

Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia automotiva

**Projeto de automação pneumática e hidráulica  
de uma linha de produção simulada didática de  
portas automotivas**

Autor: Luiz Fávero e Silva  
Orientador: Dr. André Murilo de A. Pinto.

Brasília, DF  
2017





Luiz Fávero e Silva

**Projeto de automação pneumática e hidráulica de uma  
linha de produção simulada didática de portas  
automotivas**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia automotivada Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia automotiva.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. André Murilo de A. Pinto.

Brasília, DF

2017

---

Luiz Fávero e Silva

Projeto de automação pneumática e hidráulica de uma linha de produção simulada didática de portas automotivas/ Luiz Fávero e Silva. – Brasília, DF, 2017-

82 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. André Murilo de A. Pinto.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2017.

1. Automação industrial. 2. Indústria automotiva. I. Dr. André Murilo de A. Pinto.. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Projeto de automação pneumática e hidráulica de uma linha de produção simulada didática de portas automotivas

CDU 02:141:005.6

---

Luiz Fávero e Silva

**Projeto de automação pneumática e hidráulica de uma  
linha de produção simulada didática de portas  
automotivas**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia automotivada Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia automotiva.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, :

---

**Dr. André Murilo de A. Pinto.**  
Orientador

---

**Dr. Evandro Leonardo S. Teixeira**  
Convidado 1

---

**Dr. Mario de Oliveira Andrade**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2017



# Resumo

O presente trabalho envolve o projeto de automação de uma linha de produção simulada didática de portas automotiva. A automação de processos industriais surgiu como uma maneira de melhorar a produtividade e eficiência de processos, a partir da diminuição da necessidade de ação humana nos mesmos. Neste trabalho é realizada uma revisão bibliográfica, nela são abordados todos os temas necessários para um bom entendimento sobre a automação, sua função e arquitetura, sobre a indústria automotiva como um todo, e assim como especificamente a produção de portas automotivas e seus processos de fabricação. Também é abordado o funcionamento no projeto e as especificações de componentes de automação, como sensores, atuadores, Controladores Lógico Programáveis (CLP's) e software de supervisão e controle (SCADA). São definidos também os requisitos de projeto necessários para em seguida ser realizado a elaboração do sistema de automação proposto. A automação de processos industriais surgiu com a revolução industrial e a produção em massa, desde então tem se mostrado essencial em qualquer aplicação industrial que busca a produtividade, incentivando o estudo da aplicação de sistemas automatizados, justificando assim, o foco deste trabalho com fins didáticos.

**Palavras-chaves:** Automação Industrial. Indústria automotiva. Portas Automotivas. Estampagem Profunda. Soldagem por Pontos. SCADA.





# Abstract

This final paper involves the automation project of a didactic simulated production line of automotive doors. The automation of industrial processes has emerged as a way to improve the productivity and efficiency of processes, by reducing the need for human interference in them. In this paper a bibliographical review is carried out, in which all the subjects necessary for a good understanding of automation, its function and architecture, of the automotive industry as a whole, and specifically the production of automotive doors and their manufacturing processes. Also discussed is the functionality in the project and specifications of automation components such as sensors, actuators, Programmable Logic Controllers (PLC's) and supervisory control and data acquisition (SCADA) softwares . The necessary project requirements are also defined so that the elaboration of the proposed automation system can be carried out. The automation of industrial processes arose with the industrial revolution and mass production, since then, it has been essential in any industrial application that seeks productivity, encouraging the study of the application of automated systems, thus justifying the focus of this work with didactic purposes.

**Key-words:** Industrial automation. Automotive industry. Automotive doors. Deep Stamping. Spot Welding. SCADA.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Automação na indústria automotiva [1] . . . . .	17
Figura 2 – Linha de produção automotiva arcaica da Ford [2] . . . . .	21
Figura 3 – Exemplo de <i>Powertrain</i> [3] . . . . .	22
Figura 4 – Divisão da manufatura na indústria automotiva . . . . .	23
Figura 5 – Processos presentes na indústria automotiva . . . . .	23
Figura 6 – Exemplo de porta metálica automotiva [4] . . . . .	24
Figura 7 – Estrutura BiW [5] . . . . .	24
Figura 8 – Exemplo de prensa hidráulica de estampagem [6] . . . . .	25
Figura 9 – Estrutura de prensa de estampagem profunda . . . . .	26
Figura 10 – Etapas da soldagem por pontos . . . . .	27
Figura 11 – Exemplo de braço robótico [7] . . . . .	28
Figura 12 – Exemplo de automação industrial [8] . . . . .	29
Figura 13 – Pirâmide da automação industrial [9] . . . . .	30
Figura 14 – Sensor de proximidade [10] . . . . .	30
Figura 15 – Exemplo de <i>workstation</i> industrial [11] . . . . .	31
Figura 16 – Exemplo de <i>workstation</i> de gerenciamento de planta [12] . . . . .	32
Figura 17 – Exemplo de <i>mainframe</i> [13] . . . . .	32
Figura 18 – Linha de produção automotiva automatizada [14] . . . . .	33
Figura 19 – Exemplos de automatismos . . . . .	34
Figura 20 – Esquema geral de um sistema hidráulico . . . . .	35
Figura 21 – Exemplo de diagrama de circuito hidráulico . . . . .	36
Figura 22 – Exemplo de circuito pneumático . . . . .	37
Figura 23 – CLP Siemens Simatic S7 [15] . . . . .	38
Figura 24 – Funcionamento de um CLP [16] . . . . .	39
Figura 25 – Ciclo de operações do CLP [16] . . . . .	39
Figura 26 – Exemplo de diagrama elétrico [17, p. 215] . . . . .	40
Figura 27 – Simbologia básica <i>ladder</i> [17, p. 216] . . . . .	40
Figura 28 – Exemplo de diagrama <i>ladder</i> [17, p. 219] . . . . .	41
Figura 29 – Composição geral de um sistema SCADA . . . . .	41
Figura 30 – Sequência de processos industriais em linha de produção . . . . .	43
Figura 31 – Padrão de simbologia para fluxogramas da ANSI . . . . .	46
Figura 32 – fluxo produtivo da linha de produção simulada . . . . .	46
Figura 33 – Fluxograma da linha de produção de portas automotivas . . . . .	47
Figura 34 – Mapeamento do sistema . . . . .	50
Figura 35 – Tela de gerenciamento de projetos do TIA V12 . . . . .	59
Figura 36 – Exemplo de tela de controle de CLP do TIA V12 . . . . .	59

Figura 37 – Exemplo de tela de operação do Elipse E3 <i>Studio</i> . . . . .	60
Figura 38 – FluidSIM 4 . . . . .	61
Figura 39 – Exemplo da tela de simulação do FluidSIM 4 . . . . .	61
Figura 40 – Estrutura do circuito das esteiras de transporte . . . . .	64
Figura 41 – Estrutura do circuito do manipulador cartesiano . . . . .	65
Figura 42 – Circuito hidráulico da prensa . . . . .	66
Figura 43 – Circuito pneumático da prensa e expulsador . . . . .	67
Figura 44 – Circuito da prensa pneumática de corte . . . . .	68
Figura 45 – Circuito puramente pneumático do sistema de trava . . . . .	69
Figura 46 – Circuito pneumático do braço robótico de solda . . . . .	70
Figura 47 – Circuito pneumático completo . . . . .	71
Figura 48 – Programação <i>Ladder</i> das esteiras . . . . .	72
Figura 49 – Programação <i>Ladder</i> do manipulador . . . . .	73
Figura 50 – Programação <i>Ladder</i> da prensa hidráulica e expulsador . . . . .	74
Figura 51 – Programação <i>Ladder</i> da prensa pneumática de corte . . . . .	74
Figura 52 – Programação <i>Ladder</i> do braço robótico de soldagem . . . . .	75

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Elementos pneumáticos e eletropneumáticos do sistema . . . . .	52
Tabela 2 – Elementos elementos hidráulicos e eletrohidráulicos do sistema . . . . .	55
Tabela 3 – Elementos elementos eletronicos e eletricos do sistema . . . . .	57
Tabela 4 – Dados técnicos dos sensores de proximidade . . . . .	58
Tabela 5 – Dados técnicos do CLP . . . . .	58
Tabela 6 – Cronograma de atividades realizadas no TCC 1 . . . . .	76
Tabela 7 – Cronograma de atividades previstas do TCC 2 . . . . .	77



# Lista de abreviaturas e siglas

Fig.	Figura
CLP	Controlador Lógico Programável
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
BiW	<i>Body in White</i>
TCC1	Trabalho de conclusão de curso 1
TCC2	Trabalho de conclusão de curso 2
SDCD	Sistema Digital de Controle e Distribuição
CNC	Controle Numérico Computadorizado
HMI	<i>Humam Machine Interface</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read Only Memory</i>
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
MTU	<i>Master Terminal Unit</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
PIMS	<i>Plant Information Management System</i>
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
ERP	<i>Enterprise Resourcer Plannig</i>





# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Descrição do Problema</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Questões e objetivos do projeto</b>	<b>19</b>
1.2.1	Objetivo geral	19
1.2.2	Objetivos específicos	19
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do trabalho</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>21</b>
<b>2.1</b>	<b>Indústria Automotiva</b>	<b>21</b>
2.1.1	Fabricação de portas automotivas	24
2.1.2	Estampagem de chapas metálicas	25
2.1.3	<i>Spot Welding</i> (soldagem por pontos)	27
<b>2.2</b>	<b>Automação industrial</b>	<b>28</b>
2.2.1	Arquitetura da automação industrial	30
2.2.2	Automação na indústria automotiva	33
<b>2.3</b>	<b>Automação pneumática e hidráulica</b>	<b>34</b>
<b>2.4</b>	<b>Controladores Lógico Programáveis (CLP's)</b>	<b>38</b>
2.4.1	Estrutura e funcionamento do CLP	38
2.4.2	Linguagem de programação <i>Ladder</i>	40
<b>2.5</b>	<b>Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA)</b>	<b>41</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Descrição do fluxo produtivo</b>	<b>43</b>
3.1.1	Descrição dos processos industriais	44
3.1.2	Requisitos do sistema	45
3.1.3	Descrição de fluxo produtivo	46
<b>3.2</b>	<b>Mapeamento do sistema</b>	<b>50</b>
<b>3.3</b>	<b>Especificação dos elementos necessários</b>	<b>51</b>
3.3.1	Pneumáticos e eletropneumáticos	51
3.3.2	Hidráulicos e eletrohidráulicos	55
3.3.3	Eletrônicos e elétricos	57
3.3.4	Softwares	59
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO PROJETO</b>	<b>63</b>
<b>4.1</b>	<b>Circuitos FLUIDSIM</b>	<b>63</b>
4.1.1	Esteiras de transporte	64

4.1.2	Manipulador cartesiano pneumático . . . . .	65
4.1.3	Prensa hidráulica e expulsador . . . . .	66
4.1.4	Prensa pneumática de corte . . . . .	68
4.1.5	Estação de soldagem por pontos . . . . .	69
4.1.6	Circuito Pneumático completo . . . . .	70
<b>4.2</b>	<b>Programação em Ladder . . . . .</b>	<b>72</b>
4.2.1	Esteiras de transporte . . . . .	72
4.2.2	Manipulador cartesiano . . . . .	72
4.2.3	Prensa hidráulica e expulsador . . . . .	74
4.2.4	Prensa pneumática de corte . . . . .	74
4.2.5	Estação de soldagem . . . . .	75
<b>4.3</b>	<b>Cronograma de atividades do projeto . . . . .</b>	<b>76</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>81</b>

# 1 Introdução

A automação pode ser definida como a utilização de sistemas e tecnologias, com o objetivo de minimizar ou até mesmo eliminar a assistência da atividade humana em um processo, produtivo, industrial, ou até mesmo cotidiano. A implementação da automação traz vários benefícios, como o aumento da produtividade e eficiência, em um processo produtivo industrial. A partir da revolução industrial e do surgimento da produção em massa, a automação de processos industriais passou a ser uma necessidade, qualquer empresa que deseja ser competitiva no mercado, deveria aumentar a produtividade, eficiência, qualidade e precisão de seus processos[18, 19].

Investimentos na tecnologia de automação tem sempre aumentado ao longo dos anos. Se tornou comum o uso de sistemas pneumáticos e hidráulicos, e além disso surgiram sistemas mais complexos, que utilizam da ajuda de soluções eletrônicas e de software, permitindo monitoramento e controle ainda maior sobre estes processos. Está cada vez mais acessível o uso de Controladores Lógico Programáveis (CLP's), que são equipamentos eletrônicos capazes de controlar processos com base em uma memória programável, e de sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), uma arquitetura que permite controle e monitoramento remoto de processos, aumentando ainda mais os efeitos da automação em processos industriais[20, 17].



Figura 1 – Automação na indústria automotiva [1]

A automação surgiu, e conseqüentemente, tem um papel importante na indústria automotiva, até os dias atuais, Fig. (1). O veículo é um sistema complexo, composto por vários equipamentos e subsistemas que devem funcionar em sincronia. A produção de um veículo moderno envolve uma gama extensa de processos industriais, processos diferentes e dependentes uns dos outros, por isso existe a grande necessidade de eficiência e produtividade, a fim de conquistar e suprir a demanda de mercados extremamente competitivos. A indústria automotiva vem crescendo, de maneira geral, desde seu surgimento

no século XIX, e através da constante busca por maior produtividade e lucro, incentiva o desenvolvimento tecnológico, especialmente na área de automação industrial [18, 21]

A automação de qualquer processo produtivo requer a elaboração de um projeto. Um projeto de automação industrial define a estrutura e composição de um sistema automatizado. A partir da identificação do sistema produtivo, suas etapas, processos, elementos, insumos e produtos, é possível a elaboração de um sistema automatizado, com o uso inteligente de equipamentos como sensores, atuadores e sistemas de controle (como CLP's), já disponíveis no mercado. Em caso de sistemas mais complexos, é possível a utilização de sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA), possibilitando um aumento ainda maior do desempenho e qualidade dos processos automatizados. Este trabalho de conclusão de curso desenvolve o projeto de automação de uma linha de produção simulada de portas automotivas, através da utilização de um sistema de supervisão e controle "CLP-SCADA" integrado à uma bancada didática com elementos de automação hidráulicos, pneumáticos e eletrônicos.

## 1.1 Descrição do Problema

A indústria automotiva, mais especificamente a parte responsável pela manufatura dos veículos, é composta por múltiplos sistemas e processos. Os processos presentes em uma indústria automotiva são geralmente divididos em duas plantas fabris, a primeira responsável pela fabricação e montagem do sistema completo de *Powertrain*, enquanto a segunda é a planta de *textitAssembly*, responsável pela construção da estrutura do veículo, assim como pela pintura e montagem final do veículo. A estrutura do veículo moderno é composta de maneira geral, por uma estrutura base chamada de *Body in White (BiW)*, e de componentes agregados como as portas, capô, porta-malas e outros. Cada parte componente da estrutura do veículo, montada na planta de *Assembly*, é fabricada por um processo específico, que pode ser independente ou interconectado a outros processos [22].

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi necessário inicialmente a delimitação do escopo. Para isso foi selecionado, como foco do projeto de automação, o processo de produção de portas automotivas, que por si só, envolve várias etapas produtivas, muito associadas à sistemas de automação e controle.

Neste trabalho, será então necessário o projeto de automação da etapa de transporte e posicionamento de matéria-prima e produto, assim como das etapas de prensagem e soldagem por pontos de chapas metálicas de uma simulação de uma linha de produção de portas automotivas em ambiente SCADA integrada à um sistema de controle de uma bancada didática com CLP.

**Motivação de projeto:** elaborar o projeto de automação e controle de uma linha de produção simulada de portas automotivas, através do uso de sistemas pneumáticos e hidráulicos em uma bancada didática associados à um sistema de controle e monitoramento com CLP e software SCADA.

## 1.2 Questões e objetivos do projeto

### 1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é a elaboração de um projeto de automação e controle para a indústria automotiva, especificamente de uma simulação de linha de produção de portas automotivas, por envolver várias etapas produtivas, muito associadas à sistemas de automação e controle.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para se alcançar os objetivos gerais deste projeto, busca-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar e descrever o fluxo do processo produtivo de uma linha de produção simulada de portas automotivas;
2. Mapear o processo de projeto de um sistema de automação de uma linha de produção simulada de portas automotivas;
3. Especificar os elementos e equipamentos necessários para a elaboração do projeto de automação;
4. Projetar um sistema de automação para a simulação da linha de produção com os equipamentos identificados;
5. Elaborar a programação em *Ladder* do CLP;
6. Projetar um sistema de supervisão, controle e aquisição de dados para o sistema de automação;
7. Implementar a comunicação CLP-SCADA;
8. Projetar e construir uma bancada didática com os equipamentos necessários;
9. Obter dados advindos dos sensores da bancada;
10. Simular a linha de produção de portas automotivas em ambiente de software SCADA;
11. Integrar a bancada com a simulação em software SCADA da linha de produção;

Deve-se atentar que os objetivos 1, 2, 3, 4 e 5 são para a disciplina e relatório de TCC 1, enquanto que os objetivos 6, 7, 8, 9, 10 e 11 são para a disciplina e relatório de TCC 2.

### 1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

- **Etapa 1: Definição do escopo e objetivos do projeto**

Consiste na definição e delimitação do escopo do projeto, assim como dos objetivos, geral e específicos, que buscam ser alcançados no trabalho.

- **Etapa 2: Revisão bibliográfica**

Consiste na revisão de literatura dos temas abordados no trabalho, como automação industrial, sistemas pneumáticos e hidráulicos e sistemas de controle e supervisão. Ela constitui a base de conhecimentos sobre a qual o trabalho será construído.

- **Etapa 3: Definição dos requisitos e da especificação funcional do projeto**

Após a revisão bibliográfica é elaborada a especificação funcional do projeto e equipamentos, definindo os requisitos funcionais e o funcionamento deles, respeitando as limitações de escopo.

- **Etapa 4: Desenvolvimento do projeto de automação**

Com a especificação funcional definida, é elaborado o sistema de automação proposto. Isso será realizado através do projeto da estrutura do sistema, e programação de dispositivos. Também é realizada a descrição de todo o cronograma de projeto.

- **Etapa 5: Finalização do relatório**

Consiste na elaboração dos elementos finais do relatório.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 Indústria Automotiva

Nossa sociedade atual se baseia em um sistema extremamente dependente e influenciado pelo carro. Inicialmente surgindo nas nações mais desenvolvidas porém mais recentemente se espalhando para as economias emergentes na Ásia, África e nas Américas, a influência desse sistema vai muito além da indústria que produz os veículos. O carro está tão integrado com nossa sociedade e cultura, que sua remoção causaria uma crise mundial econômica e social [23].

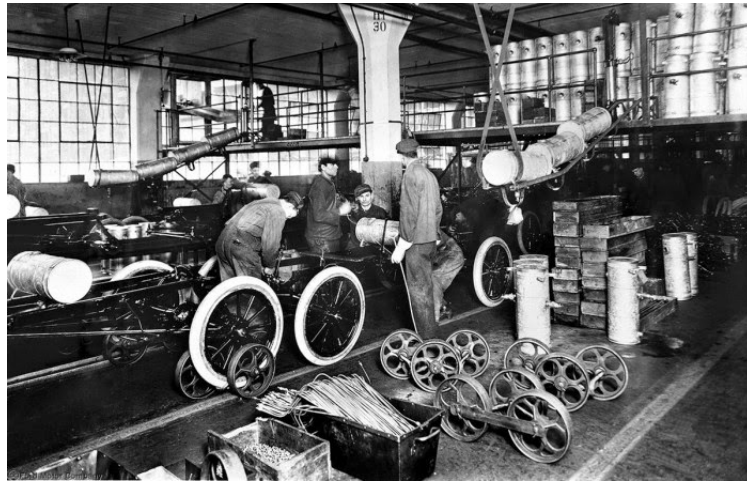


Figura 2 – Linha de produção automotiva arcaica da Ford [2]

A indústria automotiva vem crescendo desde a invenção do automóvel no século XIX, Fig. (2), porém não de maneira suave e sem dificuldades. Ao longo do tempo a indústria automotiva vem enfrentando várias crises, a mais recente por exemplo acontecendo por volta de 2008 , onde uma queda brusca nas vendas de mercados bem estabelecidos, causaram um congelamento nos investimentos. Em poucos anos porém a indústria automotiva conseguiu re-emergir, graças à habilidade da mesma de se reinventar ao adotar novas tecnologias, e à se adaptar à novos mercados emergentes com crescimento frenético, como a China. Utilizando de situações como o aumento das intervenções governamentais, com o objetivo da regulamentação de emissões de gases em veículos, como uma maneira de estimular o desenvolvimento de novas tecnologias e até mesmo de novos métodos de se obter lucro. A indústria automotiva está novamente no meio de um processo para se reinventar [21]

Segundo Omar[22] o automóvel moderno é composto por vários componentes e subsistemas, sendo eles: *Powertrain* (sistema de propulsão), chassi, decorações internas e externas, e carroceria do veículo. Ao se desenvolver um veículo são levados em questão vários fatores para se determinar o produto final, como categoria de veículo, custo, design dentre outros fatores, porém o fator mais importante é a manufaturabilidade, ou seja, a capacidade do veículo ser manufaturado, ela será descrita com base em todos os outros fatores determinantes do veículo. Isto promove na indústria um maior entendimento dos processos e sistemas de manufatura do veículo, pois eles que irão definir o custo, a forma, a funcionalidade e a validade do design do produto. A Figura (3) mostra um exemplo de sistema de *Powertrain*.



Figura 3 – Exemplo de *Powertrain* [3]

Omar[22] analisa as atividades presentes na manufatura automotiva em dois níveis diferentes: os sistemas de manufatura e os processos de manufatura. Os sistemas de manufatura são geralmente definidos em três diferentes perspectivas: o aspecto estrutural, que cobre o maquinário, equipamentos e recursos de trabalho e suas atribuições nas diferentes atividades. O aspecto transformacional, que inclui a parte funcional dos sistemas de manufatura, que é a conversão da matéria-prima no produto final. Por fim o aspecto processual, descreve as estratégias, que identificam o tipo de produto, volume, condições de mercado e regulamentações, assim como a alocação de recursos. O aspecto processual também descreve as operações, que focam no controle, planejamento, implementação e monitoramento da produção.

Os processos de manufatura são comumente divididos na indústria automotiva em duas plantas, a planta de *Assembly* (montagem) e a planta de *Powertrain*. Cada planta se especializa em converter diferentes matérias-primas em peças finais, ambas são sincronizadas e integradas para no final formarem o veículo completo. A Fig. (4) descreve a divisão realizada por Omar[22].



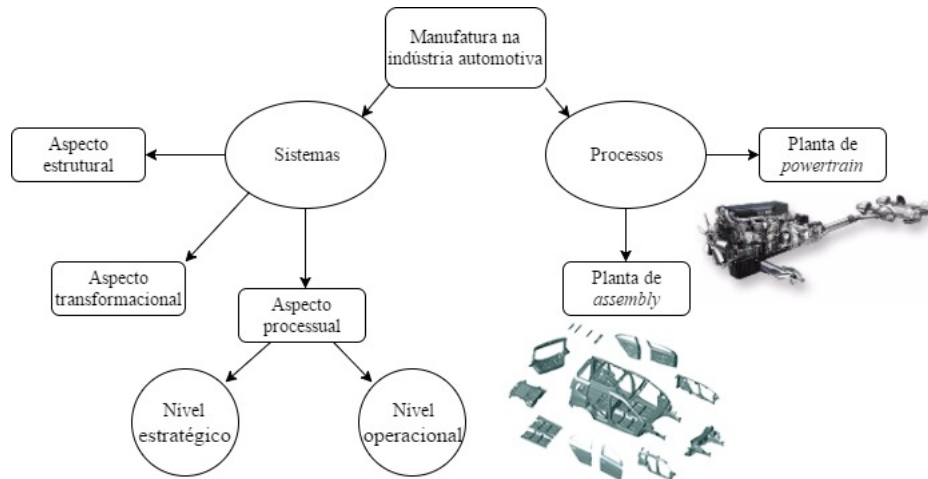


Figura 4 – Divisão da manufatura na indústria automotiva

Fonte: Elaborada pelo autor

A planta de *Powertrain* é responsável pela fabricação de vários componentes mecânicos que constituem os sistemas de motor, transmissão e embreagem e outros. A planta de *Assembly* é responsável pela fabricação completa da estrutura do veículo, incluindo chassi e carroceria, assim como a pintura e montagem de componentes externos, inclusive de componentes vindos da planta de *Powertrain*. A Figura (5) resume os processos básicos presentes em uma indústria automotiva [22].

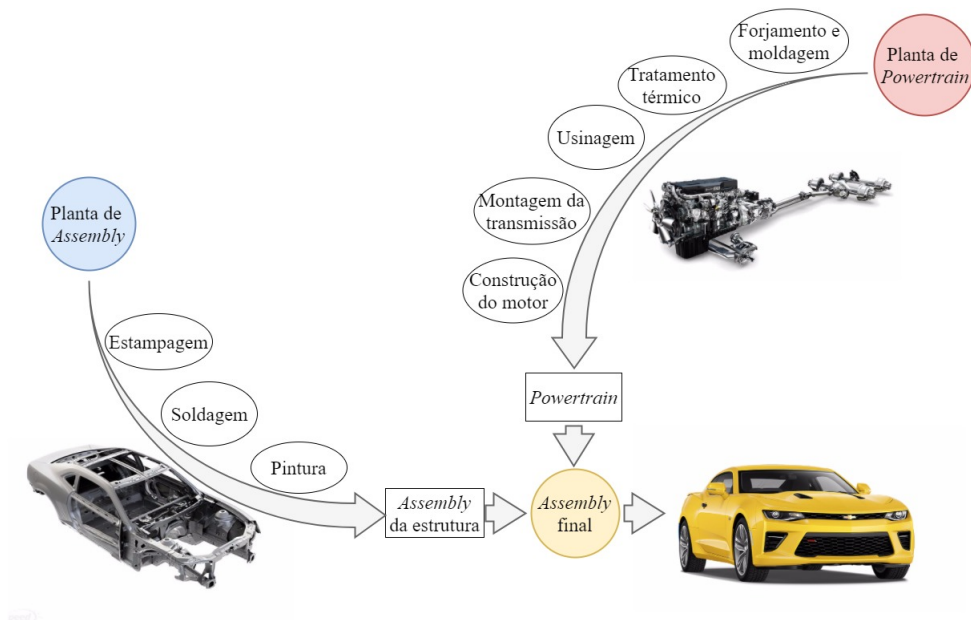


Figura 5 – Processos presentes na indústria automotiva

Fonte: Elaborada pelo autor

### 2.1.1 Fabricação de portas automotivas

Alguns componentes como as portas automotivas, Fig. (6), são fabricados em linhas de produção independentes, com seus próprios processos de estampagem, soldas e pintura, para em seguida serem unidos ao resto do veículo, isso se dá devido à diferenças no processo de fabricação, como a existência de forças de prensagem e de moldes distintos [22]. Assim como o resto da carroceria, as portas de automóveis geralmente são fabricadas à partir da prensagem e soldagem de chapas de aço, alumínio, magnésio ou ligas metálicas [24, 22].



Figura 6 – Exemplo de porta metálica automotiva [4]

Segundo Chiaberge[24], 99,9% dos veículos produzidos no mundo utilizam uma estrutura chamada de *Body in White* (BiW), Fig. (7), onde chapas de aço prensadas e soldadas, formam uma base forte e rígida para a carroceria. Os 0,1% restantes são em sua maioria estruturas de BiW inteiras de alumínio, permitindo uma redução de até 50% do peso da estrutura BiW.



Figura 7 – Estrutura BiW [5]

A redução de peso é ainda o método mais efetivo para se reduzir o consumo de combustível, segundo Chiaberge[24], é estimado que para cada 10% de peso eliminado do peso total do veículo, a economia de combustível melhora em cerca de 7%. Apesar do

maior custo do material, é cada vez mais comum a substituição do aço por alumínio nos painéis de portas, capôs e porta-malas, devido à suas propriedades mecânicas como baixo peso, alta maleabilidade e reciclabilidade, isto é utilizado em conjunto com uma estrutura BiW de aço (mais rígida), permitindo assim uma redução de peso total do veículo de maneira economicamente viável [24, 25].

### 2.1.2 Estampagem de chapas metálicas

A estampagem de chapas metálicas, segundo [26] é um processo de conformação mecânica muito utilizado na em várias áreas da indústria. Com o uso de prensas de estampagem e matrizes é possível transformar, através da deformação plástica, chapas planas em uma nova forma geométrica, plana ou oca. Existem três tipos mais comuns de estampagem: o corte, o dobramento e encurvamento e a estampagem profunda, em sua maioria estas operações são realizadas à frio, com ou sem lubrificação. Dependendo da complexidade da peça a quantidade de operações , assim como a sequência delas irá variar, a fim de se obter o produto ou subproduto final.

De acordo com Omar[22], ao se usar processos de estampagem na indústria é necessário não só dedicar esforços para o projeto da engenharia de produção mas também ao desenvolvimento e dimensionamento das ferramentas e maquinários necessários para a realização dos processos. O projeto das matrizes de prensagem, por exemplo, é tão importante e intensivo que o processo de aprovação de um molde pode consumir cerca de 50 semanas até que a produção do produto final possa se iniciar. A operação de estampagem é realizada por uma prensa (hidráulica ou mecânica), Fig. (8).



Figura 8 – Exemplo de prensa hidráulica de estampagem [6]

O corte de chapas é a operação de estampagem em que através de um punção de corte e de uma matriz, a chapa é submetida à um esforço de compressão que se converte em um esforço de cisalhamento, causando assim a separação de um pedaço da chapa.

A estampagem profunda é a operação onde a chapa metálica é conformada para em um formato de objeto oco, sem alterar a espessura da chapa. Um exemplo comum da utilização desta operação de estampagem é a estampagem das chapas externas da carroceria de automóveis, incluindo as portas, capô e porta malas do veículo. A prensa para estampagem profunda, mostrada na Fig. (9), é composta pelo punção, que atua sobre a chapa e provoca a deformação, pela matriz que apoia a chapa e dá o formato desejado à chapa deformada, e pelo sujeitador, que fixa e mantém as extremidades da chapa pressionadas, durante a atuação do punção, a fim de evitar o enrugamento da chapa, causado por uma compressão circunferencial [26, 27].

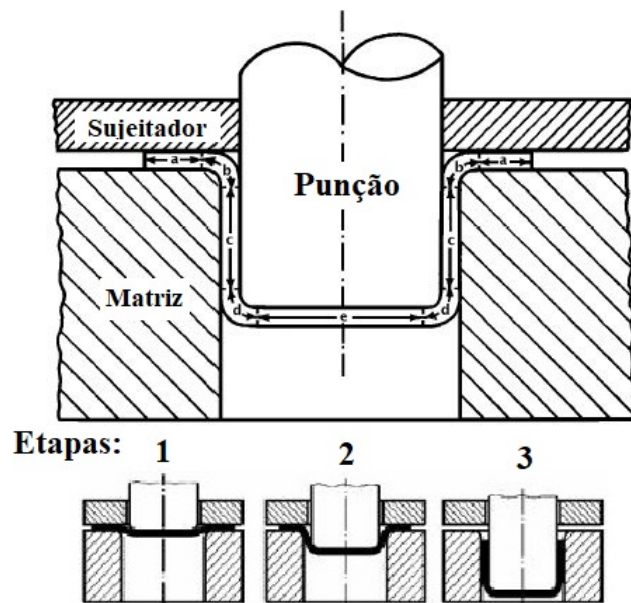


Figura 9 – Estrutura de prensa de estampagem profunda

Fonte: Elaborado pelo autor

Omar[22] descreve as operações necessárias, presentes na indústria automotiva, para a realização do processo de estampagem de chapas metálicas: o processo se inicia com as chapas metálicas em enroladas em formatos de bobinas, fornecidas pela indústria de metais, com espessura, largura, topografia de superfície e tratamento térmico específicos. Em seguida é realizada a preparação da forma básica da chapa, ao se cortar em pedaços menores a chapa metálica fornecida. é realizada então as primeiras deformações simples que irão facilitar as operações seguintes, que envolvem uma sequência de deformação específica, gerando assim a peça que pode ser levada à área de *Assembly*, para enfim formar, através da combinação de diferentes painéis, componentes como as portas ou estrutura base da carroceria BiW.

### 2.1.3 Spot Welding (soldagem por pontos)

A soldagem é um processo que permite juntar duas ou mais peças metálicas através do contato e do aquecimento local das superfícies das peças em questão, resultando na junta (solda), uma região onde ocorre a fusão dos materiais, de forma perfeitamente coesa após o resfriamento do metal, é caracterizada por sua alta resistência. A soldagem é classificada de acordo com a fonte de energia que aquece os metais e a condição das superfícies de contato [26].

A soldagem por pontos (*Spot Welding*) é classificada como um processo de solda por pressão onde, segundo Chiaverini[26] “as peças são aquecidas somente até um estado plástico adiantado, ao mesmo tempo em que elas são forçadas uma contra a outra pela aplicação de pressão externa” Além disso, é definida como um processo de soldagem por resistência, pois o aquecimento local das partes metálicas ocorre ao se realizar a passagem de corrente entre as peças por meio de eletrodos.

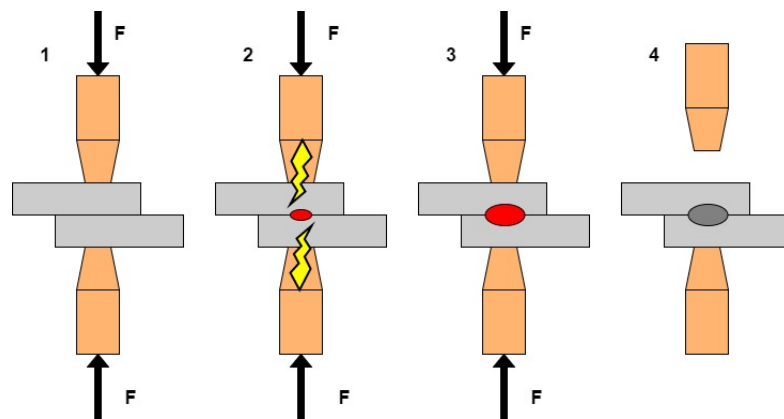


Figura 10 – Etapas da soldagem por pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Chiaverini[26] e Omar[22], podemos descrever o processo de soldagem por pontos em quatro etapas, também descritas em Fig. (10). Onde 1 ciclo de solda é definido como 1/60 segundos.:

1. Aplicação da pressão nas peças (de 90 a 1450 *kgf*);
2. Aplicação da corrente elétrica (de 1000 a 50000 A), por um tempo de cerca de 3 ciclos de solda;
3. Desligamento da corrente elétrica e manutenção da pressão externa por um tempo de cerca de 2 ciclos de solda, definido como “*hold time*” (tempo até resfriamento da solda);
4. Afastamento dos eletrodos e remoção da peça;

Ao contrário de processos de solda por fusão, a soldagem de pontos por resistência, forma pontos de solda internos aos painéis e peças soldados, contudo, os eletrodos utilizados deixam uma impressão visível nos pontos de contatos com a superfície externa da peça, limitando assim o seu uso à conexão de painéis internos da estrutura do veículo. Ainda assim é a mais utilizada pela indústria automotiva, a estrutura completa de um veículo atual apresenta entre 4000 e 5000 pontos de solda. Atualmente graças aos avanços na área de automação industrial, é bem comum a utilização de sistemas de braços robóticos servo-pneumáticos, Fig. (11), capazes de realizar as soldas com rapidez e precisão [26, 22]



Figura 11 – Exemplo de braço robótico [7]

## 2.2 Automação industrial

Desde os primórdios da humanidade até o grande período de avanço tecnológico ocorrido entre os séculos XVIII e XIX, conhecido como revolução industrial, a produção de bens era realizada de forma artesanal, em baixa escala. Com o advento da máquina à vapor, a revolução industrial definiu uma nova forma de organização da produção e da natureza do trabalho. A produção em massa permitiu às empresas produzirem mais, de maneira mais rápida e eficiente, produtos de maior qualidade à um custo inferior, atendendo à lógica econômica capitalista presente no mundo, de se buscar o lucro, e ao impulso inerente do ser humano de desenvolver novas tecnologias a fim de facilitar e prolongar sua vida [28, 19].

Segundo Groover[18] e Pessoa e Spinola[19], a automação é a implementação de tecnologias, a fim de realizar tarefas, procedimentos ou processos, sem a assistência e intervenção humana, com equipamentos e dispositivos que funcionam de maneira independente e possuem a capacidade de se adaptar e corrigir com base na variação de condições defini-

das. Pode-se dizer, que a automação está presente na humanidade, de maneira primitiva desde seus primórdios, com a invenção de dispositivos mecânicos básicos, como a roda, a alavanca e a engrenagem, que levaram à criação das rodas d'água e moinhos de vento, mecanismos que forneceriam a energia para operar vários tipo de maquinário.

Foi com a revolução industrial, o advento da máquina à vapor, e da implantação da produção em massa, que a automação passou a ser vista como uma necessidade. Sistemas de automação, Fig. (12), permitem o aumento da produtividade e a realização de processos mais rápidos e complexos, devido aos seu baixo tempo de resposta e à capacidade de controlar seu processo em tempo real. Permitem também uma maior precisão e qualidade do produto, devido à menor variabilidade na produção. Aumentam a eficiência operacional nas instalações e reduzem o custo operacional , por conta da capacidade de identificar defeitos e permitir a manutenção preventiva [19].



Figura 12 – Exemplo de automação industrial [8]

A automação gera uma redução da mão de obra necessária para se realizar os processos, porém ao mesmo tempo ela ainda requer a presença de operadores, que são uma mão de obra mais cara especializada. O operador, ao invés de realizar a tarefa diretamente, irá controlar e supervisionar a máquina que realiza a tarefa, além disso , há a necessidade de manter os equipamentos e máquinas em bom estado de funcionamento, realizando manutenções preventivas e reparos necessários, tarefa importante, pois no caso de sistemas e processos automatizados, as tolerâncias à erros e falhas são menores. Uma parada total no sistema pode provocar grandes perdas econômicas, enquanto que a recolocação em funcionamento requer mão de obra altamente especializada e cara [29, 19].

## 2.2.1 Arquitetura da automação industrial

A automação pode ser aplicada na indústria de várias maneiras diferentes, e com várias arquiteturas diferentes. Isto depende de limitações de projeto como nível de investimento, prazo e mão de obra disponíveis, mas também depende do nível em que a automação será implantada no sistema. Podemos dividir a automação de sistemas em 5 níveis, Fig.(13), de forma hierárquica, formando a pirâmide da automação industrial [18, 30].

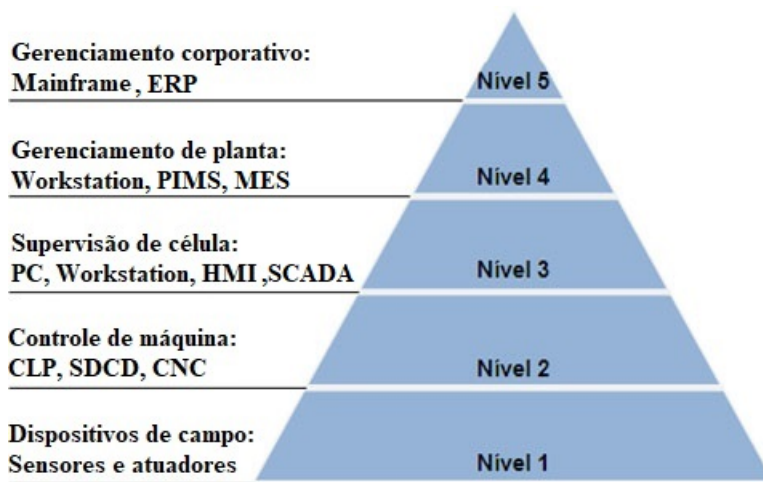


Figura 13 – Pirâmide da automação industrial [9]

**Nível 1 ou nível de dispositivos de campo** - é o nível mais baixo de automação, responsável pelo comando das ações e pela aquisição e transmissão de dados. Inclui os componentes mais básicos presentes no chão de fábrica, como atuadores, sensores, chaves, transmissores de dados, relés e válvulas. A Figura (14) mostra um exemplo de sensor de proximidade.



Figura 14 – Sensor de proximidade [10]



**Nível 2 ou nível de controle de máquina** - os dispositivos do nível anterior são muitas vezes aglomerados em máquinas específicas. A automação neste nível garante a sequência das operações no chão de fábrica. Este tipo de controle é geralmente realizado por Controladores Lógico Programáveis (CLP's), Sistemas Digitais de Controle Distribuído (SDCD's) e sistemas de Controle Numérico Computadorizado (CNC).

**Nível 3 ou nível de supervisão de célula** - neste nível é feito o controle de um conjunto de máquinas em uma planta industrial, que por sua vez formam uma célula de produção, com várias máquinas e processos interconectados. É comum o uso de sistemas de controle supervisão e aquisição de dados (SCADA), sistemas de gerenciamento de materiais, assim como de um banco de dados, computadores (PC), Interfaces Homem-Máquina (HMI) ou ainda estações de trabalho (*Workstation*), Fig. (15), que são computadores com capacidade de processamento superior aos comuns.



Figura 15 – Exemplo de *workstation* industrial [11]

**Nível 4 ou nível de gerenciamento de planta** - engloba toda a fábrica e a produção da planta. Recebe informações do nível superior quanto à programação e planejamento da produção. Envolve tarefas como: planejamento de processos, controle de inventário, compras, controle de qualidade e outros. É geralmente realizado com estações de trabalho (*Workstation*) centralizadas, maiores que as presentes em chão-de-fábrica, Fig. (16), assim como com a utilização de sistemas “MES” (*Manufacturing Execution Systems*) e “PIMS” (*Plant Information Management System*). Sistemas MES são responsáveis pelo gerenciamento das atividades de produção, estabelecendo a ligação em tempo real entre o chão de fábrica e planejamento realizado no nível superior, permitindo uma visão unificada de todos os processos produtivos, sincronizando as tarefas produtivas com o fluxo de materiais, ao receber dados de planejamento. Já sistemas PIMS são capazes de coletar

e centralizar dados de diferentes unidades da planta industrial (disponibilizados pelos sistemas de nível 2) em uma base única de dados, que os armazena por vários anos e os disponibiliza através de vários tipos de relatórios, acessíveis à diferentes níveis de usuários.



Figura 16 – Exemplo de *workstation* de gerenciamento de planta [12]

**Nível 5 ou nível de gerenciamento corporativo** - é o último e o mais alto nível de automação industrial. Consiste basicamente no sistema de informação corporativo da empresa, é responsável pelo gerenciamento de funções importantes como: marketing, vendas, pesquisa, design, planejamento e controle mestre de produção. É realizado por sistemas “ERP” (Enterprise Resource Plannig), capazes de integrar, em um único sistema, todos os dados e processo de uma empresa. Todos os dados são armazenados em *mainframes*, Fig. (17), que são computadores de grande porte dedicados ao gerenciamento de um grande volume de dados.



Figura 17 – Exemplo de *mainframe* [13]

### 2.2.2 Automação na indústria automotiva

A palavra “automação” foi usada pela primeira vez em 1946, por um gerente de engenharia da Ford, para descrever os vários dispositivos de transporte e de alimentação de materiais automáticos presentes nas plantas industriais da Ford [18]. Podemos então dizer que a indústria automotiva não é estranha para a área da automação, ao contrário, a indústria automotiva sempre foi uma das que mais desenvolveu e investiu em novas tecnologias na área de automação industrial. A figura (18) mostra um exemplo de linha de produção automotiva atual.



Figura 18 – Linha de produção automotiva automatizada [14]

Ao analisarmos os processos presentes em uma planta de indústria automotiva, vemos que quando se trata de automação encontramos todos os níveis de arquitetura possíveis. Indo desde o nível mais baixo, com a presença de atuadores e sensores simples, realizando diferentes tipos de tarefas, até ao nível mais alto, de gerenciamento da empresa como um todo, pois se trata de uma das maiores indústrias do mundo. Percebemos também que automação da indústria automotiva está cada vez crescendo mais, devido às pressões externas de mercados constantemente em mudança e à necessidade de adaptar a eles de maneira rápida e eficiente [18, 30, 21].

Para o desenvolvimento deste projeto de automação, é necessário definir quais etapas do sistema produtivo de uma planta de indústria automotiva seriam escolhidas como foco do trabalho. A célula operacional escolhida foi a linha de produção de portas automotivas, que por sua vez irá envolver projetos de automação de transporte, alimentação e posicionamento de material, de controle de prensas de estampagem profunda e de corte, assim como projetos de controle de estações robóticas de solda à ponto e sistemas de segurança.

## 2.3 Automação pneumática e hidráulica

Para Fialho[20] a automação é definida como uma organização dinâmica lógica de automatismos que permite a realização de tarefas e operações a fim de realizar objetivos do progresso humano, garantindo uma maior produtividade, qualidade, eficiência, permitindo uma redução de custos do produto final. Enquanto que automatismos são as ferramentas, meios, instrumentos, máquinas ou processos que permitem a potencialização, redução ou até mesmo a eliminação da ação humana em alguma tarefa produtiva.

Automatismos podem ser categorizados com relação à sua função em: automatismos de potência e de guia. Os automatismos de potência são aplicados de forma a potencializar a capacidade física ou mental que o humano, no ambiente de fábrica, estaria utilizando para realizar a operação produtiva. Já os automatismos de guia são responsáveis por guiar movimentos e realizar posicionamentos precisos de materiais ou até mesmo ferramentas e máquinas em um ambiente fabril, com operações de montagem ou de transformação mecânica como a usinagem. A Figura (19) mostra exemplos de automatismos pneumáticos, como atuadores e sensores [20, 17].



Figura 19 – Exemplos de automatismos

Fonte: Elaborado pelo autor

Ao se realizar o desenvolvimento de um projeto de automação industrial, é comum que a empresa exija do profissional responsável, que seja realizado o projeto de automação de todo e qualquer processo produtivo presente na empresa. Enquanto que na verdade, é ideal sempre realizar um estudo de custo envolvido e benefício obtido na automação de tal processo, segundo Fialho[20] “conta muito menos automatizar totalmente uma operação relativamente simples que automatizar apenas apenas uns 50% de um processo complexo”. É visto que, quando se trata da seleção dos automatismos do processo de

automação, é muito comum o uso de sistemas hidráulicos e pneumáticos devido à sua relativa simplicidade de aplicação e a alta disponibilidade no mercado. Em cada projeto de automação deve ser levado em conta ainda as diferentes vantagens e desvantagens entre sistemas hidráulicos e pneumáticos.

O uso de sistemas hidráulicos, onde o fluido de trabalho é o óleo, na automação industrial é amplamente difundido, principalmente em casos onde o uso de sistemas mecânicos ou elétricos é inviável, ou ainda, quando é necessário o emprego de grandes esforços em uma área de trabalho pequena, devido à ótima capacidade de transmissão de energia que a hidráulica fornece, e à facilidade de instalação desses sistemas, inclusive em espaços reduzidos. Ao se comparar com sistemas mecânicos e elétricos, vemos ainda que a hidráulica apresenta uma baixa inércia, permitindo inversão rápida e suave de movimentos, também permitem um controle micrométrico da velocidade. São sistemas autolubrificantes, de fácil proteção, com ótimas características de dissipação de calor e, por fim, boa relação de peso, tamanho e potência consumida. Porém, sistemas de automação hidráulicos, quando comparados à sistemas mecânicos e elétricos, apresentam um alto custo inicial de implantação, baixo rendimento, devido à perdas energéticas por atrito, vazamentos e necessidade de várias etapas de conversão de energia, além do risco de incêndio devido a flambabilidade do óleo utilizado [20].

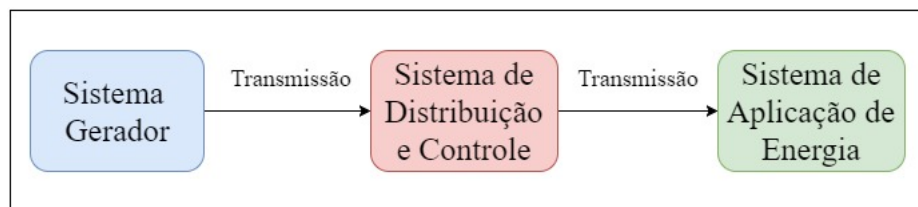


Figura 20 – Esquema geral de um sistema hidráulico

Fonte: Elaborado pelo autor

Segundo Fialho[20], a construção de um sistema hidráulico irá variar de acordo com a sua aplicação específica, porém, de modo geral possui sempre o mesmo esquema geral de construção, composto por: sistema de geração, sistema de distribuição e sistema de aplicação de energia. O primeiro é responsável pela geração da pressão no sistema e armazenamento de energia hidráulica, é composto por reservatórios, filtros, bombas, motores, acumuladores, intensificadores de pressão e outros acessórios. O sistema de distribuição e controle é constituído por válvulas direcionais e controladoras, são responsáveis por controlar a pressão, vazão, direção de movimento e velocidade do fluido no sistema. Já o sistema de aplicação de energia é representado pelos atuadores, que podem ser lineares (cilindros), motores e osciladores. A Figura (20) mostra o esquema de um sistema hidráulico. Ao se realizar um projeto de um sistema hidráulico, é comum a elaboração de diagramas com a simbologia descrita na norma ANSI Y 32.10. A Figura (21) mostra um exemplo de diagrama hidráulico com a simbologia padronizada.

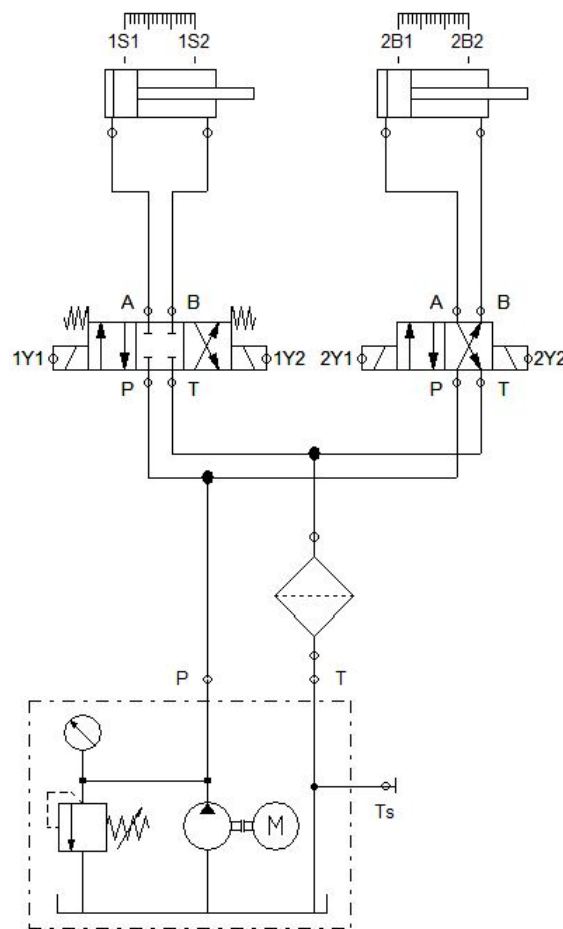


Figura 21 – Exemplo de diagrama de circuito hidráulico

Fonte: Elaborado pelo autor

O uso de sistemas de automação pneumática é muito difundido atualmente na indústria, devido principalmente à sua simplicidade, maior rentabilidade e custo inferior, quando comparado à sistemas hidráulicos, permitindo uma grande variedade de formas de aplicação e operações em um ambiente industrial, parte disso se dá devido às características do seu fluido de trabalho , o ar. Para o correto funcionamento de sistemas hidráulicos é muitas vezes necessário o uso de um reservatório para óleo (fluido de trabalho), porém em sistemas pneumáticos, na maioria dos casos, não é necessário o armazenamento do ar, que é de obtenção livre e pode ser facilmente comprimido e aplicado em diversas situações [20, 17].

O transporte do ar comprimido pode ser facilmente realizado por tubulações, não necessitando de linhas de retorno, pois pode, na maioria dos casos se devolvido à atmosfera. O ar como fluido de trabalho, também apresenta vantagens como a insensibilidade à variação de temperatura, a segurança contra explosões (devido à baixa pressão de trabalho, entre 6 e 12 bar) e incêndios, a não existência de risco de poluição ambiental, a possibilidade de se alcançar altas velocidades de trabalho com elementos de construção simples e com segurança contra falhas. Porém notamos também que a utilização de

sistemas pneumáticos também possui algumas desvantagens, como a necessidade de preparação do fluido de trabalho com a utilização de filtros, a impossibilidade do controle preciso e constante de velocidades de movimentação, problemas relacionados à diminuição de pressão do sistema devido ao escape do ar, e a limitação com relação à força e a carga da operação, devido à baixa pressão de trabalho [20].

A construção dos sistemas pneumáticos, de forma geral, é bem semelhante à estrutura básica de sistemas hidráulicos, mostrada na Fig. (20). No caso de sistemas hidráulicos, a diferença básica está na robustez da construção dos elementos, devido às pressões e cargas baixas, quando comparada à componentes de automação hidráulicos. Vale lembrar também que atualmente nas indústrias, é comum o uso de sistemas eletrônicos e de controle (como CLP's e softwares de supervisão) em conjunto com os sistemas pneumáticos e hidráulicos. A Figura (22) mostra um exemplo de diagrama de circuito pneumático, usando a simbologia padronizada pela norma DIN/ISO 1929 de agosto de 1978 [20, 17].

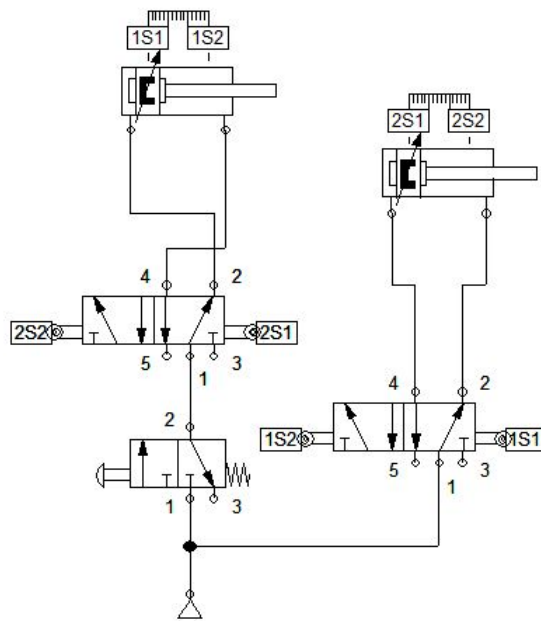


Figura 22 – Exemplo de circuito pneumático

Fonte: Elaborado pelo autor

## 2.4 Controladores Lógico Programáveis (CLP's)

Os CLP's - controladores lógico programáveis, são computadores, utilizados em aplicações comerciais e industriais, capazes de monitorar dados de entrada, tomar decisões baseadas em seu programa e controlar dados de saída, permitindo a automação de máquinas e processos. Os CLP's surgiram na década de 1980 na indústria automotiva, funcionando como substitutos de painéis de relés, eles permitem uma redução de custos de instalação e mão-de-obra, e aumentam a robustez dos sistemas de controle assim como sua flexibilidade, graças à facilidade de alteração de programação, especialmente quando comparados à circuitos com relés [16, 18, 17, 19]. A Figura (23) mostra um exemplo de CLP.



Figura 23 – CLP Siemens Simatic S7 [15]

CLPs são capazes de trabalhar com uma variedade de sinais digitais ou analógicos. Sinais digitais (também chamados de discretos), são sinais que são representados de forma geral por uma condição de “ligado ” ou “desligado”, de “zero” ou “um ”. Botões, contatos, sensores de proximidade, são exemplos de elementos que produzem sinais discretos de entrada, enquanto que solenóides e lâmpadas são exemplos de elementos que utilizam sinal de saída digital. Já sinais analógicos são sinais contínuos, geralmente variam em uma faixa de valores de 0 à 20 mA, ou de 0 à 10 Vcc. Um sensor de nível e um tanque de água é um exemplo de elemento que produz um sinal de entrada analógico ao CLP, enquanto que medidores de velocidade, temperatura ou peso, são exemplos de elementos que utilizam de sinais de saída analógicos.

### 2.4.1 Estrutura e funcionamento do CLP

Os sinais enviados pelo sensores são recebidos pelo controlador e são processados pela Unidade Central de Processamento (CPU), criando assim os sinais de saída, que são enviados do CLP ao processo, controlando assim componentes como atuadores, motores



e válvulas. A função do CLP é coordenar as ações do processo, ao tomar decisões, com base nas informações recebidas e no programa de instruções nele definido, pelo aparelho programador. No caso da presença de uma interface homem máquina, dados são fornecidos em tempo real ao operador. A Figura (24) mostra o funcionamento básico de um CLP [18, 19].

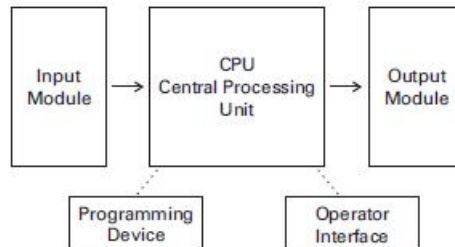


Figura 24 – Funcionamento de um CLP [16]

A estrutura básica de um CLP envolve geralmente os seguintes componentes: entradas e saídas, Unidade Central de Processamento CPU, memória, dispositivo de programação ou comunicação, fonte de alimentação. O número de entradas varia de acordo com o fabricante, apresentando em CLPs pequenos algo entre 5 e 20 entradas e algumas centenas em CLP's maiores. O número de saídas geralmente é proporcional ao número de entrada. O CLP apresenta dois tipos de memória, a temporária (RAM - *Random Access Memory*) e a de leitura (ROM - *Read Only Memory*). O dispositivo de programação ou comunicação, é conectado temporariamente ao CLP para introduzir o programa que controla as ações do processo. O funcionamento do CLP segue um ciclo de operações definido: primeiro realiza a varredura dos dados de entrada, em seguida a varredura do programa e por último a varredura dos dados de saída, repetindo o ciclo durante todo seu funcionamento, como mostrado na Fig. (25) [17, 19].



Figura 25 – Ciclo de operações do CLP [16]

### 2.4.2 Linguagem de programação *Ladder*

Para [17], “um programa é uma série de instruções ou comandos que o usuário desenvolve para fazer com que o CLP execute determinadas ações”. Para que o programa seja elaborado, é comum a utilização de uma linguagem de programação padronizada, que por sua vez, rege as regras que são capazes de combinar as instruções de forma clara para a leitura do CLP. Existem várias linguagens de programação, porém no caso de CLP's, a mais utilizada é a linguagem *Ladder*, que é uma adaptação gráfica, de fácil entendimento para o usuário, com simbologia padronizada de um diagrama elétrico funcional, Fig. (26).

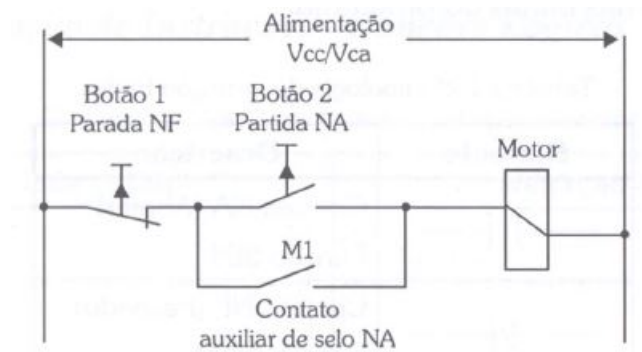


Figura 26 – Exemplo de diagrama elétrico [17, p. 215]

Em um diagrama lógico *Ladder* existem vários elementos lógicos e outros componentes dispostos ao longo de linhas horizontais, que por sua vez, são conectadas em cada extremidade por dois trilhos verticais, criando assim o formato genérico de uma escada. Os elementos de entrada ficam à esquerda do diagrama e representam contatos, que podem ser NA (normalmente abertos) ou NF (normalmente fechados), enquanto que à direita do diagrama ficam as cargas, que em geral são os elementos de saída. A energia é provida pelos trilhos verticais [18, 17]. A Figura (27) mostra a simbologia básica da linguagem *Ladder*. A Figura (28) mostra um exemplo de diagrama *Ladder*.

Símbolo	Descrição
— ] [ —	Contato NA (Aberto) Função SIM
— ⌋ —	Contato NF (Fechado) Função NÃO
— ( ) —	Saída (Energizada)
— ( / ) —	Saída (Não Energizada)

Figura 27 – Simbologia básica *ladder* [17, p. 216]

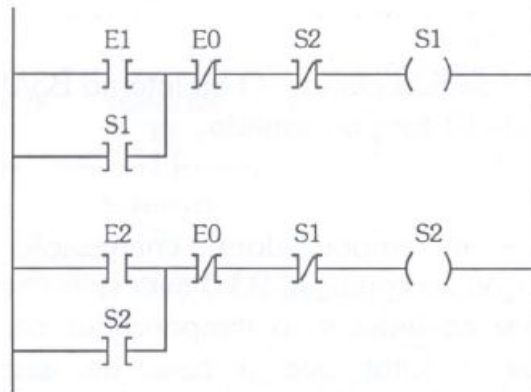


Figura 28 – Exemplo de diagrama *ladder* [17, p. 219]

## 2.5 Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA)

Em uma indústria de grande porte, é comum o uso de sistemas de computação e de comunicação, que permitem um maior controle da planta industrial. Com o objetivo de facilitar o acesso aos dados, surgiram sistemas de controle que trabalham de forma remota. O sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), é um sistema supervisorio de controle e monitoramento de plantas, equipamentos e processos industriais. É utilizado em várias áreas da indústria, e são atualmente imprescindíveis em empresas de grande porte, pois permitem reduções significativas de custos operacionais e de manutenção, assim como permite o aumento do desempenho e qualidade de processos supervisionados, além de facilitar a identificação e o tempo de resposta à falhas [31].

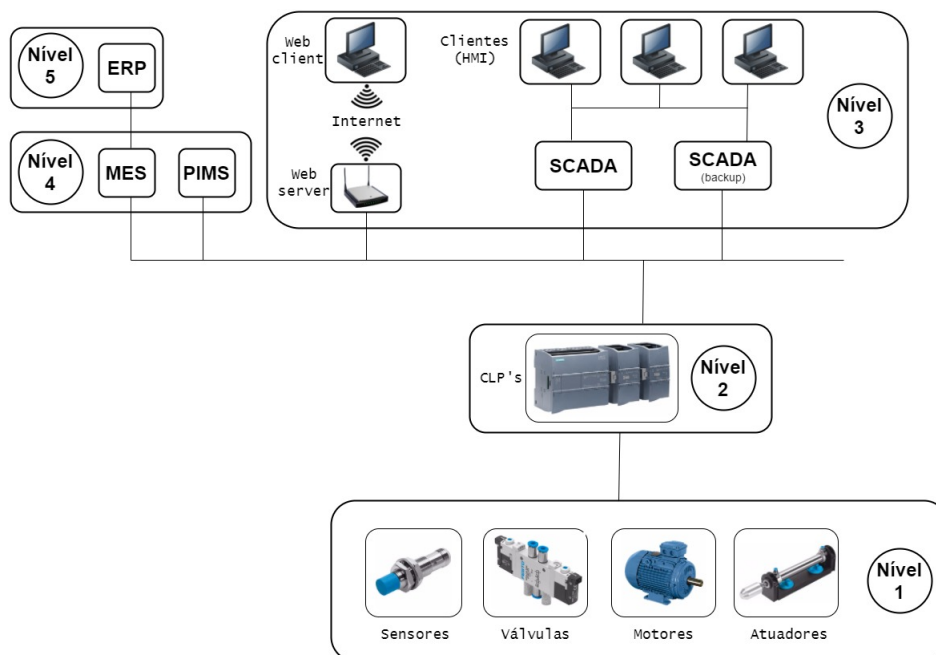


Figura 29 – Composição geral de um sistema SCADA

Fonte: Elaborado pelo autor

Sistemas SCADA são geralmente formados por uma unidade central de processamento chamada MTU (*Master Terminal Unit*), e diversas unidades remotas, chamadas de RTU's (*Remote Terminal Units*), que em conjunto com os CLP's, fazem o gerenciamento local das instalações fabris e o recolhimento de dados locais, que são posteriormente enviados à MTU, através de sistemas de comunicação e redes de longo alcance, onde podem ser armazenados. Existem ainda interfaces de operação HMI e *Workstations* de engenharia no centro de controle, para um monitoramento e controle de processos remoto à distância. A Figura (29) mostra a composição geral de um sistema de automação com SCADA [31].

## 3 Metodologia

### 3.1 Descrição do fluxo produtivo

Conforme abordado no capítulo 2 deste trabalho, o processo de manufatura de um veículo envolve uma quantidade muito grande de etapas e processos produtivos. A automação industrial permite uma grande melhoria de produtividade e eficiência, quando implementada de maneira inteligente, pode ser aplicada em quase qualquer etapa produtiva de uma indústria automotiva [18, 22].

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo elaborar um projeto de automação de uma linha de produção de portas automotivas simulada, com o uso de sistemas pneumáticos, hidráulicos e sistemas de controle e monitoramento CLP-SCADA. A simulação da linha de produção, realizada em ambiente de software SCADA, representará de forma clara e didática as etapas e processos de uma linha de produção.

Para se realizar o projeto de automação da linha de produção de portas automotivas, é necessário um bom entendimento da sequência produtiva necessária. A linha de produção é basicamente uma sequência específica de processos industriais, que irá transformar a matéria-prima em produto, neste caso, chapas metálicas em portas automotivas, Fig. (30).

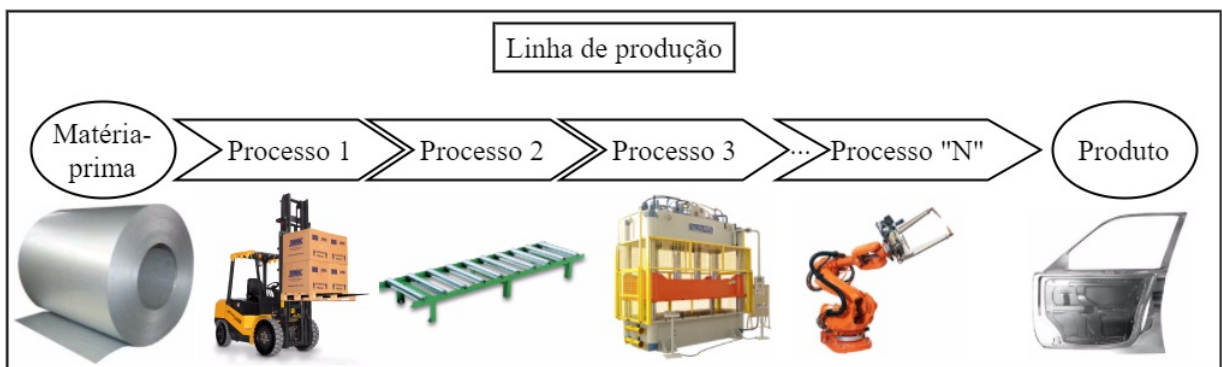


Figura 30 – Sequência de processos industriais em linha de produção

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.1.1 Descrição dos processos industriais

Em uma indústria existem vários tipos de processos, de diferentes níveis de complexidade. No caso específico da linha de produção de portas automotivas foi identificada a presença dos seguintes tipos de processo industrial:

1. **Processos de transporte:** envolve a movimentação no chão de fábrica de matérias-primas e produtos ou subprodutos, entre diferentes etapas da linha de produção, como o transporte de chapas metálicas do estoque à estação de prensagem. Pode ser realizado, por exemplo, manualmente, com empilhadeiras, ou ainda, com a ajuda de sistemas de esteiras e escorregadores;
2. **Processos de posicionamento e travamento:** envolve o correto posicionamento e fixação, da matéria-prima ou produto, em alguma máquina ou estação de trabalho onde será realizado algum outro processo industrial, evitando assim, falhas de produção. Realizado manualmente ou, por exemplo, com manipuladores cartesianos pneumáticos;
3. **Processos de retirada e expulsão:** são processos responsáveis pela retirada ou expulsão do produto de algum processo industrial, da máquina ou equipamento onde foi realizado, sem danificar o produto. Podem ser realizados de maneira similar aos processos de posicionamento;
4. **Processo de estampagem profunda:** responsáveis pela conformação de chapas metálicas, transformando as chapas planas em parte da estrutura da porta, através de esforço de compressão realizado por prensas hidráulicas ou mecânicas;
5. **Processo de corte:** é definido pelo processo onde são retirados excessos de metal das chapas metálicas conformadas. Assim como na estampagem profunda, podem ser realizados com prensas, porém requerem menos força;
6. **Processo de soldagem por pontos:** é descrito como o processo onde é realizada a união de chapas metálicas a partir da solda pontual realizada em vários pontos de contato. É realizada comumente na indústria automotiva por braços robóticos de solda;

É importante deixar claro que, de acordo com a necessidade, cada um dos processos industriais presentes na linha de produção de portas automotivas, pode ser realizado de forma manual ou automatizada. Como discutido no capítulo 2, ao se elaborar um projeto de automação é necessário a análise custo-benefício da implementação de um sistema automatizado em algum processo. A automatização, à um elevado custo, de um processo muito simples, não adiciona grandes benefícios à produtividade da empresa [20].

### 3.1.2 Requisitos do sistema

A definição dos requisitos de sistema é outro fator importante na elaboração de um projeto de automação. Os requisitos são informações que definem em um projeto, as propriedades e funções, que o produto deste projeto deverá apresentar. Foi então realizado o levantamento de requisitos de sistema, que serão fundamentais para o desenvolvimento correto do projeto de automação da linha de produção de portas automotivas. O sistema proposto deve atender os seguintes requisitos:

- (a) Permitir acionamento manual das sequências de processos automatizados;
- (b) Sinalizar presença e posição da chapa metálica no processo;
- (c) Transportar automaticamente chapas metálicas planas até a prensa de estampagem profunda;
- (d) Posicionar automaticamente chapas metálicas planas na prensa de estampagem, quando a prensa estiver livre;
- (e) Realizar automaticamente estampagem profunda da chapa metálica plana, sem colidir com sistema de posicionamento;
- (f) Expulsar automaticamente da prensa, ao fim do processo de estampagem profunda, a chapa metálica conformada;
- (g) Realizar o transporte e posicionamento automático da chapa conformada até a prensa de corte;
- (h) Realizar corte e separação automática dos excessos da chapa conformada;
- (i) Permitir funcionamento automático do braço robótico de soldagem por pontos após acionamento manual;
- (j) Sinalizar fim do processo de soldagem ao usuário;
- (k) Implementar um sistema de segurança para situações de emergência;

### 3.1.3 Descrição de fluxo produtivo

Após a descrição dos processos presentes na linha de produção e da análise dos requisitos de sistema necessários para o projeto, é possível elaborar um fluxograma do processo completo, Fig. (33), para facilitar a visualização e entendimento das etapas presentes na linha de produção simulada de portas automotivas. Para a elaboração do fluxograma será utilizada a simbologia padrão definida pela ANSI (*American National Standards Institute*), descrita na Fig. (31).

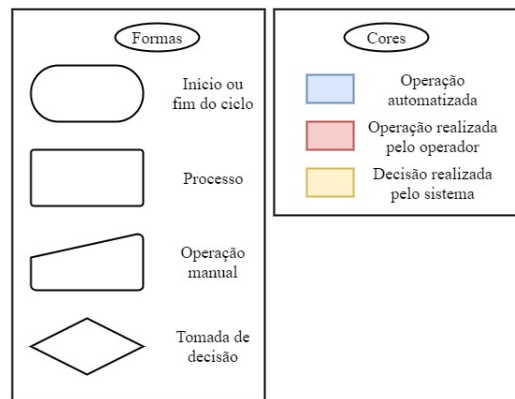


Figura 31 – Padrão de simbologia para fluxogramas da ANSI

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura (32) mostra de maneira simplificada o fluxo produtivo da linha de produção de portas automotivas simulada, com a descrição da sequência de posições :

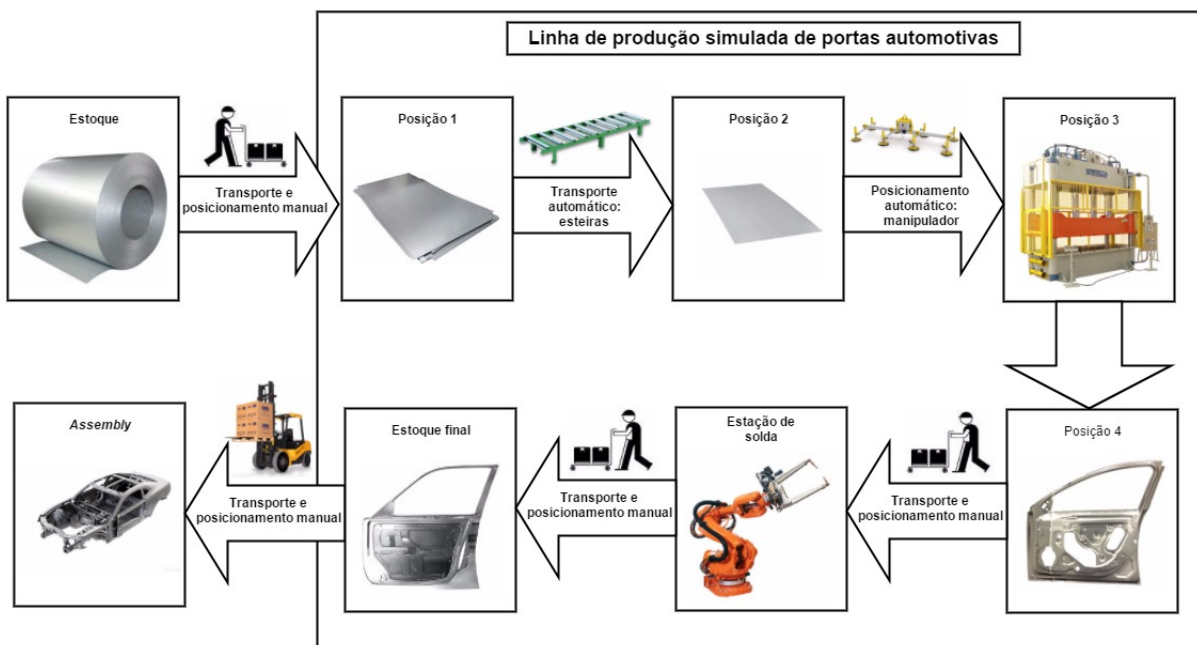


Figura 32 – fluxo produtivo da linha de produção simulada

Fonte: Elaborado pelo autor



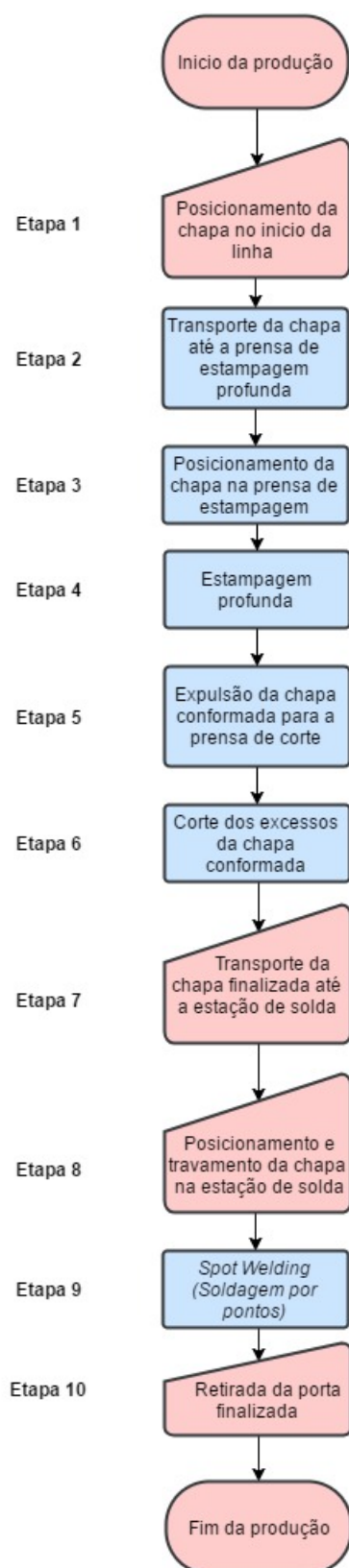


Figura 33 – Fluxograma da linha de produção de portas automotivas

Fonte: Elaborado pelo autor

A partir do fluxograma são identificadas 10 etapas, descritas à seguir:

- **Etapa 1 - Posicionamento da chapa plana no início da linha**

O operador recebe o carregamentos de chapas planas e as posiciona no início da linha de produção. Através de uma interface homem-máquina (HMI) o operador confirma a presença das chapas na posição 1 (posição inicial) e dá o comando no sistema para início do processo automatizado de transporte. O operador permanecerá monitorando o resto do processo e a posição da chapa pela interface homem-máquina (HMI).

- **Etapa 2 - Transporte da chapa plana**

Logo após o recebimento do comando de início de processo e com a identificação da presença da chapa metálica na posição inicial (posição 1) da linha de produção, um atuador é acionado, causando a movimentação de uma das chapas, que se movimenta por uma esteira até a posição 2. Quando a presença da chapa plana na posição 2 é identificada, outro atuador é acionado, forçando a parada da chapa na posição 2.

- **Etapa 3 - Posicionamento da chapa plana na prensa**

Ao identificar a presença da chapa na posição 2, um manipulador cartesiano de 3 eixos é acionado. Com o uso de ventosas de sucção, a chapa é posicionada com precisão na prensa hidráulica de estampagem profunda, acionando o identificador de posição 3. O posicionamento da chapa na prensa só ocorre quando detectado que a prensa está livre e em posição aberta.

- **Etapa 4 - Estampagem profunda**

Ao identificar que o manipulador está contraído (fora do caminho da prensa) e a presença da chapa na posição 3, é realizado o travamento da chapa com o uso de um atuador hidráulico, o sujeitador, e em seguida um segundo atuador, o punção, é ativado, realizando a estampagem da chapa. A pressão do sujeitador é mantida até o final da atuação do punção.

- **Etapa 5 - Expulsão da chapa conformada para a prensa de corte**

Após a etapa de estampagem profunda e com a identificação da presença da chapa na posição 3, é acionado um atuador pneumático, o expulsador, que retira a chapa conformada da prensa hidráulica de estampagem profunda e causa sua movimentação, por inércia, por uma esteira até a posição 4 em uma prensa pneumática de corte.

- **Etapa 6 - Corte da chapa conformada**

Ao identificar a presença e correto posicionamento da chapa na posição 4, é acionado um atuador pneumático que realiza o corte do excesso de metal, resultante da

conformação mecânica da chapa, separando a chapa original em duas. Durante o corte o excesso é lançado para fora da prensa e coletado para reciclagem posterior, enquanto que a chapa finalizada é empilhada.

- **Etapa 7 - Transporte de chapa finalizada**

Caso a chapa não apresente nenhum defeito, um operador coleta a chapa finalizada e a transporta até a estação de solda. Caso exista a presença de defeitos a chapa é enviada junto com as sobras do processo de corte à reciclagem.

- **Etapa 8 - Posicionamento e travamento na estação de solda**

Um operador posiciona chapas finalizadas diferentes em um gabarito na estação de solda, aciona em seguida o travamento com um atuador pneumático.

- **Etapa 9 - Spot Welding (Soldagem por pontos)**

Através de uma estação de controle com HMI (Human Machine Interface), o operador dá o comando que inicia o processo automático de solda por pontos com braço robótico pneumático, que irá unir as diferentes chapas metálicas resultando no formato final da porta automotiva. Ao finalizar o processo de solda, uma luz sinalizadora é ativada, indicando ao operador o fim do processo.

- **Etapa 10 - Retirada da porta finalizada**

Ao identificar o fim do processo o operador destrava a estação de solda, e retira a porta finalizada, levando-a em seguida para o armazenamento, terminando assim a linha de produção.

## 3.2 Mapeamento do sistema

Para o correto desenvolvimento do projeto de automação proposto neste trabalho, é necessário a identificação e especificação das funções e conexões entre os diferentes componentes do sistema desenvolvido. O projeto envolve de maneira geral, três componentes principais: A bancada didática, o Controlador Lógico Programável CLP e por último um PC (Computador pessoal).

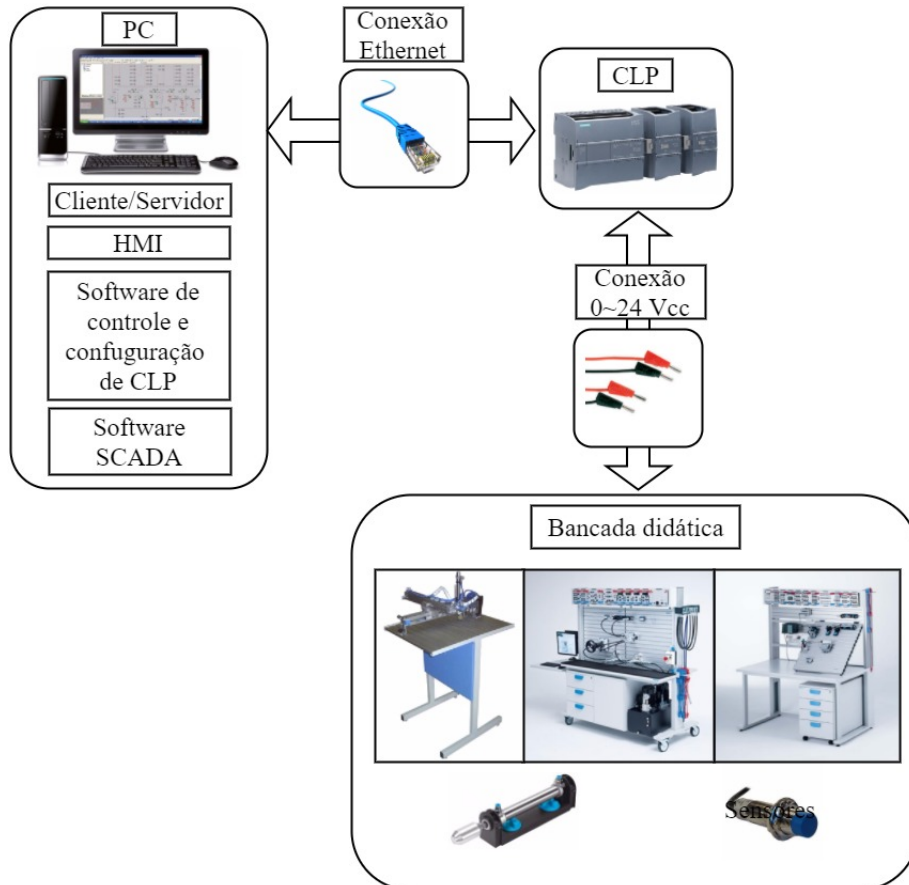


Figura 34 – Mapeamento do sistema

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura (34) mostra a relação entre os componentes do sistema. Cada componente possui uma função específica, que é interconectada ao resto do sistema:

- **Bancada didática:** é o componente físico do sistema, é nela que são expostos os atuadores pneumáticos e hidráulicos, que funcionaram como a saída física do sistema. Na bancada didática também se encontram os sensores, que são a entrada física de dados ao sistema, as ações e sequências do sistema automatizado responderam principalmente à esses dados. No caso deste projeto, todos os elementos trabalham com sinais discretos.

- **Controlador Lógico Programável (CLP):** é o equipamento responsável pela comunicação da bancada com o resto do sistema, e reciprocamente, a comunicação do resto do sistema com a bancada didática. Ele recebe os dados diretamente dos sensores da bancada e envia para o computador, que possui um software de controle e configuração do Controlador Lógico Programável (CLP). Ao mesmo tempo ele é responsável por receber os dados processados pelo computador e enviá-los para os atuadores da bancada didática.
- **PC (computador pessoal):** neste sistema de automação possui várias funções importantes. Inicialmente, será responsável por todo o processamento de dados necessários, ele também fornece a plataforma no qual o software controlador e configurador do CLP e o software SCADA estão instalados. Funciona também como uma interface HMI industrial, permitindo o monitoramento e controle total dos processos do sistema em uma unidade centralizada. Conecta-se ao CLP através de uma conexão de rede local ethernet, permitindo o rápido envio e recebimento de dados. É no software de controle do CLP que é definida a sequência lógica das operações da bancada, através da programação em Ladder definida pelo usuário. Enquanto que o software SCADA é responsável pelo monitoramento e controle remoto do processo realizado pela bancada didática. Permite também a elaboração de uma simulação da linha de produção de forma gráfica, que responderá em tempo real aos sinais obtidos pelos sensores da bancada. O software SCADA precisa de uma comunicação direta com o software de controle do CLP.

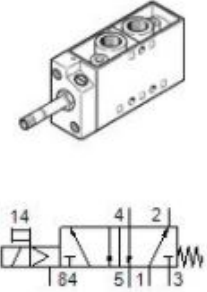
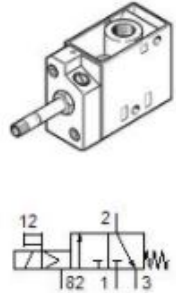
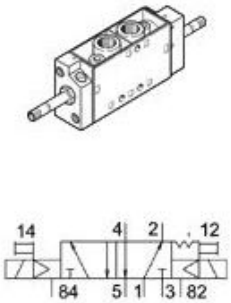

### 3.3 Especificação dos elementos necessários

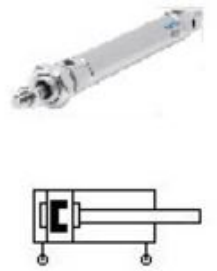

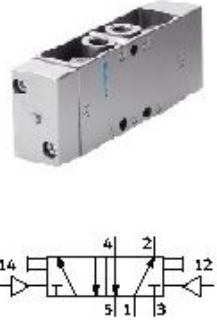
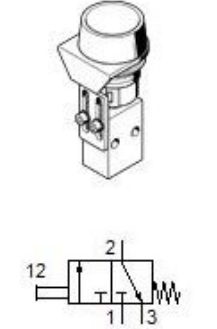
O uso de vários elementos de automação pneumáticos, hidráulicos, eletrônicos e de software, são necessários para a construção do sistema de automação projetado para a linha de produção simulada de portas automotivas, e por sua vez, que serão utilizados na construção da bancada didática e do sistema como um todo. Por conta disso, é importante realizar a especificação de cada um desses elementos, delimitando seu funcionamento, assim como suas limitações, a fim de se obter um projeto automatizado que funcione de maneira correta e obtenha dados confiáveis.


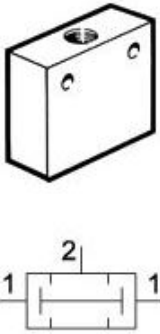

#### 3.3.1 Pneumáticos e eletropneumáticos

Entre os componentes pneumáticos e eletropneumáticos estão presentes principalmente válvulas e atuadores. A Tabela(1) descreve os diferentes elementos pneumáticos e eletropneumáticos do sistema, fabricados pela FESTO. Além dos componentes na tabela ainda constam mangueiras pneumáticas e distribuidores fixos pneumáticos, cujo quantidade ainda será definida.

Tabela 1 – Elementos pneumáticos e eletropneumáticos do sistema

Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem	Descrição
MFH-5-1/8	3		Válvula direcional 5/2 vias acionada por simples solenóide com retorno por mola
MFH-3-1/8	2		Válvula direcional 3/2 vias NF acionada por simples solenóide com retorno por mola
JMFH-5-1/8	1		Válvula direcional 5/2 vias acionada por duplo solenóide
ESNU-20-50-P-A	2		Cilindro de simples ação em aço inoxidável com retorno por mola de diâmetro de 20mm e curso de 50mm

DSNU-20-100-PPV	4		Cilindro de dupla ação em aço inoxidável com retorno por mola e amortecimento de diâmetro de 20mm e curso de 100mm
DMSP-10-250N-R M-EM	2		Atuador/ músculo pneumático de tubo flexível contrátil de diâmetro de 10mm de força de 480N à 6 bar. Carga máxima: 30 kg
JH-5-1/8	1		Válvula direcional 5/2 vias acionada por duplo piloto pneumático
T-3-M5-GR	2		Válvula direcional 3/2 vias NF acionada por botão com retorno por mola



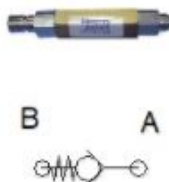
N-3-M5	1		Válvula direcional 3/2 vias NF acionada por botão basculante com trava
ZK-1/8-B	1		Válvula de simultaneidade (elemento "e")
D:S-BANCO DE ENSAIO 14024000	1		Conjunto Manipulador de 3 eixos com 3 cilindros de dupla ação, válvula geradora de vácuo e ventosa


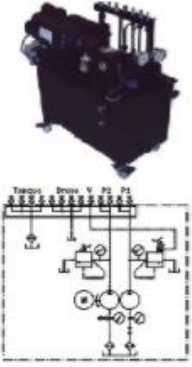




### 3.3.2 Hidráulicos e eletrohidráulicos

Entre os componentes hidráulicos e eletrohidráulicos estão presentes válvulas e cilindros, assim como a unidade geradora de pressão. A Tabela(2) descreve os diferentes elementos hidráulicos e eletrohidráulicos do sistema, fabricados pela FESTO. Além dos componentes na tabela ainda constam mangueiras hidráulicas e distribuidores fixos hidráulicos.

Tabela 2 – Elementos elementos hidráulicos e eletrohidráulicos do sistema




Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem	Descrição
12092094	1		Válvula de sequência de pressão (pré-operada) com retorno livre, faixa de ajuste: 3 a 60 bar, com dreno externo e piloto interno
12092095	1		Válvula redutora de pressão (pré-operada) com retorno livre, faixa de ajuste: 3 a 60 bar, com dreno externo e piloto interno
RV-08-01.1/0	1		Válvula de retenção simples, pressão de abertura: 3 bar



13092108	1		<p>Válvula direcional 4/2 vias acionada por simples solenóide, retorno por mola, com acionamento manual auxiliar</p>
13095076	1		<p>Unidade de acionamento hidráulico, com reservatório de 40 litros, motor elétrico de 3CV, 110/220 Vca, 60 Hz. Pressão de operação 0 a 60 bar. vazão total 12 lpm</p>
13051519	1		<p>Cilindro hidráulico de dupla ação amortecido, com diâmetro de 40mm e curso de 200mm</p>
13051541	1		<p>Cilindro hidráulico de dupla ação amortecido com diferencial de áreas de 2:1, com diâmetro de 40mm e curso de 300mm</p>

### 3.3.3 Eletrônicos e elétricos

Os componentes eletrônicos do sistema de automação proposto podem ser divididos basicamente em sensores de proximidade ou presença e CLP. Porém para o funcionamento correto desses elementos também é necessário a utilização de cabos elétricos, fonte de energia dc e relés. A tabela (3) descreve os componentes eletrônicos e elétricos necessários para o funcionamento do sistema:

Tabela 3 – Elementos elementos eletronicos e eletricos do sistema

Componente	Quantidade	Simbologia/ Imagem
Sensor de proximidade indutivo	2	
Sensor de proximidade capacitivo	2	
Sensor de proximidade óptico	3	

CLP SIEMENS SIMATIC S7-1200	1	
Placa de 3 relés auxiliares D:ER 24Vdc	1	

A Tabela (6), descreve os dados técnicos dos sensores:

Tabela 4 – Dados técnicos dos sensores de proximidade

Sensor:	Indutivo	Capacitivo	Óptico
Distância de sensorização	5 mm	50 mm	até 300 mm
Alimentação	10 a 30 Vcc	10 a 30 Vcc	10 a 30 Vcc
Frequência máxima	800 Hz	100 Hz	100 Hz
Sinal de saída	24 Vcc PNP	24 Vcc PNP	24 Vcc PNP

O **Controlador Lógico Programável (CLP)** “SIEMENS SIMATIC S7-1200” utilizado é montado sobre uma placa especial de plástico com entradas digitais PNP 24 Vdc e saídas digitais a transistor PNP com capacidade de carga de 0,5 A. Permite a conexão de cabos tipo banana através de bornes de 4mm de diâmetro, e a conexão com o PC e software controlador por meio de cabo de comunicação Ethernet. A Tabela (5) descreve os demais dados técnicos do CLP:

Tabela 5 – Dados técnicos do CLP

CLP	
Alimentação	24Vdc
Tempo de ciclo	0,1 $\mu$ s/bit;12 $\mu$ s/Word
Entradas digitais	14
Saídas digitais	10
Entradas analógicas	2 x 0-10 Vdc
Saída analógica	0-10 Vdc
Área de endereçamento	1024 bytes
Contadores	6
Serviço de comunicação integrado	TCP/IP, UDP, ISO on TCP, SNMP,NTP
Linguagem de programação	Ladder
Classe de proteção	IP20

### 3.3.4 Softwares

Na elaboração do sistema de automação da linha de produção simulada de portas automotivas será necessário a utilização de três tipos de software. O primeiro é o software controlador do CLP, neste caso o “*Totally Integrated Automation Portal V12*” (TIA V12), é nele que será realizada toda a programação em *Ladder* de instruções para o CLP. Também é responsável por realizar a comunicação do PC e outros software com o CLP e por consequência com a bancada didática. As Figuras (35) e (36) mostram um exemplos de telas de operação do TIA V12.

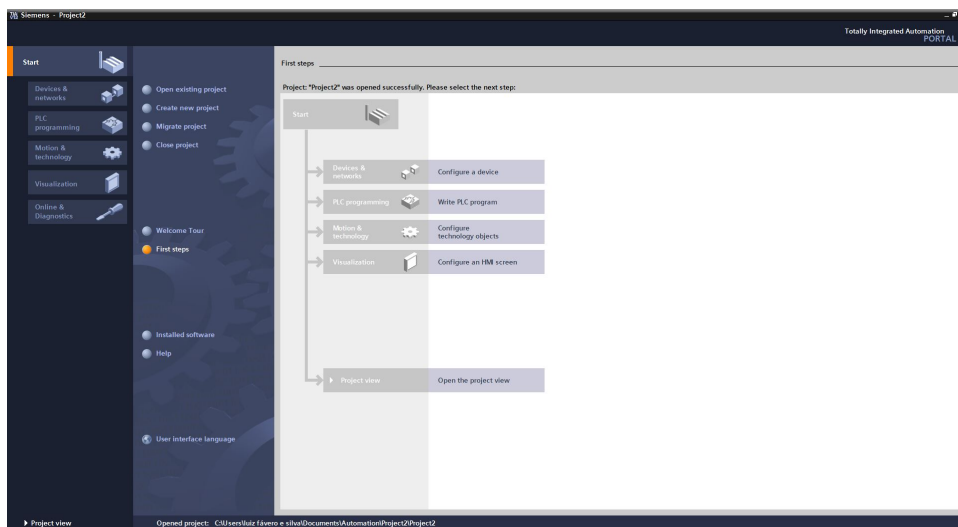


Figura 35 – Tela de gerenciamento de projetos do TIA V12

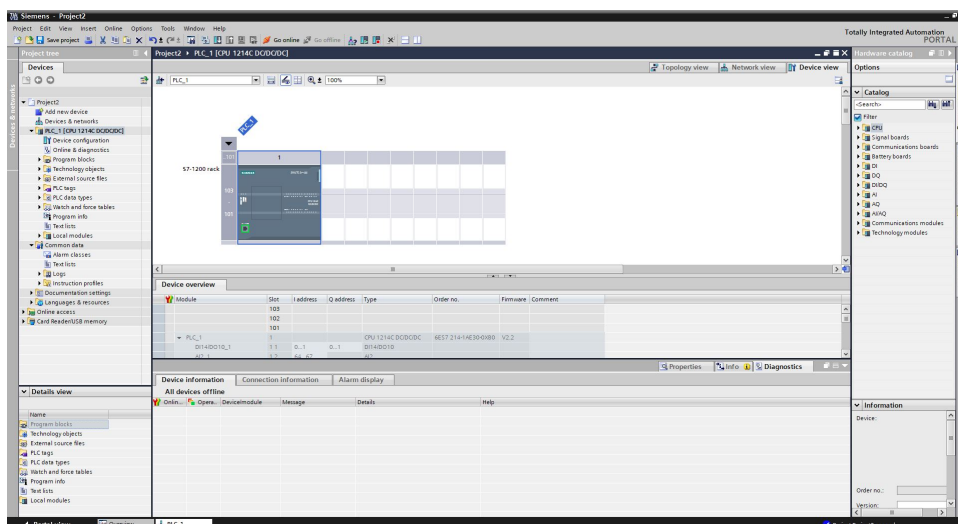


Figura 36 – Exemplo de tela de controle de CLP do TIA V12

O segundo software necessário para o sistema de automação da linha de produção simulada de portas automotivas é o software de controle supervisorio e aquisição de dados (SCADA). Existem várias opções no mercado, de diferentes fabricantes, cada um com características, aplicações e arquiteturas diferentes, como por exemplo o “SIMATIC Wincc” da SIEMENS, que vem acompanhado do TIA V12, porém o software inicialmente escolhido é o “**Elipse E3**”, software brasileiro, que apresenta fácil configuração de uso e acesso à suporte em português, além de permitir o seu funcionamento com poucas restrições em versão demo. O Elipse E3 é uma plataforma HMI/SCADA para aplicações industriais avançadas. Através do componente gráfico e de configuração do sistema do software Elipse E3, o *E3 Studio*, será desenvolvido a simulação da linha de produção portas automotivas. e seu ambiente de visualização, o *E3 Viewer* permitirá o monitoramento remoto dos processos realizados pela bancada. O *E3 Server* é o responsável pela comunicação da simulação com o resto do sistema , inclusive com o software de controle do CLP. A Figura (37) mostra um exemplo de tela de operação do software Elipse E3.

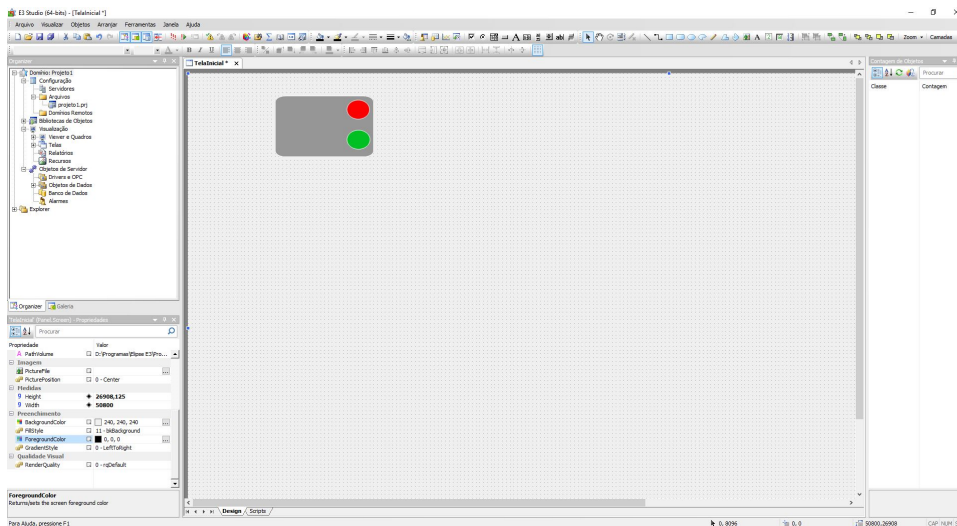


Figura 37 – Exemplo de tela de operação do Elipse E3 *Studio*

O último software necessário para o sistema de automação da linha de produção simulada de portas automotivas é o software de simulação “**FluidSIM**” da FESTO. O FluidSIM permite a criação, simulação e estudo compreensivo de circuitos pneumáticos, hidráulicos, assim como eletropneumáticos, eletrohidráulicos e eletrônicos. Possui uma biblioteca extensa de componentes pneumáticos, hidráulicos e eletrônicos, permitindo a criação e fácil integração e visualização de circuitos complexos.



Figura 38 – FluidSIM 4

Neste trabalho o FluidSIM 4, Fig. (38), é utilizado como ambiente de desenvolvimento e simulação do projeto de automação da linha de produção simulada de portas automotivas. É importante notar que ao contrário da versão 5, a versão 4 do FluidSIM separa em diferentes ambientes a simulação de elementos pneumáticos e hidráulicos, impossibilitando a simulação fiel da bancada didática proposta. A Figura (39) mostra um exemplo de tela de simulação do software:

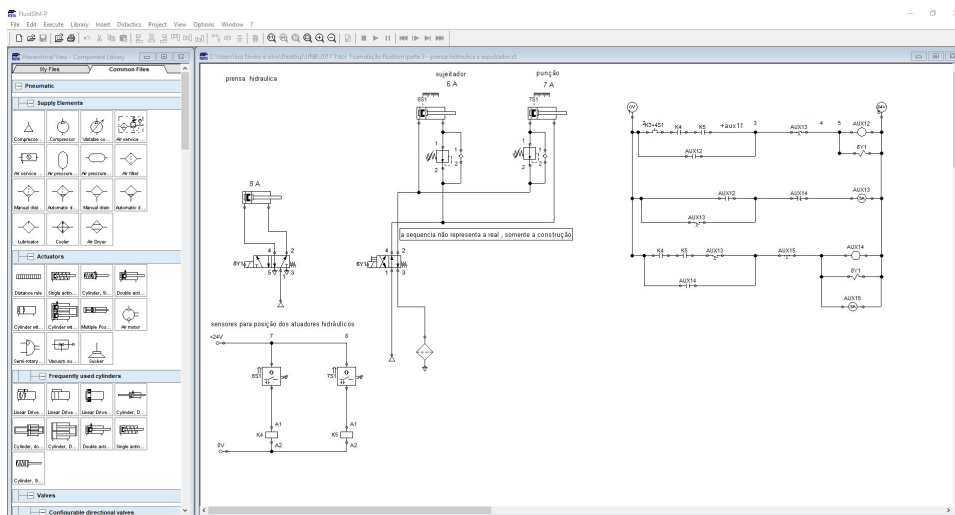


Figura 39 – Exemplo da tela de simulação do FluidSIM 4





## 4 Desenvolvimento do projeto

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é o desenvolvimento de um projeto de automação e controle de uma linha de produção simulada de portas automotivas. O projeto deve ser elaborado de forma que atenda os requisitos propostos, enquanto que ao mesmo tempo permaneça dentro das limitações, decorrentes dos equipamentos disponíveis, que serão utilizados no sistema da bancada didática e do sistema de controle e monitoramento.

A fim de se alcançar o objetivo proposto foi projetado um sistema de automação com componentes pneumáticos, hidráulicos e eletrônicos, utilizando o software FluidSIM 4. Em seguida, utilizando o mesmo software, foi desenvolvido a linguagem de programação em Ladder, que posteriormente foi transferida ao software de controle do CLP, o TIA V12. A linguagem *Ladder* desenvolvida será utilizada pelo CLP para controle das sequências e processos do sistema.

O FluidSIM utiliza para suas simulações de circuitos elétricos, hidráulicos e pneumáticos uma simbologia padronizada para a representação de seus elementos. A simbologia é definida pelas normas ANSI y32.10 e DIN/ISO 1929 [20, 17].

### 4.1 Circuitos FLUIDSIM

Para facilitar o desenvolvimento do projeto de automação da linha de produção simulada como um todo, o fluxo produtivo de portas automotivas foi dividido em 5 partes:

1. Esteiras de transporte;
2. Manipulador cartesiano;
3. Prensa hidráulica e expulsador;
4. Prensa pneumática;
5. Estação de soldagem;

Ao término da elaboração dos circuitos pneumáticos e hidráulicos de cada parte, foi realizada a junção de todas as partes, realizando as adaptações necessárias, resultando no circuito completo de automação da linha de produção simulada.

### 4.1.1 Esteiras de transporte

A primeira parte do processo produtivo consiste de um sistema relativamente simples, composto por dois atuadores cilíndricos de simples ação, dois sensores de proximidade, válvulas direcionais pneumáticas, relés e por uma esteira roletada de movimentação, pela qual as chapas metálicas planas irão se movimentar da região próxima ao estoque para a região próxima da prensa hidráulica. A Figura (40) mostra o circuito elaborado:

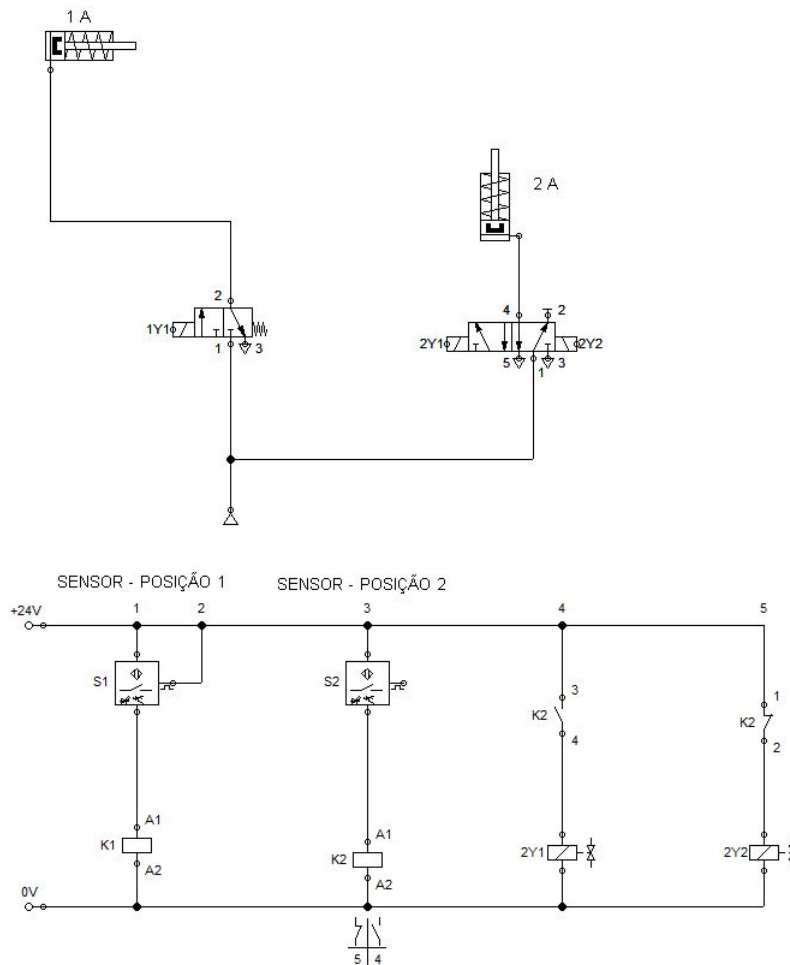


Figura 40 – Estrutura do circuito das esteiras de transporte

O início da movimentação se dá com a ativação do primeiro cilindro atuador (1A), a partir do acionamento do usuário e a do sinal de presença da chapa metálica, enviado pelo primeiro sensor de proximidade (S1). A chapa metálica em movimento, e ao passar pelo segundo sensor de proximidade (S2), o segundo atuador cilíndrico (2A) é ativado, dando término ao movimento e à etapa de transporte. É importante notar que os sensores do projeto estão sempre associados à relés, a fim de proteger o sensor em caso de falhas elétricas.

### 4.1.2 Manipulador cartesiano pneumático

Nesta etapa foi desenvolvido um sistema de posicionamento de material com o uso do manipulador pneumático de três eixos disponível no laboratório. O sistema é constituído por três atuadores cilíndricos pneumáticos sem haste, onde cada um realiza o movimento em um dos eixos de um sistema cartesiano (x,y,z). Cada um dos cilindros possui dois sensores de posição montados em suas extremidades. O sistema é completado por uma válvula geradora de vácuo, uma ventosa de 25mm de diâmetro, um sensor de vácuo (VAC) e um sensor de posição (S3). A Figura (41) indica o circuito elaborado:

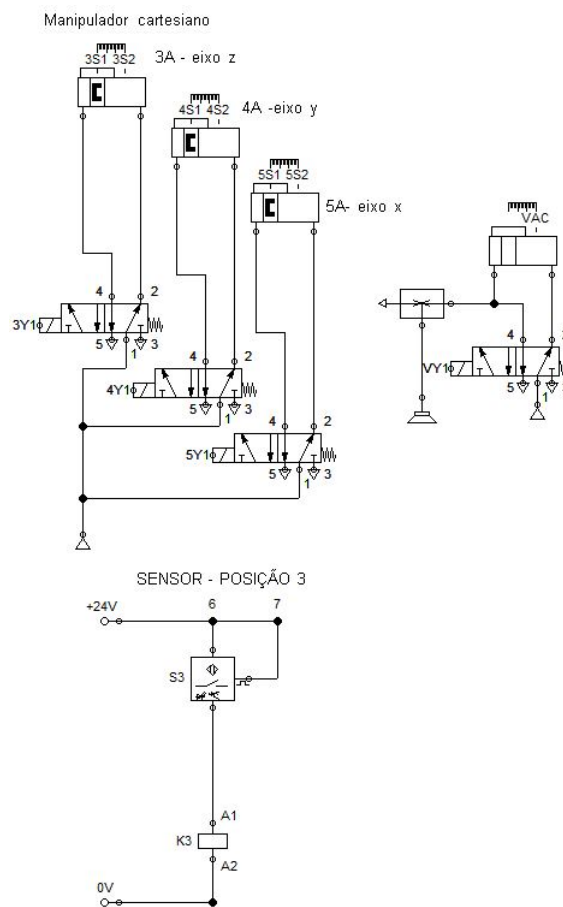


Figura 41 – Estrutura do circuito do manipulador cartesiano

Ao receber o sinal do sensor de proximidade S2, o manipulador é ativado, iniciando o movimento dos atuadores 3A, 4A e 5A. A ventosa alcança a posição da chapa metálica plana e é iniciado o gerador de vácuo que permite a movimentação da chapa até a posição desejada. Os atuadores cilíndricos entram em movimento novamente posicionando com precisão a chapa metálica na prensa hidráulica. O sensor de proximidade S3 é ativado indicando à prensa que a chapa está na posição correta.

### 4.1.3 Prensa hidráulica e expulsador

Fisicamente esta etapa consiste de dois sistemas, o sistema da prensa, composto por dois atuadores hidráulicos, controlado por válvulas hidráulicas, e o sistema do expulsador, composto por um atuador pneumático e válvulas pneumáticas. Por conta da limitação de uso do FluidSIM versão 4, a simulação destes dois sistemas em um mesmo ambiente do foi impossibilitada, somente a partir da versão 5 do FluidSIM, que foi permitido a elaboração de sistemas híbridos, com pneumática e hidráulica em um mesmo ambiente. Sendo assim, foi desenvolvido inicialmente um circuito hidráulico no ambiente de simulação hidráulica do FluidSIM 4, mostrado na Fig. (42).

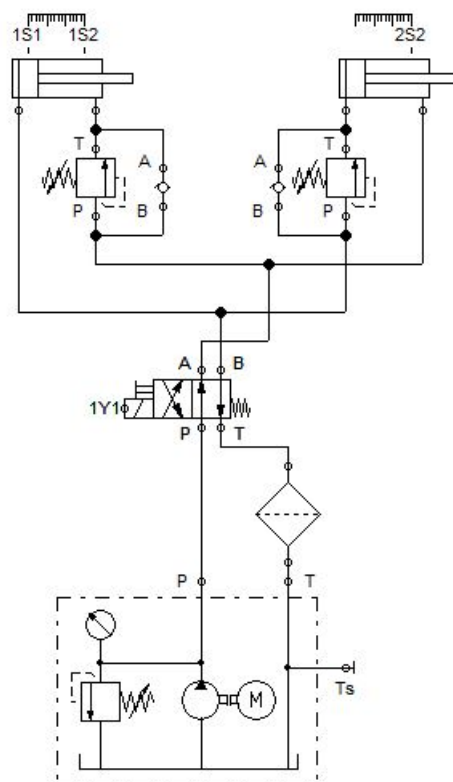


Figura 42 – Circuito hidráulico da prensa

Em seguida foi desenvolvido um circuito pneumático, em conjunto com o circuito do expulsor, que representa da maneira mais próxima possível a construção do circuito hidráulico real, porém não consegue representar a sequência real de movimentos dos atuadores. A Figura (43) demonstra a construção do circuito pneumático que representa o circuito hidráulico e o circuito pneumático do expulsor.

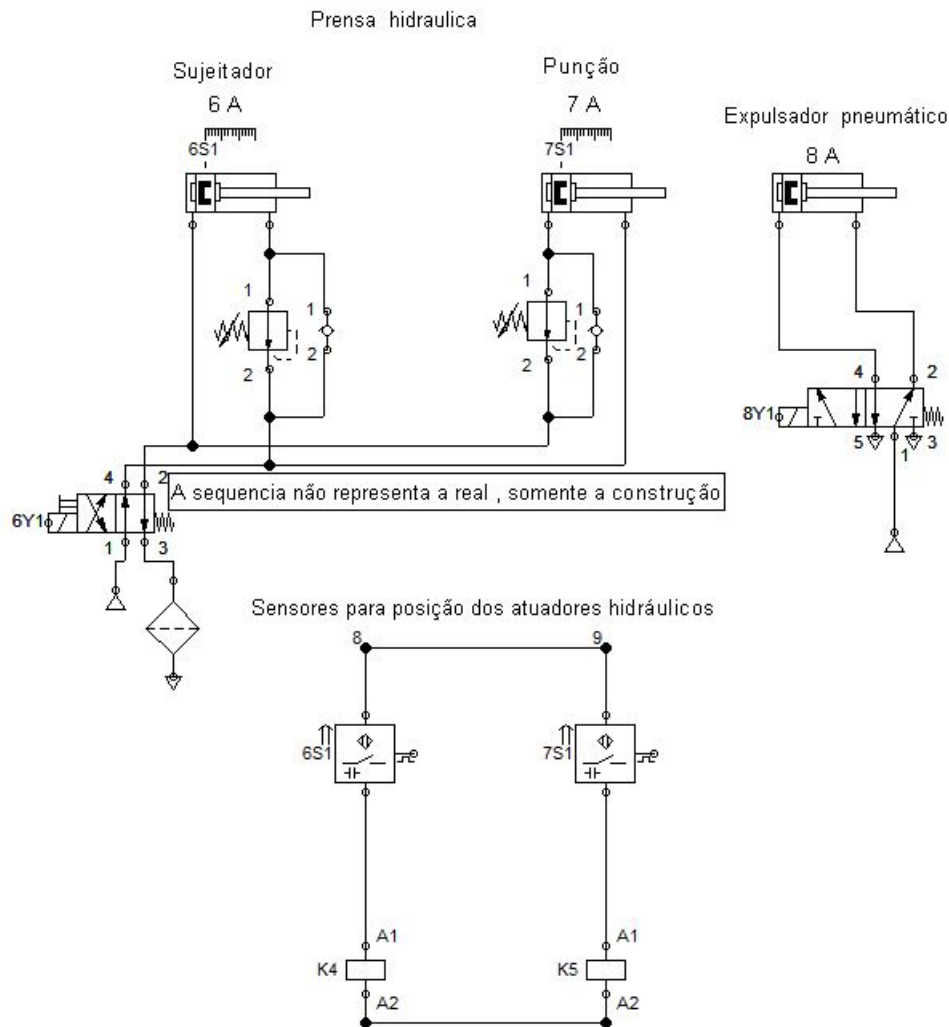


Figura 43 – Circuito pneumático da prensa e expulsor

Após o recebimento do sinal do sensor de proximidade S3, o atuador da prensa hidráulica que representa o sujeitador (6A), é ativado, travando e mantendo a pressão sobre a chapa metálica até o fim do processo. O atuador da prensa hidráulica que representa o punção (7A) é então ativado causando a conformação da chapa metálica. Ao fim da prensagem, o atuador cilíndrico pneumático 8A é ativado expulsando a chapa conformada da prensa, causando sua movimentação até a prensa de corte pneumática. Os sensores de proximidade 6S1 e 7S1 permitem ao sistema a identificação de que os atuadores cilíndricos hidráulicos estão recuados, evitando assim, colisões com o manipulador cartesiano.

#### 4.1.4 Prensa pneumática de corte

Esta etapa consiste no desenvolvimento do sistema automatizado de uma prensa pneumática para o corte dos excesso da chapa conformada, resultantes do processo de estampagem profunda. O sistema é de construção simples, composto por um atuador cilíndrico pneumático de dupla ação, uma válvula pneumática e dois sensores de proximidade. Devido à limitação de 10 saídas do CLP, e a similaridade com o circuito pneumático do expulsador, foi necessário determinar que a construção física na bancada didática destes dois sistema será a mesma, ou seja, os atuadores 8A e 9A são fisicamente o mesmo atuador na bancada. A Figura (44) mostra o circuito pneumático elaborado.

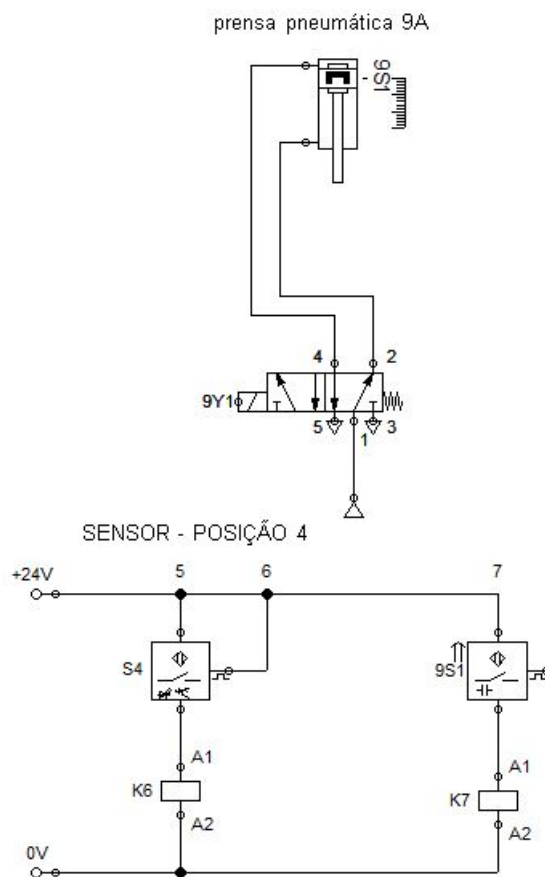


Figura 44 – Circuito da prensa pneumática de corte

Com o recebimento do sinal do sensor de posição S4, o atuador pneumático cilíndrico 9A é ativado, realizando o corte dos excessos da chapa metálica conformada. O sensor 9S1, indica ao sistema que a prensa está retraída e livre para o recebimento de uma chapa conformada.

### 4.1.5 Estação de soldagem por pontos

A última etapa do sistema consiste de dois processos. O primeiro é o travamento da chapa na estação de solda através de um circuito puramente pneumático, composto por um atuador cilíndrico pneumático de dupla ação, uma válvula direcional pneumática, uma válvula de simultaneidade e 3 válvulas com acionamento por botão, sendo um deles com trava. Este circuito foi elaborado com a intenção de demonstrar sistemas de segurança presentes na indústria, onde é necessário que o operador utilize as duas mãos simultaneamente para iniciar um processo, garantindo que elas não estarão no caminho do atuador pneumático. A Figura (45) mostra o circuito pneumático de travamento da estação de solda.

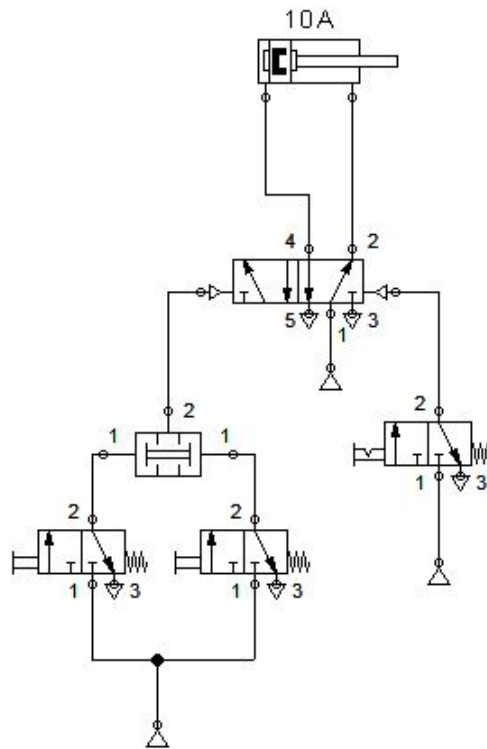


Figura 45 – Circuito puramente pneumático do sistema de trava

O segundo processo consiste em um sistema que representa o funcionamento de um braço robótico pneumático, muito utilizado na indústria automotiva em operações como a soldagem por pontos (*Spot Welding*). é composto por um atuador pneumático de tubo flexível contrátil, um atuador cilíndrico de dupla ação e duas válvulas pneumáticas. Este sistema será construído em uma estrutura na bancada que irá imitar o funcionamento, de maneira simplificada e didática, de um braço robótico. A Figura (46) mostra o circuito desenvolvido.

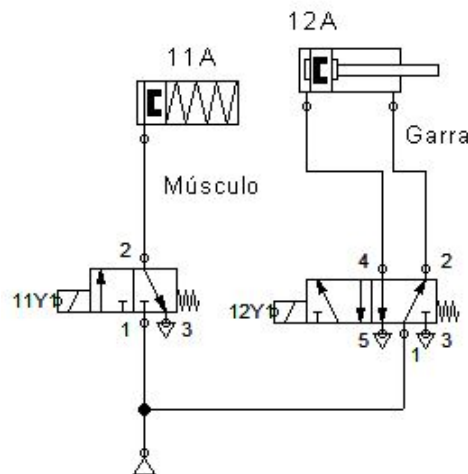


Figura 46 – Circuito pneumático do braço robótico de solda

Ao retirar a chapa finalizada da prensa de corte, o operador à transporta até a estação de solda e posiciona as múltiplas chapas em um gabarito. O operador realiza o travamento das chapas na estação de solda ao acionar o atuador 10A. Então, através da estação de controle HMI, o operador inicia o funcionamento do braço robótico, ocasionando então no acionamento do músculo pneumático 11A e do atuador 12A que controla a abertura e o fechamento da garra mecânica do braço robótico.

#### 4.1.6 Circuito Pneumático completo

A Figura (47) mostra o circuito pneumático que representa a união de todas as etapas do processo automatizado:



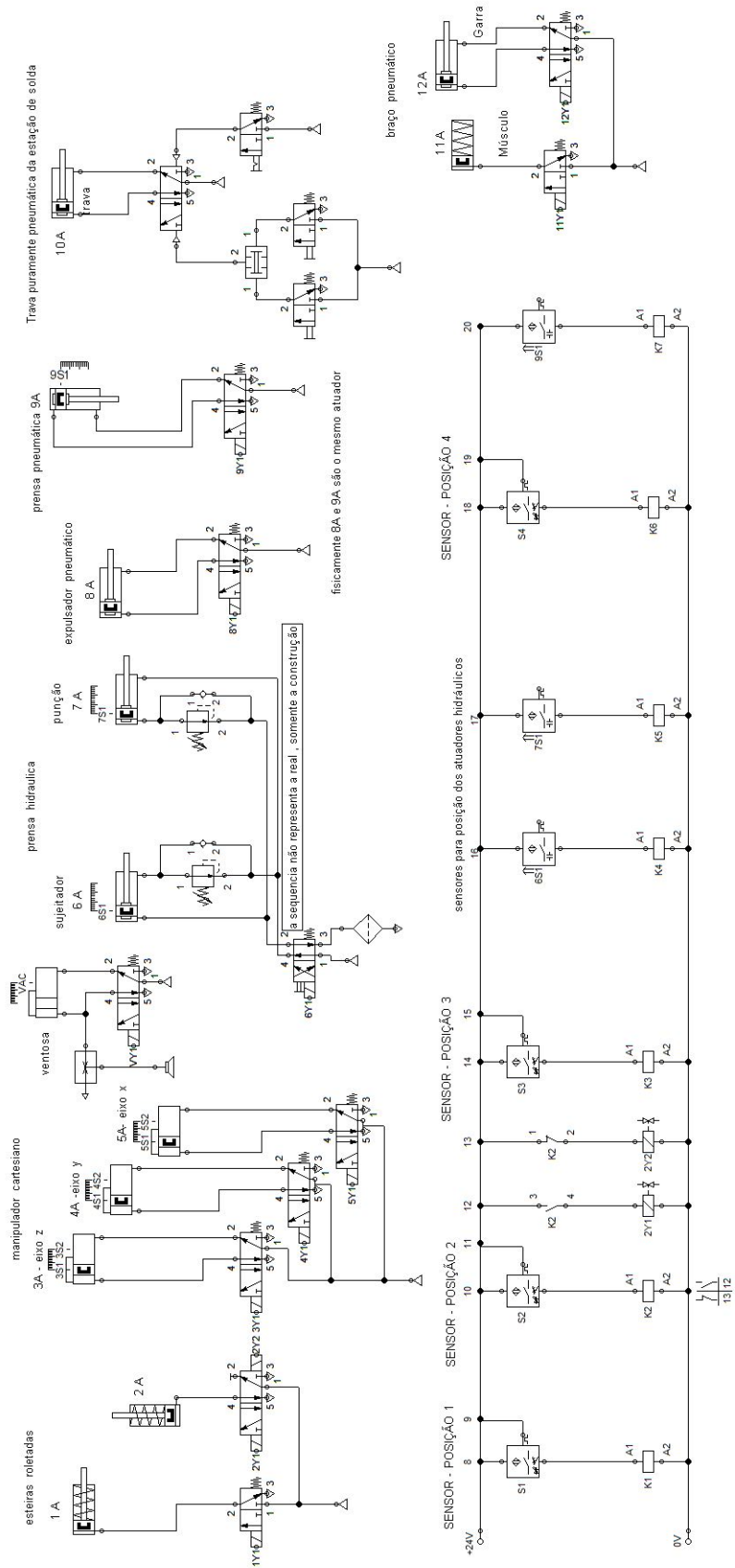


Figura 47 – Circuito pneumático completo

## 4.2 Programação em Ladder

A programação em *Ladder* projetada no ambiente FluidSIM, define as sequências de operações do sistema. Podemos representar uma sequência utilizando um método de representação padronizado, como o seguinte: 1A+ / 2A+(2s) /1A- /2A-. Neste tipo de representação o número seguido da letra “A”, corresponde ao atuador de mesmo nome, enquanto que o sinal de “positivo” indica que o atuador foi acionado e o sinal de “negativo” indica que o atuador foi desligado. O número entre parênteses representa uma ação temporizada. A sequência representada determina diretamente a sequência de movimentos dos atuadores na bancada.

Seguindo a mesma divisão do fluxo produtivo de portas em cinco etapas, foi realizada a programação em *Ladder* das sequências desejadas.

### 4.2.1 Esteiras de transporte

A sequência desejada para a realização das operações é: 1A+ / 1A- /2A+ /2A-. A Figura (48) mostra o programa em *Ladder* desenvolvido.

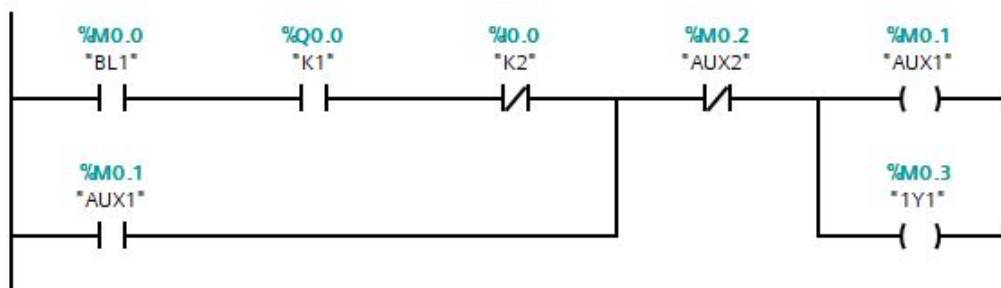


Figura 48 – Programação *Ladder* das esteiras

### 4.2.2 Manipulador cartesiano

A partir da sequência desejada: 3A+ /VAC+ /3A- /4A+ /5A+ /3A+ /VAC- /3A- /5A- /4A-, foi desenvolvido a programação dos movimentos do manipulador cartesiano. A Figura (49) mostra o programa em *Ladder* desenvolvido.

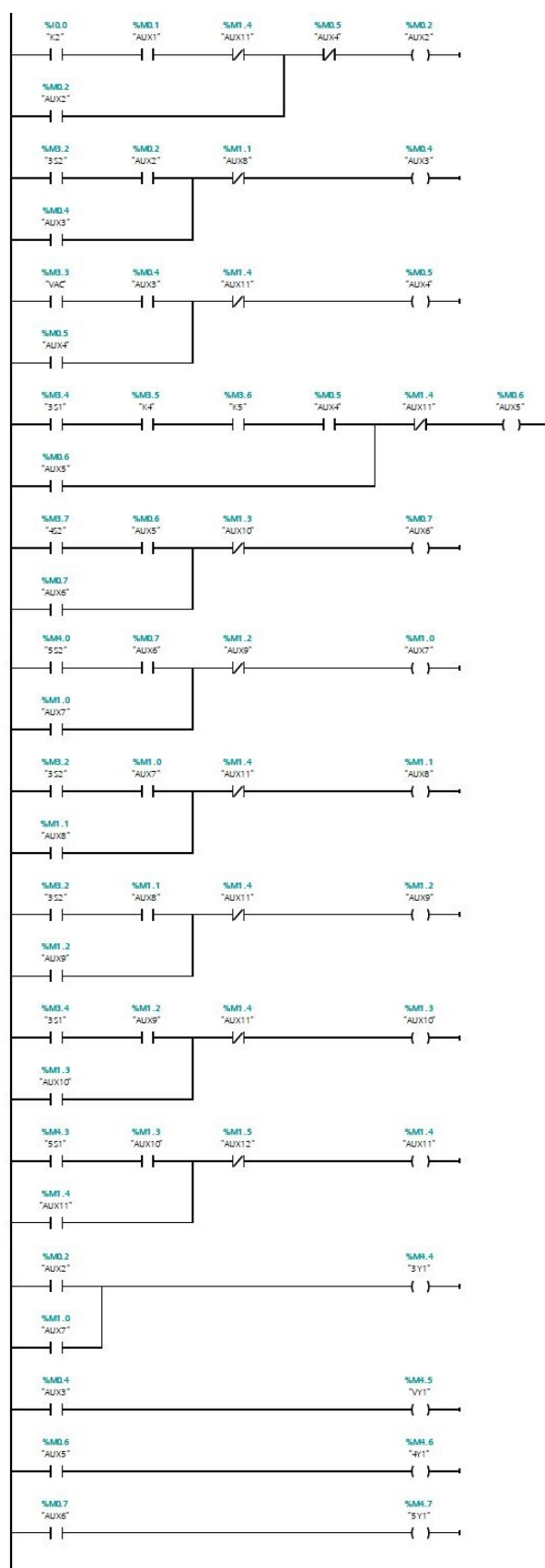


Figura 49 – Programação Ladder do manipulador

### 4.2.3 Prensa hidráulica e expulsador

A sequência desejada para a realização das operações é: 6A+ / 7A+(5s) / 7A- / 6A- / 8A+ / 8A- . A Figura (50) mostra o programa em *Ladder* desenvolvido.

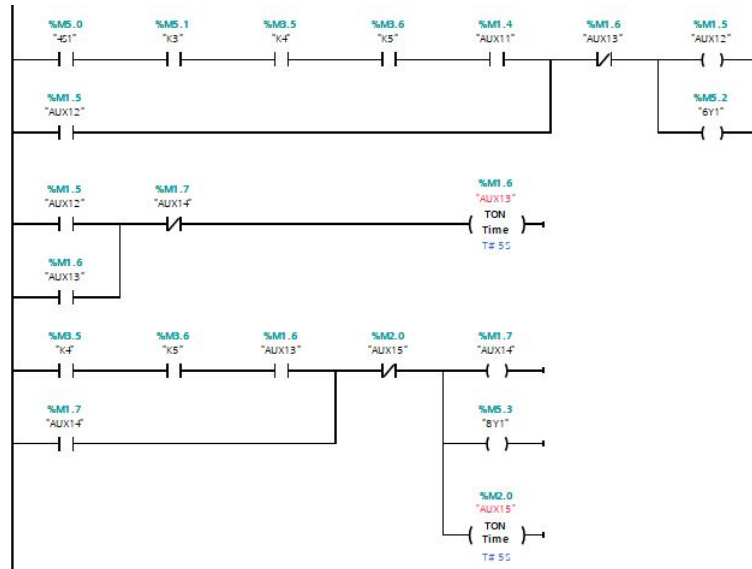


Figura 50 – Programação *Ladder* da prensa hidráulica e expulsador

### 4.2.4 Prensa pneumática de corte

A sequência desejada para a realização das operações da prensa de corte é: 9A+(2s) / 9A-(2s). A Figura (51) mostra o programa em *Ladder* desenvolvido.

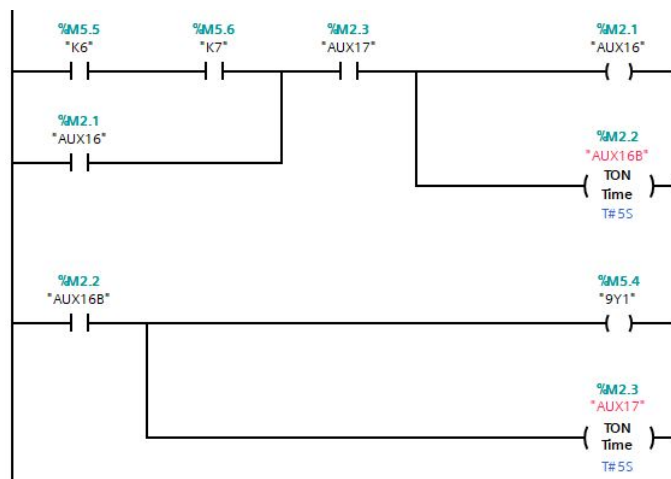


Figura 51 – Programação *Ladder* da prensa pneumática de corte

### 4.2.5 Estação de soldagem

A sequência desejada para a realização das operações da estação de soldagem é: 10A+ /11A+(5s) /12A+(5s) /12A-(5s) /11A-(5s) /10A+. A Figura (52) mostra o programa em *Ladder* desenvolvido.

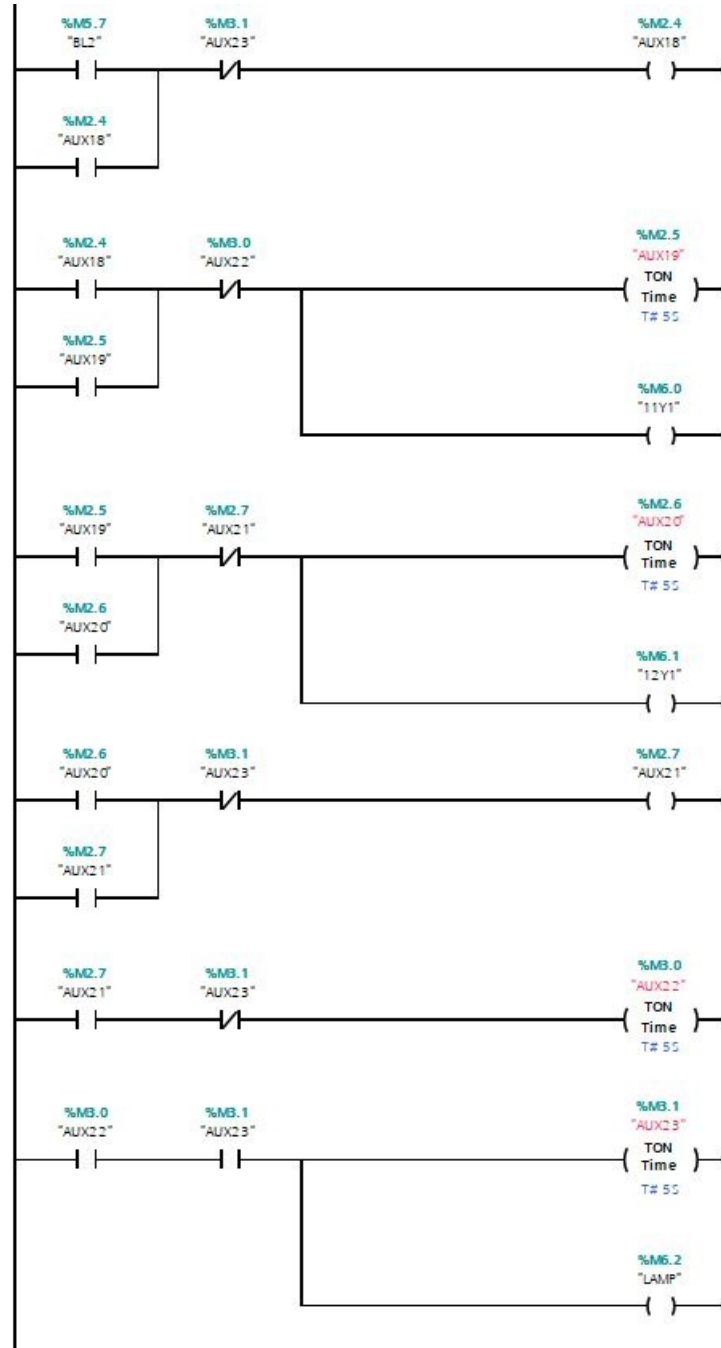


Figura 52 – Programação *Ladder* do braço robótico de soldagem

### 4.3 Cronograma de atividades do projeto

Na Tabela (6), está descrito o cronograma das atividades realizadas durante o TCC 1:

Tabela 6 – Cronograma de atividades realizadas no TCC 1

2017	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado	Domingo
Março	27	28	29	30	31		
	Definição do título inscrição no TCC 1						
Abril						1	2
	3	4	5	6	7	8	9
	identificação do Fluxo produtivo	identificação do Fluxo produtivo	identificação do Fluxo produtivo	identificação do Fluxo produtivo	identificação do Fluxo produtivo		
	10	11	12	13	14	15	16
		Mapeamento do processo do sistema de automação	Mapeamento do processo do sistema de automação	Mapeamento do processo do sistema de automação	Mapeamento do processo do sistema de automação		
	17	18	19	20	21	22	23
		Identificação dos elementos e equipamentos		Identificação dos elementos e equipamentos			
	24	25	26	27	28	29	30
		Especificação dos elementos e equipamentos		Projeto do sistema de automação	Projeto do sistema de automação		
	Maio	1	2	3	4	5	6
Projeto do sistema de automação		Projeto do sistema de automação	Projeto do sistema de automação	Projeto do sistema de automação	Projeto do sistema de automação		
8		9	10	11	12	13	14
		Progamação em Ladder do CLP	Progamação em Ladder do CLP	Progamação em Ladder do CLP	Progamação em Ladder do CLP	Progamação em Ladder do CLP	
15		16	17	18	19	20	21
		Progamação em Ladder do CLP		Progamação em Ladder do CLP	Início da elaboração do texto		
22		23	24	25	26	27	28
		Elaboração do texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto		
29	30	31					
Junho							
				Elaboração do texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto
	5	6	7	8	9	10	11
	Elaboração do texto	Primeira revisão De texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto	Elaboração do texto
	12	13	14	15	16	17	18
	Elaboração do texto	Elaboração do texto	Finalização do texto				Envio do relatório TCC1
	19	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29	30		
Julho						1	2
	3	4	5	6	7		
					Fim do semestre		

Na Tabela (7), está descrito o cronograma das atividades previstas para o TCC 2:

Tabela 7 – Cronograma de atividades previstas do TCC 2

2017	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sabado	Domingo
Agosto	7	8	9	10	11	12	13
	Início do semestre						
	14	15	16	17	18	19	20
	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1		
	21	22	23	24	25	26	27
	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1	Revisão do TCC1		
	28	29	30	31			
Setembro					1	2	3
					Revisão do TCC1		
	4	5	6	7	8	9	10
	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA		
	11	12	13	14	15	16	17
	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA	Projeto do sistema SCADA		
	18	19	20	21	22	23	24
Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP			
25	26	27	28	29	30		
Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP	Implementação comunicação SCADA-CLP	Início da elaboração do texto		
Outubro							1
	2	3	4	5	6	7	8
	Projeto da bancada didática	Projeto da bancada didática	Projeto da bancada didática	Projeto da bancada didática	Projeto da bancada didática		
	9	10	11	12	13	14	15
	Construção da bancada didática	Construção da bancada didática	Construção da bancada didática	Construção da bancada didática	Construção da bancada didática		
	16	17	18	19	20	21	22
Construção da bancada didática	Construção da bancada didática	Construção da bancada didática	Construção da bancada didática	Construção da bancada didática			
23	24	25	26	27	28	29	
Integração e teste da bancada didática	Integração e teste da bancada didática	Integração e teste da bancada didática	Integração e teste da bancada didática	Integração e teste da bancada didática			
30	31						
Integração e teste da bancada didática	Integração e teste da bancada didática						
Novembro			1	2	3	4	5
			Integração e teste da bancada didática	Integração e teste da bancada didática	Integração e teste da bancada didática		
	6	7	8	9	10	11	12
	Análise de resultados	Análise de resultados	Análise de resultados	Análise de resultados	Análise de resultados	Análise de resultados	Finalização do texto de TCC2
	13	14	15	16	17	18	19
							Previsão de env De relatório TCC2
	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30				
Dezembro					1	2	3
	4	5	6	7	8		
				Fim do semestre			





## 5 Conclusão

A automação de processos, pode ser realizada em quase todo tipo de indústrias, trazendo à empresa benefícios produtivos e por sua vez econômicos. A automação surgiu na indústria automotiva, e desde o início da necessidade de produção em massa, tem um papel de peso nesta indústria, que por sua vez, é a que mais investe em tecnologias de automação, e em profissionais capazes nesta área. A fim de se realizar um bom projeto de automação, são necessários vários conhecimentos sobre este amplo tema, envolvendo desde conceitos sobre sistemas de automação, sua funcionalidade, arquitetura e componentes, à conceitos relacionados ao entendimento profundo da estrutura e do fluxo produtivo da empresa que busca a implementação de um projeto de um automação.

A partir de uma simulação de uma linha de produção de portas automotivas, elaborada com base em um sistema que envolve componentes de automação eletrônicos, pneumáticos, hidráulicos e de software, é possível o desenvolvimento de um sistema de automação complexo, porém didático. Conseqüentemente, este sistema didático será então construído, com base nos conhecimentos apresentados e na continuidade dos projetos elaborados neste trabalho de conclusão de curso.



# Referências

- 1 *Automação na indústria automotiva*. Disponível em: <<http://konspekta.net/doclecturenet/baza1/1673489128019.files/image012.png>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 17.
- 2 *Linha de produção automotiva arcaica da Ford*. Disponível em: <<http://2.bp.blogspot.com/-4kQP7K2reJ8/U6Qmdd7wIsI/AAAAAAAAAHa0/CCebfiBVenU/s1600/ass+ford+guys.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 21.
- 3 *Exemplo de Powertrain*. Disponível em: <<http://www.automotiveworld.com/wp-content/uploads/2014/05/New-integrated-Detroit-Powertrain.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 22.
- 4 *Exemplo de porta metálica automotiva*. Disponível em: <<http://fq2.proenergo.ru/img/control/E376.gif>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 24.
- 5 *Estrutura BiW*. Disponível em: <<https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/sketches/pics/2304/thumb.jpg?1340691798>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 24.
- 6 *Exemplo de prensa hidráulica de estampagem*. Disponível em: <<http://images.nei.com.br/Asset/lx/prensa-hidraulica-4-colunas.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 25.
- 7 *Exemplo de braço robótico*. Disponível em: <<http://ming3d.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/09/spot-welding.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 28.
- 8 *Exemplo de automação industrial*. Disponível em: <<http://yukon.net.br/wp-content/uploads/2016/04/porque-o-brasil-parou-de-investir-em-automacao-industrial-2016-645x430.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 29.
- 9 *Pirâmide da automação industrial*. Disponível em: <<http://d705243685.tecla337.tecla.com.br/images/blog/piramide.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 30.
- 10 *Sensor de proximidade*. Disponível em: <<http://www.kiowa.co.uk/SupplyImages/WF00017/64326483264.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 30.
- 11 *Exemplo de workstation industrial*. Disponível em: <<http://www.strong-hold.com/images/products/industrial-computer-workstation-with-welded-desk-top.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 31.
- 12 *Exemplo de workstation de gerenciamento de planta*. Disponível em: <<https://s-media-cacheak0.pinimg.com/originals/ad/bb/ad/adbbad6c5ec7a02939bf620ba3e40bce.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 32.
- 13 *Exemplo de mainframe*. Disponível em: <<http://blog.syncsort.com/wpcontent/uploads/Syncsortmainframeoffload.png>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 32.
- 14 *Linha de produção automotiva automatizada*. Disponível em: <<http://cdn.bmwblog.com/wp-content/uploads/bmw-spartanburg-plant-12.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 33.

- 15 *CLP Siemens Simatic S7*. Disponível em: <<http://www.selzbusinesshouse.com/images/iautomation/s7-1200.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 38.
- 16 SIEMENS. *Basics of PLCs*. [S.l.], 1999. Citado 3 vezes nas páginas 9, 38 e 39.
- 17 FIALHO, A. B. *Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. [S.l.]: Érica, 2004. Citado 10 vezes nas páginas 9, 17, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41 e 63.
- 18 GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. [S.l.]: Prentice Hall, 2000. Citado 9 vezes nas páginas 17, 18, 28, 30, 33, 38, 39, 40 e 43.
- 19 PESSOA, M.; SPINOLA, M. *Introdução à Automação para Cursos de Engenharia e Gestão*. [S.l.]: Elsevier Editora Ltda, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 17, 28, 29, 38 e 39.
- 20 FIALHO, A. B. *Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. [S.l.]: Érica, 2004. Citado 7 vezes nas páginas 17, 34, 35, 36, 37, 44 e 63.
- 21 NIEUWENHUIS, P.; WELLS, P. (Ed.). *The Global Automotive Industry*. [S.l.]: Wiley, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 18, 21 e 33.
- 22 OMAR, M. A. *The Automotive Body Manufacturing Systems and Proceses*. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd., 2011. Citado 9 vezes nas páginas 18, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28 e 43.
- 23 GEELS, F. W.; KEMP, R. et al. *Automobility in Transition: A Socio-Technical Analisis of Sustainable Transport*. [S.l.]: Routledge, 2011. Citado na página 21.
- 24 CHIABERGE, M. *New Trends and Developments in Automotive Industry*. [S.l.]: InTech, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.
- 25 MAO, T.; ALTAN, T. Aluminum sheet forming for automotive applications, part i: Material properties and design guidelines. *STAMPING JOURNAL*, 2013. Citado na página 25.
- 26 CHIAVERINI, V. *Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento Vol. II*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1986. Citado 4 vezes nas páginas 25, 26, 27 e 28.
- 27 FILHO, E. B.; SILVA, I. B. da et al. *Conformação Plástica dos Metaís*. [S.l.]: EPUPSP, 2011. Citado na página 26.
- 28 BERTAGNOLLI, D.; RIZZOTO, F. et al. As relações de trabalho e a automação industrial: reflexões sobre os aspectos históricos, econômicos, conceituais e sociais. *Justiça do Direito*, 2010. Citado na página 28.
- 29 RIBEIRO, M. A. *Automação Industrial*. [S.l.]: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999. Citado na página 29.
- 30 CARVALHO, P. C. Arquiteturas de sistemas de automação industrial utilizando clps. *Mecatrônica Atual*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 33.
- 31 BRANQUINHO, M. A.; SEIDL, J. et al. *Segurança de Automação Industrial e SCADA*. [S.l.]: Elsevier Editora Ltda., 2014. Citado 2 vezes nas páginas 41 e 42.