
20
21        //SENSOR ENVASE ON - FECHAMENTO OFF
22
23        if (input(pin_A0)== 1 && (input(pin_A2)== 0))
24        {
25            output_low(pin_B1); //Liga Posicionador
26            delay_ms(500);
27            output_low(pin_B4); //Liga Bomba
28            delay_ms(3100);
29            output_high(pin_B4); //Desliga Bomba
30            output_high(pin_B1); //Desliga Posicionador
31            delay_ms(500);
32        }
33
34        //SENSOR ENVASE OFF - FECHAMENTO ON
```

```
35
36     else if (input(pin_A0)== 0 && (input(pin_A2)== 1))
37     {
38         output_low(pin_B2); //Liga Segurador
39         delay_ms(500);
40         output_low(pin_B3); //Liga Tampador
41         delay_ms(3100);
42         output_high(pin_B3); //Desliga Tampador
43         output_high(pin_B2); //Desliga Segurador
44         delay_ms(500);
45     }
46
47     //SENSOR ENVASE ON - FECHAMENTO ON
48
49     else if (input(pin_A0)== 1 && (input(pin_A2)== 1))
50     {
51         output_low(pin_B1); //Liga Posicionador
52         output_low(pin_B2); //Liga Segurador
53         delay_ms(500);
54         output_low(pin_B4); //Liga Bomba
55         output_low(pin_B3); //Liga Tampador
56         delay_ms(3100);
57         output_high(pin_B4); //Desliga Bomba
58         output_high(pin_B3); //Desliga Tampador
59         delay_ms(500);
60         output_high(pin_B1); //Desliga Posicionador
61         output_high(pin_B2); //Desliga Segurador
62         delay_ms(500);
63     }
64 }
65 }
```

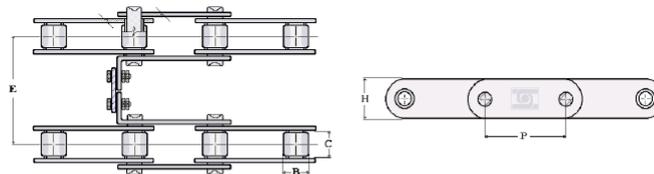
# Apêndice B

## Catálogos

### CORRENTE DE ARRASTE REDLER



Referência <b>Cerello</b>	Passo	Passo	Entre Placas	Diâmetro do Rolo	Altura da Placa	Largura total De Arraste	Carga de Ruptura (Total do conjunto)
	P	P	C	B	H	E	
<b>Simple</b>							
AS-212/1016/B-100	pol.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	Kg.
AS-212/1016/B-125	4	101,60	20	22,23	28,57	100	
AS-212/1016/B-150						125	
AS-212/1524/B-100						150	5.000
AS-212/1524/B-125	6	152,40	20	22,23	28,57	100	
AS-212/1524/B-150						125	
AS-212/1016/C-200						150	10.000
AS-212/1016/C-250	4	101,60	28	25,40	31,75	200	
AS-212/1016/C-300						250	
AS-212/1524/C-200						300	10.000
AS-212/1524/C-250	6	152,40	28	25,40	31,75	200	
AS-212/1524/C-300						250	

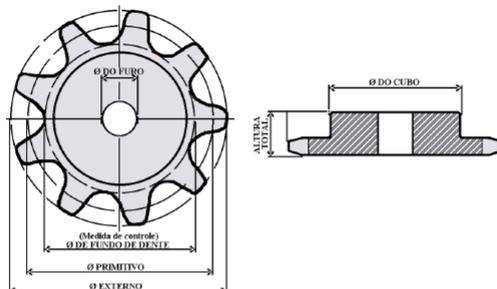


Referência <b>Cerello</b>	Passo	Passo	Entre Placas	Diâmetro do Rolo	Altura da Placa	Largura total De Arraste	Carga de Ruptura (Total do conjunto)
	P	P	C	B	H	E	
<b>Duplas</b>							
AD-212/1016/B-200	pol.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	Kg.
AD-212/1016/B-250	4	101,60	20	22,23	28,57	200	
AD-212/1016/B-300						250	
AD-212/1524/B-200						300	10.000
AD-212/1524/B-250	6	152,40	20	22,23	28,57	200	
AD-212/1524/B-300						250	
AD-212/1016/C-300						300	20.000
AD-212/1016/C-400	4	101,60	28	25,40	31,75	300	
AD-212/1016/C-500						400	
AD-212/1524/C-300						500	20.000
AD-212/1524/C-400	6	152,40	28	25,40	31,75	300	
AD-212/1524/C-500						400	

Figura B.1: Página Catálogo Correntes Cerello (CERELLO, 2019)

## ENGRENAGENS PARA CORRENTES TRANSPORTADORAS

### CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS

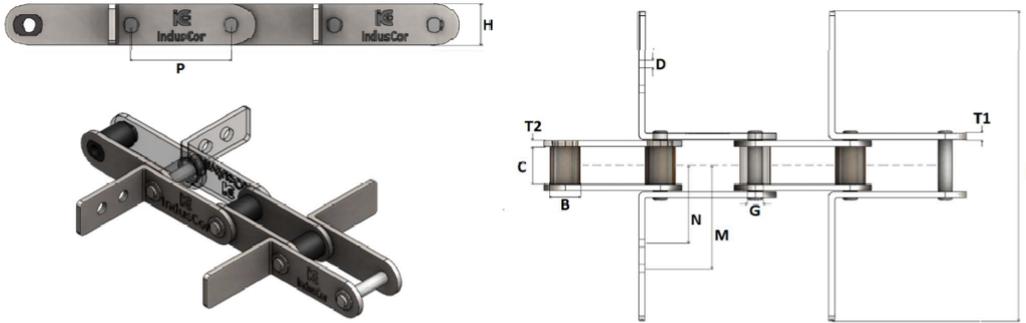


Referência Da Corrente <b>Cerello</b>	Passo	Nº de Dentes	Diâmetro Primitivo	Diâmetro	Altura	Furo	Furo	
				Cubo	Total	Normal	Máximo	
				A	X	F		
				mm	mm	mm		
				pol.	pol.	pol.	pol.	
C...../0508/A	2	8	132,74	80	50	1	2	
		10	164,38	90			2.5/16	
		14	228,29	114	60	1.1/4	2.1/2	
C...../0762/A	3	8	199,11	114	60	1.1/4	2.1/4	
		10	246,58	127	70		2.1/2	
		14	342,44					
C...../1016/A	4	8	265,48	127	70	1.1/4	2.1/2	
		10	328,77					
		14	456,59				133	
C...../0762/B	3	8	199,11	120	60	1.1/4	2.1/2	
		10	246,58	140	70		2.3/4	
		14	342,44					
C...../1016/B	4	8	265,48	140	70	1.1/4	2.3/4	
		10	328,77					
		14	456,59					
C...../1270/B	5	8	331,85	140	70	1.1/4	2.3/4	
		10	410,97					
		14	570,73					
C...../1016/C	4	8	265,48	155	60	1.1/4	3	
		10	328,77		70			
		14	456,59					
C...../1270/C	5	8	331,85	155	60	1.1/4	3	
		10	410,97		70			
		14	570,73					
C...../1524/C	6	8	398,22	155	60	1.1/4	3	
		10	493,16		70			
		14	684,88		80			
C...../1016/D	4	8	265,48	170	60	1.1/4	3.3/8	
		10	328,77		70			
		14	456,59					
C...../1270/D	5	8	331,85	170	60	1.1/4	3.3/8	
		10	410,97		70			
		14	570,73					
C...../1524/D	6	8	398,22	170	60	1.1/4	3.3/8	
		10	493,16		70			
		14	684,88		80			
C...../1016/E	4	8	265,48	190	60	1.1/2	3.3/4	
		10	328,77		70			
		14	456,59					
C...../1270/E	5	8	331,85	190	60	1.1/2	3.3/4	
		10	410,97		70			
		14	570,73					
C...../1524/E	6	8	398,22	190	60	1.1/2	3.3/4	
		10	493,16		70			
		14	684,88		80			

A complementação do número da corrente, com a inclusão dos algarismos na parte pontilhada, identifica a engrenagem desejada. Os dados descritos na tabela acima são comuns para os diversos tipos de correntes de cada série.

Figura B.2: Página Catálogo Engrenagens Cerello (CERELLO, 2019)

**CORRENTES TRANSPORTADORAS COM ARRASTE TIPO REDLER SÉRIE IC-707 E IC-737**



REFERÊNCIA INDUSCOR	PASSO P		ENTRE PLACAS C	Ø ROLO B	Ø PINO G	ALTURA PLACA H	ESPESSURA PLACA T1 / T2	LARGURA TOTAL E	FUROS DE FIXAÇÃO			CARGA RUPTURA KGF
	MM	POL.							D	N	M	
IC-707/0500/A-.....	50,00											
IC-707/0508/A-.....	50,80	2						100				
IC-707/0750/A-.....	75,00		16	15,88	6,40	19,05	3,20	125 150	X	X	X	2.000
IC-707/0762/A-.....	76,20	3										
IC-707/1000/A-.....	100,00											
IC-707/1016/A-.....	101,60	4										
IC-707/0750/B-.....	75,00		20	22,23	7,93	28,57	4,80	125 150 175	X	X	X	5.000
IC-707/0762/B-.....	76,20	3										
IC-707/1000/B-.....	100,00											
IC-707/1016/B-.....	101,60	4										
IC-707/1250/B-.....	125,00											
IC-707/1270/B-.....	127,00	5										
IC-737/1000/C-.....	100,00		28	25,40	11,11	31,75	6,40	150 175 200	X	X	X	10.000
IC-737/1016/C-.....	101,60	4										
IC-737/1250/C-.....	125,00											
IC-737/1270/C-.....	127,00	5										
IC-737/1500/C-.....	150,00											
IC-737/1524/C-.....	152,40	6										
IC-737/1000/D-.....	100,00		32	31,75	14,29	38,10	8,00	175 200 250	X	X	X	20.000
IC-737/1016/D-.....	101,60	4										
IC-737/1250/D-.....	125,00											
IC-737/1270/D-.....	127,00	5										
IC-737/1500/D-.....	150,00											
IC-737/1524/D-.....	152,40	6										
IC-737/1000/E-.....	100,00		38	38,10	17,46	50,80	9,60	200 250 300	X	X	X	30.000
IC-737/1016/E-.....	101,60	4										
IC-737/1250/E-.....	125,00											
IC-737/1270/E-.....	127,00	5										
IC-737/1500/E-.....	150,00											
IC-737/1524/E-.....	152,40	6										

- \* As cotas E, D, N, M podem variar dependendo do projeto, devendo ser informado pelo solicitante.
- \* Fabricadas com os materiais mais adequados a função que cada componente exerce dentro do elemento articulável e tendo os mesmos termicamente tratados, nossas correntes transportadoras apresentam até 30% a mais de resistência ao desgaste e a tração.
- \* Em casos especiais, podem ser fabricadas com aço inoxidável, tratamentos de superfície (Níquel químico / galvanização / etc.), rolos em Delrin ou UHMW, ou até mesmo com variação dimensional de algum de seus componentes. Consulte-nos.
- \* Todos os modelos são fornecidos por padrão com pinos rebitados, caso queira com outra configuração informar em sua solicitação.

ACESSÓRIOS DE FECHAMENTO E MANUTENÇÃO			TIPOS DE FECHAMENTO DA CORRENTE		
EMENDA (TIPO 25)	EMENDA COM ARRASTADOR	ELO INTERNO (TIPO 4)	REBITADO BILATERAL	CONTRAPINADO BILATERAL	ANÉL ELÁSTICO BILATERAL

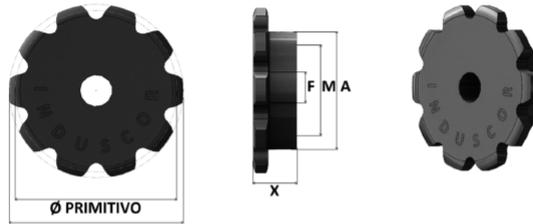


Para especificar a corrente de arraste tipo Redler se faz necessário determinar: A referência da corrente, o tipo do arraste e o espaçamento entre os mesmos, exemplo: Corrente **IC-737/1250/D-450**, com arraste "tipo" **BCT**, largura total **450mm**, a cada **4º** passo (**4x4**).

ENGRENAGENS PARA CORRENTES TRANSPORTADORAS VIDE PÁGINAS 168 ATÉ 173

Figura B.3: Página Catálogo Correntes Induscor (INDUSCOR, 2019)

ENGRENAGENS PARA CORRENTES TRANSPORTADORAS COM PASSO EM POLEGADAS



REFERÊNCIA INDUSCOR DA CORRENTE	PASSO	Nº DENTES	Ø PRIMITIVO	Ø CUBO A	ALTURA TOTAL X	FURO NORMAL	FURO MÁXIMO	TIPO	MATERIAL STANDARD
	POL.					Z	MM		
IC-212/0508/A	2	8	132,74	80	45	1	2	B4	SAE 1020
IC-252/0508/A		10	164,38	90		2.5/16			
IC-612/0508/A		14	228,29	110		1.1/4			
IC-214/0508/A		14	228,29	110		2.1/2			
IC-274/0508/A		14	228,29	110		2.1/2			
IC-614/0508/A	3	8	199,11	110	45	1.1/4	2.1/4	B4	SAE 1020
IC-252/0762/A		10	246,58				2.1/2		
IC-612/0762/A		14	342,44				2.1/2		
IC-214/0762/A		14	342,44				2.1/2		
IC-274/0762/A		14	342,44				2.1/2		
IC-614/0762/A	4	8	265,48	110	45	1.1/4	2.1/2	B4	SAE 1020
IC-252/1016/A		10	328,77				2.3/4		
IC-612/1016/A		14	456,59				2.3/4		
IC-214/1016/A		14	456,59				2.3/4		
IC-274/1016/A		14	456,59				2.3/4		
IC-614/1016/A	3	8	199,11	110	50	1.1/4	2.1/2	B4	SAE 1020
IC-252/0762/B		10	246,58				2.3/4		
IC-612/0762/B		14	342,44				2.3/4		
IC-214/0762/B		14	342,44				2.3/4		
IC-274/0762/B		14	342,44				2.3/4		
IC-614/0762/B	4	8	265,48	124	50	1.1/4	2.3/4	B4	SAE 1020
IC-252/1016/B		10	328,77				2.3/4		
IC-612/1016/B		14	456,59				2.3/4		
IC-214/1016/B		14	456,59				2.3/4		
IC-274/1016/B		14	456,59				2.3/4		
IC-614/1016/B	5	8	331,85	136	56	1.1/4	2.3/4	B4	SAE 1020
IC-212/1270/B		10	410,97				2.3/4		
IC-252/1270/B		14	570,73				2.3/4		
IC-612/1270/B		14	570,73				2.3/4		
IC-214/1270/B		14	570,73				2.3/4		
IC-254/1270/B	14	570,73	2.3/4						
IC-274/1270/B	14	570,73	2.3/4						
IC-614/1270/B	14	570,73	2.3/4						
IC-707/1270/B	14	570,73	2.3/4						

\* PARA ESPECIFICAR AS ENGRENAGENS PARA CORRENTES TRANSPORTADORAS SE FAZ NECESSÁRIO DETERMINAR A REFERÊNCIA DA CORRENTE E A QUANTIDADE DE DENTES, EX.: ENGRENAGEM PARA CORRENTE IC-212/0508/A COM 10 DENTES.  
 \* FABRICAMOS TAMBÉM ENGRENAGENS COM OUTRAS QUANTIDADES DE DENTES, MATERIAIS DIVERSOS OU COM ACABAMENTO DO FURO PARA EIXOS LISOS OU CHAVETADOS, ENCAIXE PARA ROLAMENTOS, BUCHAS OU ANÉIS, CONSULTE-NOS.

Figura B.4: Página Catálogo Engrenagens Induscore (INDUSCORE, 2019)

## Dados Técnicos

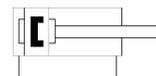
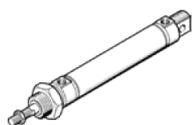
**cilindro normalizado  
DSNU-16-160-P-A**

Código da peça: 19205

★ Linha de produtos básicos

Conforme DIN ISO 6432 para detecção sem contato direto. Várias opções de fixação, com e sem elementos de fixação adicionais. Com anéis de amortecimento elásticos nas posições finais.

FESTO

**Ficha técnica**

Característica	Valor
Curso	160 mm
Diâmetro do êmbolo	16 mm
Rosca da haste	M6
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Camisa do atuador
Deteção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	1 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Classificação marítima	ver certificado
Energia de impacto nas posições finais	0,15 J
Força teórica a 6 bar, retorno	103,7 N
Força teórica a 6 bar, avanço	120,6 N
Massa móvel com curso de 0 mm	23 g
Peso adicional por 10 mm de curso	4,6 g
Peso básico para curso de 0 mm	89,9 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	2 g
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Conforme RoHS
Material da proteção	Liga de alumínio anodização neutra
Material das vedações	NBR TPE-U(PU)
Material da haste do pistão	Aço alta liga, inoxidável
Material da camisa do atuador	Aço alta liga, inoxidável

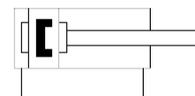
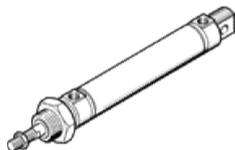
Figura C.1: Dados técnicos cilindro selecionado para movimentação da esteira (FESTO, 2019)

## cilindro normalizado DSNU-8-50-P-A

Código da peça: 19180

FESTO

Conforme DIN ISO 6432 para detecção sem contato direto. Várias opções de fixação, com e sem elementos de fixação adicionais. Com anéis de amortecimento elásticos nas posições finais.



### Ficha técnica

Característica	Valor
Curso	50 mm
Diâmetro do êmbolo	8 mm
Rosca da haste	M4
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Camisa do atuador
Detecção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	1,5 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Classificação marítima	ver certificado
Energia de impacto nas posições finais	0,03 J
Força teórica a 6 bar, retorno	22,6 N
Força teórica a 6 bar, avanço	30,2 N
Massa móvel com curso de 0 mm	7,5 g
Peso adicional por 10 mm de curso	2,4 g
Peso básico para curso de 0 mm	34,6 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	1 g
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Conforme RoHS
Material da proteção	Liga de alumínio anodização neutra
Material das vedações	NBR TPE-U(PU)
Material da haste do pistão	Aço alta liga, inoxidável
Material da camisa do atuador	Aço alta liga, inoxidável

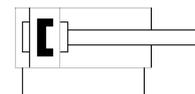
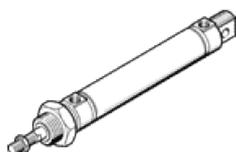
Figura C.2: Dados técnicos cilindro selecionado para o Segurador e Posicionador de Garrafas (FESTO, 2019)

## cilindro normalizado DSNU-8-25-P-A

Código da peça: 19178

FESTO

Conforme DIN ISO 6432 para detecção sem contato direto. Várias opções de fixação, com e sem elementos de fixação adicionais. Com anéis de amortecimento elásticos nas posições finais.



### Ficha técnica

Característica	Valor
Curso	25 mm
Diâmetro do êmbolo	8 mm
Rosca da haste	M4
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Camisa do atuador
Detecção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	1,5 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Classificação marítima	ver certificado
Energia de impacto nas posições finais	0,03 J
Força teórica a 6 bar, retorno	22,6 N
Força teórica a 6 bar, avanço	30,2 N
Massa móvel com curso de 0 mm	7,5 g
Peso adicional por 10 mm de curso	2,4 g
Peso básico para curso de 0 mm	34,6 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	1 g
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	M5
Observações sobre material	Conforme RoHS
Material da proteção	Liga de alumínio anodização neutra
Material das vedações	NBR TPE-U (PU)
Material da haste do pistão	Aço alta liga, inoxidável
Material da camisa do atuador	Aço alta liga, inoxidável

Figura C.3: Dados técnicos cilindro selecionado para o Tampador de Garrafas (FESTO, 2019)



# MICROCHIP PIC18F2455/2550/4455/4550

## 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology

### Universal Serial Bus Features:

- USB V2.0 Compliant
- Low Speed (1.5 Mb/s) and Full Speed (12 Mb/s)
- Supports Control, Interrupt, Isochronous and Bulk Transfers
- Supports up to 32 Endpoints (16 bidirectional)
- 1 Kbyte Dual Access RAM for USB
- On-Chip USB Transceiver with On-Chip Voltage Regulator
- Interface for Off-Chip USB Transceiver
- Streaming Parallel Port (SPP) for USB streaming transfers (40/44-pin devices only)

### Power-Managed Modes:

- Run: CPU on, Peripherals on
- Idle: CPU off, Peripherals on
- Sleep: CPU off, Peripherals off
- Idle mode Currents Down to 5.8  $\mu$ A Typical
- Sleep mode Currents Down to 0.1  $\mu$ A Typical
- Timer1 Oscillator: 1.1  $\mu$ A Typical, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1  $\mu$ A Typical
- Two-Speed Oscillator Start-up

### Flexible Oscillator Structure:

- Four Crystal modes, including High-Precision PLL for USB
- Two External Clock modes, Up to 48 MHz
- Internal Oscillator Block:
  - 8 user-selectable frequencies, from 31 kHz to 8 MHz
  - User-tunable to compensate for frequency drift
- Secondary Oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Dual Oscillator Options allow Microcontroller and USB module to Run at Different Clock Speeds
- Fail-Safe Clock Monitor:
  - Allows for safe shutdown if any clock stops

### Peripheral Highlights:

- High-Current Sink/Source: 25 mA/25 mA
- Three External Interrupts
- Four Timer modules (Timer0 to Timer3)
- Up to 2 Capture/Compare/PWM (CCP) modules:
  - Capture is 16-bit, max. resolution 5.2 ns ( $T_{CY}/16$ )
  - Compare is 16-bit, max. resolution 83.3 ns ( $T_{CY}$ )
  - PWM output: PWM resolution is 1 to 10-bit
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
  - Multiple output modes
  - Selectable polarity
  - Programmable dead time
  - Auto-shutdown and auto-restart
- Enhanced USART module:
  - LIN bus support
- Master Synchronous Serial Port (MSSP) module Supporting 3-Wire SPI (all 4 modes) and I<sup>2</sup>C™ Master and Slave modes
- 10-Bit, Up to 13-Channel Analog-to-Digital Converter (A/D) module with Programmable Acquisition Time
- Dual Analog Comparators with Input Multiplexing

### Special Microcontroller Features:

- C Compiler Optimized Architecture with Optional Extended Instruction Set
- 100,000 Erase/Write Cycle Enhanced Flash Program Memory Typical
- 1,000,000 Erase/Write Cycle Data EEPROM Memory Typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 Years
- Self-Programmable under Software Control
- Priority Levels for Interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
  - Programmable period from 41 ms to 131s
- Programmable Code Protection
- Single-Supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via Two Pins
- In-Circuit Debug (ICD) via Two Pins
- Optional Dedicated ICD/ICSP Port (44-pin, TQFP package only)
- Wide Operating Voltage Range (2.0V to 5.5V)

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Figura C.4: Dados técnicos PIC 18f2550 (MICROCHIP, 2019)

---

<i>Especificações Técnicas Sensor de Proximidade</i>	
Modelo	E18-D80NK
Alimentação	5V
Corrente de operação	<25mA
Tempo de resposta	<2ms
Ângulo de detecção	15°
Distância de detecção	3 a 80cm (ajustável via potenciômetro)
Ângulo de detecção	15°
Temperatura de operação	-25 a 55°C
Dimensões do cilindro	68mm(C) X 17mm(D)
Diâmetro dos anéis de fixação	23,3mm
Comprimento do cabo	1,4m
Peso	69g

Tabela C.1: Especificações Técnicas Sensor de Proximidade

# Referências

- ANDRADE, D. A. S. de. *Notas de Aula da disciplina de Elementos de Máquinas II*. Universidade Federal do Paraná, Curso de Engenharia Industrial Madeireira , Curitiba, PR.
- ARGENTA, L. *Análise de um sistema de Esteira Transportadora para Linhas de Montagens de Tratores*. Relatório de Estágio II (Bacharel em Engenharia Mecânica), UCS (Universidade de Caxias do Sul), Caxias do Sul, RS.
- AUTOCORE ROBÓTICA. *Módulo Relé 1 Canal 5V Optoacoplado*. Disponível em <<http://bit.ly/2l7sbSe>>. Acesso em 25 de Setembro de 2019.
- AUTOMAÇÃO FRANCA. *Cilindros Pneumáticos*. Disponível em <<http://bit.ly/2lFdcVv>>. Acesso em 25 de Maio de 2019.
- BONACORSO, N. G.; NOLL, V. *Automação Eletropneumática*. São Paulo, SP: Editora Afiliada, 1997.
- CARNIZELLO, D. C. *Transportador de Correia: componentes e cálculos básicos para seu dimensionamento*. Trabalho de Graduação (Bacharel em Engenharia Mecânica), UNESP (Universidade Estadual Paulista), Guaratinguetá, SP.
- CASILLO, D. *Automação e Controle: linguagem ladder*. , Mossoró, RN, 2010.
- CERELLO. *Correntes e Engrenagens*. Disponível em <<http://cerello.ind.br>>. Acesso em 26 de Outubro de 2019.
- COSTA, I. M.; DUARTE, S. N.; LISBOA; SANTOS, T. P. *Automação Industrial. Artigo Apresentado á disciplina de Automação Indústrial da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, RN, 2003.
- ELETROGATE. *Módulo Relé 8 Canais 5v com Optoacoplador*. Disponível em <<http://bit.ly/2oLDMIC>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.

- EMBARCADOS. *Start for PIC - Placa de desenvolvimento para PIC*. Disponível em <<http://bit.ly/2mKzFLe>>. Acesso em 25 de Setembro de 2019.
- ENG. *Lâmpada Sinalizadora Painel Elétrico (vermelho/verde)*. Disponível em <<http://bit.ly/2oLVSKw>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- FESTO. *Atuadores Pneumáticos e Válvulas*. Disponível em <<https://www.festo.com/hq/en/cms/festo.htm>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- FIALHO, A. B. *Automação Pneumática: projetos, dimensionamento e análise de circuitos*. São Paulo, SP: Editora Érica, 2006.
- GORDO, N.; FERREIRA, J. *Apostila de Elementos de Máquinas II*. Senai , Cubatão, SP.
- HADEROB USINAGEM. *Roletes*. Disponível em <<http://bit.ly/2m6mB2L>>. Acesso em 24 de Maio de 2019.
- INDUSCORE. *Correntes de Arraste*. Disponível em <<http://bit.ly/2k59z1j>>. Acesso em 30 de Maio de 2019.
- KRAUS+MULLER. *Caixa 15x11 Km Circuito Elétrico Sobrepor Disjuntores Steck*. Disponível em <<http://bit.ly/2NAMfqf>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- LEITE Éder. *Vamos entender o que é a linguagem Ladder? Blog Automação Diária*, São Paulo, SP, 2014.
- LOJA DUPLA AÇÃO. *Cilindro Pneumático Rotativo*. Disponível em <<http://bit.ly/21Y0xqP>>. Acesso em 24 de Maio de 2019.
- MARCO FILHO, F. de. *Notas de Aula da disciplina de Elementos de Máquinas*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, RJ.
- MASTER WALKER. *Sensor Óptico Reflexivo de Proximidade Infravermelho E18-D80NK*. Disponível em <<http://bit.ly/3252mSk>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- MASTER WALKER ELECTRONIC SHOP. *Como usar com Arduino Sensor de Proximidade Infravermelho E18-D80NK*. Disponível em <<http://bit.ly/2mGSAqre>>. Acesso em 25 de Setembro de 2019.
- MICROCHIP. *PIC18F2550-I/SP Ficha técnica*. Disponível em <<https://br.mouser.com/datasheet/2/268/39632e-48732.pdf>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.

- MICROCHIP INC. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*. Disponível em <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>. Acesso em 06 de Novembro de 2019.
- MORAES, R. de; LUIS T. G. PINTO, R. T.; FEITOSA, J.; RALL, R. Protótipo Automatizado de Máquina de Envase de Líquidos Via Arduino. *Jornada Científica e Tecnológica da FATEC de Botucatu*, São Paulo, SP, n.6, 2017.
- PACCOLA, L. H. K. *Automação em Planta de Suco de Laranja Pasteurizado de Pequeno Porte*. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica), USP (Universidade de São Paulo), São Carlos, SP.
- PEREIRA, D. A. R. *Projeto de um Sistema de Automação Industrial para uma Indústria de Produtos Saneantes*. Monografia (Bacharel em Engenharia Automotivada), UNB (Universidade de Brasília), Brasília, DF.
- SACRAMENTO, R. C. F. *Apostila da Disciplina de Transporte de Granéis*. Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Guaratinguetá, SP.
- SASSARO, M. J.; SCHREIBER, M. *Implementação de um Sistema Automatizado para uma Envasadora de Suco de Laranja*. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Elétrica), UNISUL (Universidade do Sul de Santa Catarina), Palhoça, SC.
- SCHNEIDER ELECTRIC BRAZIL. *Modicon 084 - Primeiro Controlador Lógico Programável*. Disponível em <<https://www.se.com/br/pt/>>. Acesso em 27 de Maio de 2019.
- SILEVIRA, L.; LIMA, W. Q. Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial. *Artigo Apresentado á disciplina de Automação Industrial da Universidade Federal do Rio Grande do Norte*, Natal, RN, 2003.
- SILVA, E. C. N. *PMR 2481 - SISTEMAS FLUIDOMECÂNICOS*: apostila de pneumática. Escola Politécnica da USP - Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, São Paulo, SP.
- SILVA MELLO, M. da. CLP - Controladores Lógicos Programáveis. *Encontro de Iniciação Científica da Área de Computação do ICE*, Cuiabá, MT, 2010.
- SILVA, R. R. da. Arquitetura do CLP. *Artigo publicado no Blog Automação Industrial*, Curitiba, PR, 2012.

- SILVEIRA, L. V. R. da. *Automação do Processo de Rebitagem em Indústrias Metalúrgicas de Pequeno Porte*. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecatrônica), CEFET-MG (Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais), Divinópolis, MG.
- SOUZA, D. J. de. *Desbravando o Pic Aplicando e Atualizando para pic*. São Paulo, SP: Editora Érica LTDA,, 2003.
- TA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. *Cilindro Mini Pneumático série IA ISO6432*. Disponível em <<http://bit.ly/2kkZrFn>>. Acesso em 21 de Maio de 2019.
- TERRA NOVA DISTRIBUIDORA. *Correia para esteira transportadora*. Disponível em <<http://bit.ly/2m47I0q>>. Acesso em 26 de Abril de 2019.
- TORRES, F. E.; MARTINS, H. R. *Apostila Didática PICMinas*. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.
- TREVISAN, P. *Microcontroladores*. Artigo para o site "Mecatrom", São Paulo, Sp.
- VALVULEX [1]. *Cilindro Pneumático Mini 6432 Dupla Ação Ø16 X 160mm Curso*. Disponível em <<http://bit.ly/2JLFLnD>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- VALVULEX [3]. *Cilindro Pneumático Mini Iso 6432 Dupla Ação Ø8 X 50mm*. Disponível em <<http://bit.ly/34uhxGq>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- VALVUTEX [2]. *Cilindro Pneumático Mini Iso 6432 Dupla Ação Ø8 X 25mm*. Disponível em <<http://bit.ly/34iM3CW>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- VENTURELLI, M. *Indústria 4.0: uma visão da automação industrial. Site Automação Industrial*, São Paulo, SP, 2014.
- VMR. *Kit Desenvolvimento Pic18f- Gravação Usb C/ Nf*. Disponível em <<http://bit.ly/2CEe8bP>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- VOLTEX AUTOMAÇÃO. *Válvula Pneumática Solenoide 5/2 Vias Retorno Mola 1/4 24vcc*. Disponível em <<http://bit.ly/2NADGfd>>. Acesso em 30 de Outubro de 2019.
- WEG Brazil. *Motores Elétricos*. Disponível em <<http://bit.ly/21BR6xk>>. Acesso em 25 de Maio de 2019.