



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

**Projeto de automação CLP-SCADA de uma
linha de produção simulada de portas
automotivas**

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

Brasília, DF
2017



Luiz Fávero e Silva

**Projeto de automação CLP-SCADA de uma linha de
produção simulada de portas automotivas**

Monografia submetida ao curso de graduação
em Engenharia Automotiva da Universidade
de Brasília, como requisito parcial para ob-
tenção do Título de Bacharel em Engenharia
Automotiva .

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Dr. André Murilo de Almeida Pinto.

Brasília, DF

2017

Luiz Fávero e Silva

Projeto de automação CLP-SCADA de uma linha de produção simulada de portas automotivas/ Luiz Fávero e Silva. – Brasília, DF, 2017-
117 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Dr. André Murilo de Almeida 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 Almeida Pinto.. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Projeto de automação CLP-SCADA de uma linha de produção simulada de portas automotivas

CDU 02:141:005.6

Luiz Fávero e Silva

Projeto de automação CLP-SCADA de uma linha de produção simulada de portas automotivas

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

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 12 de dezembro:

Dr. André Murilo de Almeida Pinto.
Orientador

Dr. Evandro Leonardo Silva Teixeira
Convidado 1

Dr. Mario de Oliveira Andrade
Convidado 2

Brasília, DF
2017

Agradecimentos

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que proporcionaram um ambiente criativo que incentiva à busca pelo conhecimento.

Ao meu orientador, Dr. André Murilo de Almeida Pinto, pela orientação, apoio e confiança no desafio da elaboração deste trabalho.

Aos meus pais Elzânia e Marco, pelo apoio, incentivo e amor incondicional em toda minha vida.

A todos amigos e colegas que estiveram ao meu lado, pelo companheirismo, tanto nas horas de estudo quanto nos momentos de diversão.

*If you no longer go for a gap that exists,
you are no longer a racing driver.
(Ayrton Senna)*

Resumo

A automação industrial 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, a indústria automotiva e a produção de portas automotivas, além disso, são abordados sensores, atuadores, Controladores Lógico Programáveis (CLP's) e software de supervisão e controle (SCADA). Por último, são definidos os requisitos de projeto necessários para a elaboração do sistema de automação, assim como é detalhado o desenvolvimento do sistema proposto.

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

Abstract

Industrial automation has emerged as a way to improve productivity and process efficiency, by reducing the need for human action in them. In this paper a bibliographical review is carried out, in which all the subjects necessary for a good understanding of automation, the automotive industry and the production of automotive doors are discussed, in addition, sensors, actuators, Programmable Logic Controllers (PLC's) and supervisory control and data acquisition (SCADA) softwares. Finally, the necessary design requirements for the elaboration of the automation system are defined, as well as the development of the proposed system is detailed.

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

Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de linha de produção automotiva atual [1]	23
Figura 2 – Logo do laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos	24
Figura 3 – Antiga linha de produção automotiva da Ford [2]	27
Figura 4 – Exemplo de <i>Powertrain</i> [3]	29
Figura 5 – Divisão da manufatura na indústria automotiva	30
Figura 6 – Processos presentes na indústria automotiva	30
Figura 7 – Exemplo de porta metálica automotiva [4]	31
Figura 8 – Estrutura BiW [5]	31
Figura 9 – Exemplo de prensa hidráulica de estampagem [6]	32
Figura 10 – Estrutura de prensa de estampagem profunda	33
Figura 11 – Etapas da soldagem por pontos	34
Figura 12 – Exemplo de braço robótico [7]	35
Figura 13 – Exemplo de automação na indústria [8]	36
Figura 14 – Pirâmide da automação industrial [9]	37
Figura 15 – Sensor de proximidade [10]	37
Figura 16 – Exemplo de <i>workstation</i> industrial [11]	38
Figura 17 – Exemplo de <i>workstation</i> de gerenciamento de planta [12]	39
Figura 18 – Exemplo de <i>mainframe</i> [13]	39
Figura 19 – Automação em linha de produção automotiva[14]	40
Figura 20 – Exemplos de automatismos	41
Figura 21 – Esquema geral de um sistema hidráulico	42
Figura 22 – Exemplo de diagrama de circuito hidráulico	43
Figura 23 – Exemplo de circuito pneumático	44
Figura 24 – CLP Siemens Simatic S7 [15]	45
Figura 25 – Funcionamento de um CLP [16]	46
Figura 26 – Ciclo de operações do CLP [16]	46
Figura 27 – Exemplo de diagrama elétrico [17, p. 215]	47
Figura 28 – Simbologia básica <i>ladder</i> [17, p. 216]	47
Figura 29 – Exemplo de diagrama <i>ladder</i> [17, p. 219]	47
Figura 30 – Composição geral de um sistema SCADA	48
Figura 31 – Sequência de processos industriais em linha de produção	49
Figura 32 – Padrão de simbologia para fluxogramas da ANSI	52
Figura 33 – fluxo produtivo da linha de produção simulada	52
Figura 34 – Fluxograma da linha de produção de portas automotivas	53
Figura 35 – Arquitetura do sistema	56
Figura 36 – Tela de gerenciamento de projetos do TIA V12	68

Figura 37 – Exemplo de tela de controle de CLP do TIA V12	68
Figura 38 – Exemplo de tela de operação do Elipse E3 <i>Studio</i>	69
Figura 39 – Exemplo da tela de simulação do FluidSIM 4	70
Figura 40 – Estrutura do circuito das esteiras de transporte	72
Figura 41 – Estrutura do circuito do manipulador cartesiano	73
Figura 42 – Circuito hidráulico da prensa	74
Figura 43 – Circuito pneumático da prensa e expulsador	75
Figura 44 – Circuito da prensa pneumática de corte	76
Figura 45 – Circuito puramente pneumático do sistema de trava	77
Figura 46 – Circuito pneumático do braço robótico de solda	78
Figura 47 – Circuito pneumático completo	79
Figura 48 – Programação <i>Ladder</i> das esteiras	80
Figura 49 – Programação <i>Ladder</i> do manipulador - Parte 1	81
Figura 50 – Programação <i>Ladder</i> do manipulador - Parte 2	81
Figura 51 – Programação <i>Ladder</i> do manipulador - Parte 3	81
Figura 52 – Programação <i>Ladder</i> do manipulador - Parte 4	82
Figura 53 – Programação <i>Ladder</i> do manipulador - Parte 5	82
Figura 54 – Programação <i>Ladder</i> do manipulador - Parte 6	82
Figura 55 – Programação <i>Ladder</i> da prensa hidráulica e expulsador - Parte 1	83
Figura 56 – Programação <i>Ladder</i> da prensa hidráulica e expulsador - Parte 2	83
Figura 57 – Programação <i>Ladder</i> da prensa pneumática de corte	84
Figura 58 – Programação <i>Ladder</i> do braço robótico de soldagem - Parte 1	84
Figura 59 – Programação <i>Ladder</i> do braço robótico de soldagem - Parte 2	85
Figura 60 – Programação <i>Ladder</i> do braço robótico de soldagem - Parte 3	85
Figura 61 – Configuração do driver de comunicação Mprot	87
Figura 62 – Configuração do IP de comunicação do Mprot	87
Figura 63 – Lista de <i>tags</i> de comunicação	88
Figura 64 – Menu inicial do SCADA	90
Figura 65 – Tela principal do SCADA	90
Figura 66 – Tela de relatórios do SCADA	91
Figura 67 – Tela de detalhes das esteiras de transporte e manipulador	91
Figura 68 – Tela de detalhes da prensa hidráulica	92
Figura 69 – Tela de detalhes da prensa de corte pneumática	92
Figura 70 – Tela de detalhes do braço de solda	93
Figura 71 – Exemplo de relatório gerado no programa desenvolvido	94
Figura 72 – Configuração do <i>Webclient</i>	95
Figura 73 – Montagem da bancada completa	96
Figura 74 – Montagem das esteiras de transporte da bancada	96
Figura 75 – Montagem do manipulador cartesiano da bancada	97

Figura 76 – Montagem da prensa hidráulica da bancada e expulsador	98
Figura 77 – Montagem da prensa pneumática de corte	98
Figura 78 – Montagem da estação de solda	99
Figura 79 – Projeto CAD do braço pneumático	100
Figura 80 – Processo de impressão 3D do braço pneumático	100
Figura 81 – Montagem do braço robótico pneumático	101
Figura 82 – Botão “Iniciar SCADA” do menu inicial	102
Figura 83 – Botão de comando “BL1” do SCADA	103
Figura 84 – Botão de comando “BL2” do SCADA	103
Figura 85 – Botão de comando “Reiniciar” do SCADA	104
Figura 86 – Botão de comando “Emergência” e caixa de alarmes do SCADA	105
Figura 87 – <i>Organizer</i> do E3 studio com a lista de telas	113
Figura 88 – Barra de ferramentas Elipse E3 studio	114
Figura 89 – Criação de um novo evento e script	114
Figura 90 – Configuração do evento	115
Figura 91 – Criação das <i>tags</i> demo e internas	115
Figura 92 – Criação do relatório	116
Figura 93 – Variáveis do banco de dados	116
Figura 94 – <i>Organizer</i> do SCADA com o servidor de alarmes	117
Figura 95 – Definição de um alarme	117

Lista de tabelas

Tabela 1 – Elementos pneumáticos e eletropneumáticos	58
Tabela 2 – Elementos hidráulicos e eletrohidráulicos	62
Tabela 3 – Elementos eletrônicos e elétricos	65
Tabela 4 – Dados técnicos dos sensores de proximidade	67
Tabela 5 – Dados técnicos do CLP	67
Tabela 6 – Mapeamento das <i>tags</i> de comunicação	89
Tabela 7 – Alarmes e eventos definidos	94

Lista de abreviaturas e siglas

CLP	Controlador Lógico Programável
PLC	<i>Programmable Logic Controllers</i>
IoT	<i>Internet of things</i>
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>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Descrição do Problema	25
1.2	Questões e objetivos do projeto	25
1.2.1	Objetivo geral	25
1.2.2	Objetivos específicos	26
1.3	Estrutura do trabalho	26
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1	Indústria Automotiva	27
2.1.1	Fabricação de portas automotivas	31
2.1.2	Estampagem de chapas metálicas	32
2.1.3	<i>Spot Welding</i> (soldagem por pontos)	34
2.2	Automação industrial	35
2.2.1	Arquitetura da automação industrial	37
2.2.2	Automação na indústria automotiva	40
2.3	Automação pneumática e hidráulica	41
2.4	Controladores Lógico Programáveis (CLP's)	44
2.4.1	Estrutura e funcionamento do CLP	45
2.4.2	Linguagem de programação <i>Ladder</i>	46
2.5	Sistema de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA)	48
3	METODOLOGIA	49
3.1	Descrição do fluxo produtivo	49
3.1.1	Descrição dos processos industriais	50
3.1.2	Requisitos do sistema	51
3.1.3	Descrição de fluxo produtivo	52
3.2	Arquitetura do sistema	56
3.3	Especificação dos elementos necessários	57
3.3.1	Pneumáticos e eletropneumáticos	58
3.3.2	Hidráulicos e eletrohidráulicos	62
3.3.3	Eletrônicos e elétricos	65
3.3.4	Softwares	68
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	71
4.1	Circuitos FluidSIM	71
4.1.1	Esteiras de transporte	71

4.1.2	Manipulador cartesiano pneumático	73
4.1.3	Prensa hidráulica e expulsador	74
4.1.4	Prensa pneumática de corte	76
4.1.5	Estação de soldagem por pontos	77
4.1.6	Circuito Pneumático completo	79
4.2	Programação em Ladder	80
4.2.1	Esteiras de transporte	80
4.2.2	Manipulador cartesiano	81
4.2.3	Prensa hidráulica e expulsador	83
4.2.4	Prensa pneumática de corte	84
4.2.5	Estação de soldagem	84
4.3	Programa SCADA	86
4.3.1	Comunicação CLP-SCADA	86
4.3.2	Tags de comunicação	88
4.3.3	Programação do software SCADA	89
4.3.4	Gráficos	93
4.3.5	Alarmes e eventos	93
4.3.6	Relatórios	94
4.3.7	Configuração do <i>Webclient</i>	95
4.4	Bancada	95
4.5	Braço pneumático da bancada	100
4.6	Estudo de caso	102
5	CONCLUSÃO	107
	REFERÊNCIAS	109
	APÊNDICES	111
	APÊNDICE A – TUTORIAL BÁSICO DA PROGRAMAÇÃO SCADA	113

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 pode trazer vários benefícios, como o aumento da produtividade e eficiência, em um processo produtivo industrial. A partir da terceira revolução industrial, também conhecida como automação da manufatura, 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. Tornou-se 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, além do uso 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 – Exemplo de linha de produção automotiva atual [1]

A automação, tem um papel importante na indústria automotiva, até os dias atuais. A figura 1 mostra um exemplo de automação em uma linha de produção automotiva. O veículo é um sistema complexo, composto por vários equipamentos e subsistemas funcionando 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 ma-

neira 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.

A automação pode ser encontrada em todas as áreas da indústria, utilizando basicamente as mesmas tecnologias, independentemente da área industrial, trazendo benefícios à produtividade e eficiência de processos. O estudo da automação se mostra de grande valor para a formação de qualquer engenheiro, permitindo que um engenheiro automotivo, por exemplo, atue em qualquer outra área industrial, mesmo que não envolva necessariamente a produção de veículos automotores. Almeja-se que este projeto, apesar de utilizar um ambiente industrial automotivo como escopo, permita mostrar a capacidade do engenheiro automotivo de realizar projetos avançados de automação, independente do produto final.

Uma bancada que represente uma simulação de uma linha de produção, de maneira simplificada, montada utilizando principalmente elementos didáticos, disponíveis no laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos da faculdade do Gama da Universidade de Brasília, figura 2, em conjunto com um sistema de controle e monitoramento CLP-SCADA, permite que os 3 primeiros níveis de arquitetura de automação sejam atendidos em um único projeto, além de possibilitar a reprodução do sistema por estudantes que tenham interesse em aprofundar seus conhecimentos na área da automação industrial.



Figura 2 – Logo do laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos

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 *Assembly*, 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 chama 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 linha de produção simulada de portas automotivas em ambiente SCADA integrada à um sistema de controle com CLP de uma bancada com elementos físicos, pneumáticos e hidráulicos, disponíveis no laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos da faculdade do Gama da Universidade de Brasília.

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 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:

“ Desenvolver um projeto de automação e controle de uma linha de produção simulada de portas automotivas. ”

1.2.2 Objetivos específicos

Para se alcançar o objetivo geral 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 e projetar um sistema de automação para a simulação da linha de produção;
3. Projetar um sistema CLP-SCADA de controle e monitoramento para o sistema de automação;
4. Projetar e montar uma bancada e integrar à simulação em software SCADA da linha de produção;
5. Atender aos 3 primeiros níveis de arquitetura de automação;

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido nas seguintes etapas:

- **Etapla 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.

- **Etapla 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.

- **Etapla 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.

- **Etapla 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.

- **Etapla 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 3 – Antiga linha de produção automotiva da Ford [2]

A indústria automotiva vem crescendo desde a invenção do automóvel no século XIX, figura 3, 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, quando uma queda brusca nas vendas de mercados bem estabelecidos, causaram um congelamento nos investimentos. Em poucos anos porém a indústria automotiva conseguiu reerguer-se, 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].

Nosso mundo já passou por uma série de revoluções, que mudaram de maneira abrupta o modo com o ser humano lida com sistemas econômicos. Isso tem efeitos profundos também na maneira como ele se estrutura socialmente. A primeira grande revolução aconteceu à mais de dez mil anos, chamada de revolução agrária, decorrente da habilidade da domesticação de animais, permitiu o surgimento da sociedade humana organizada. A revolução agrária foi seguida de várias revoluções industriais, cada uma tão importante como a outra, a primeira ocorreu com o advento das ferrovias e da máquina à vapor, na segunda surgiu a produção em massa, decorrente da difusão do uso da eletricidade e das linhas de produção. A terceira revolução industrial, também chamada de automação da manufatura, ocorreu do meio ao final do século XX, foi possível devido ao desenvolvimento das tecnologias de semicondutores, computadores digitais, sensores e da internet, difundindo também a automação industrial [24].

Atualmente, após a virada do século XXI, estamos vivendo o início da chamada quarta revolução industrial ou automação digital, definida pelo uso cada vez maior da internet móvel e sistemas conectados à internet, assim como, pela existência de sensores menores e mais potentes, além de desenvolvimentos nas áreas de inteligência artificial e (machine learning) (aprendizado de máquinas). Nesta revolução, é comum encontrar termos como “ indústria 4.0”, “fábricas inteligentes”, “internet industrial”, “*Internet of Things* (IoT)” e várias outras variações destes termos, principalmente na indústria automotiva. A *Internet of Things* (IoT) permite a existência de um mundo onde sistemas físicos e virtuais globais de manufatura cooperam entre si, gerando uma melhor visibilidade e entendimento das operações e recursos de uma empresa, através da integração das tecnologias citadas, reduzindo o “*downtime*” (tempo sem produção) não planejado e otimizando a eficiência de processos, aumentando o lucro [24, 25].

Algumas tendências tecnológicas têm um papel muito importante na quarta revolução industrial. Schwab[24] divide essas tendências em tecnologias físicas, digitais e biológicas. Dentre as tecnologias físicas estão presentes os veículos autônomos, a impressão 3D, a robótica avançada e a tecnologia de novos materiais. Já as tecnologias digitais são basicamente a introdução da internet das coisas. Por último, as tecnologias biológicas envolvem nanotecnologias e tecnologias de alteração genética. A indústria automotiva é um dos maiores responsáveis pelos investimentos nessas tendências físicas e digitais da quarta revolução industrial.

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 4 mostra um exemplo de sistema de *Powertrain*.



Figura 4 – 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: *Assembly* (montagem) e *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 figura 5 descreve a divisão realizada por Omar[22].

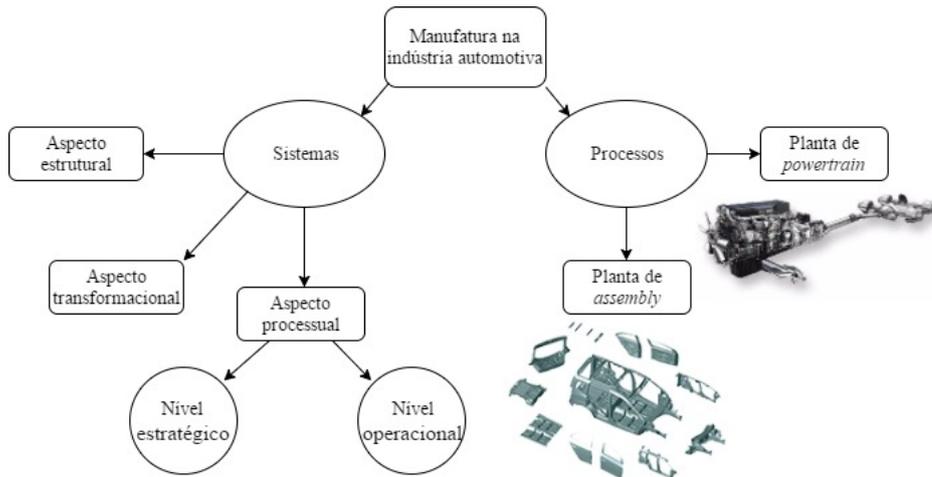


Figura 5 – Divisão da manufatura na indústria automotiva

Fonte: Elaborada pelo autor

A planta de *Powertrain* é responsável pela fabricação de vários componentes mecânicos que constituem os sistemas de motor, transmissão 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 6 resume os processos básicos presentes em uma indústria automotiva [22].

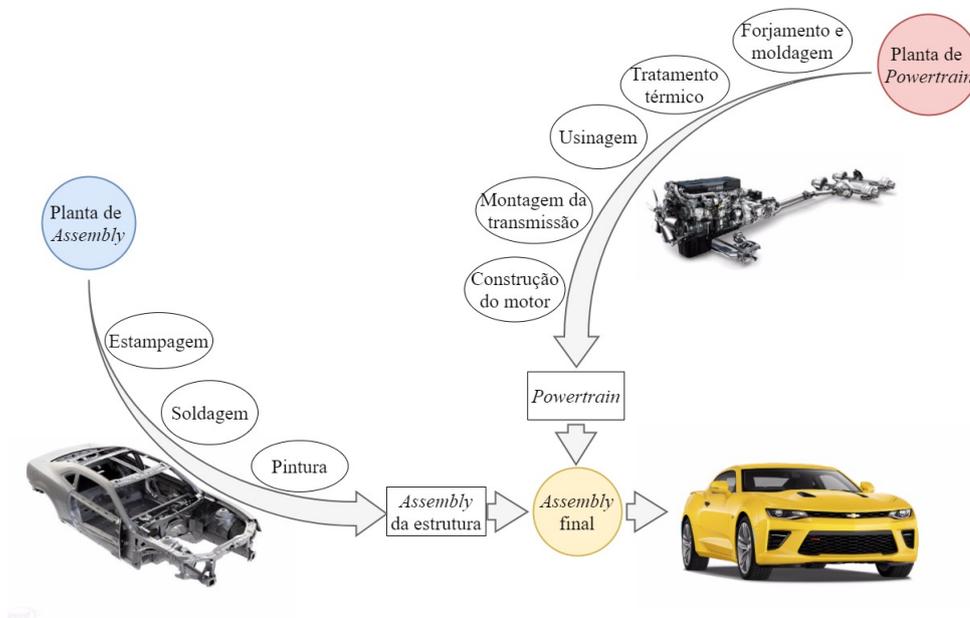


Figura 6 – Processos presentes na indústria automotiva

Fonte: Elaborada pelo autor

2.1.1 Fabricação de portas automotivas

Alguns componentes como as portas automotivas, figura 7, 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 [26, 22].



Figura 7 – Exemplo de porta metálica automotiva [4]

Segundo Chiaberge[26], 99,9% dos veículos produzidos no mundo utilizam uma estrutura chamada de *Body in White* (BiW), figura 8, 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 8 – Estrutura BiW [5]

A redução de peso é ainda o método mais efetivo para se reduzir o consumo de combustível. Segundo Chiaberge[26], 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 [26, 27].

2.1.2 Estampagem de chapas metálicas

A estampagem de chapas metálicas, 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 [28] .

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 (geralmente hidráulica ou mecânica), figura 9.



Figura 9 – 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 figura 10, 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 [28, 29].

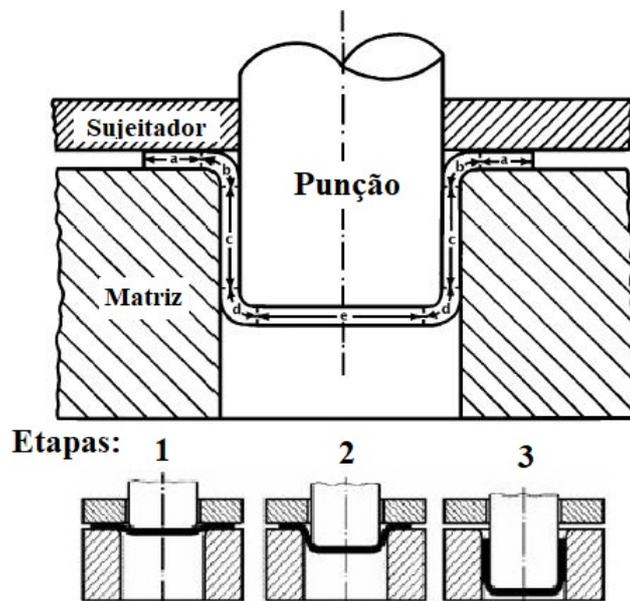


Figura 10 – Estrutura de prensa de estampagem profunda

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 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 [28].

A soldagem por pontos (*Spot Welding*) é classificada como um processo de solda por pressão onde, segundo Chiaverini[28] “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 realizar a passagem de corrente entre as peças por meio de eletrodos.

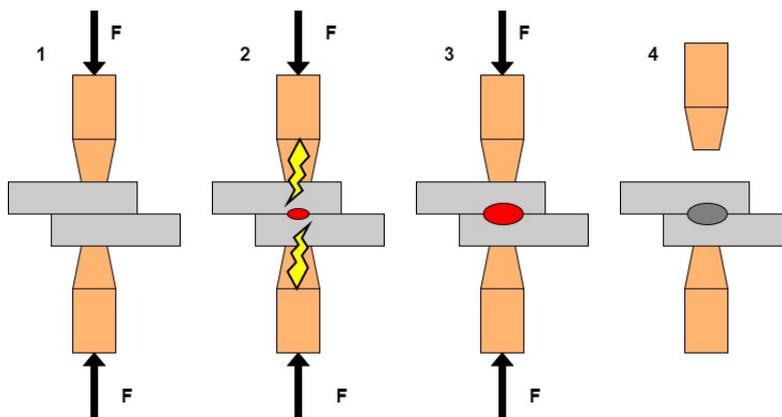


Figura 11 – Etapas da soldagem por pontos

Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com Chiaverini[28] e Omar[22], o processo de soldagem por pontos pode ser descrito em quatro etapas, conforme a figura 11. 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 nos 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, figura 12, capazes de realizar as soldas com rapidez e precisão [28, 22]



Figura 12 – Exemplo de braço robótico [7]

2.2 Automação industrial

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 definidas. 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 terceira revolução industrial, também chamada de automação da manufatura, que a automação passou a ser vista como uma necessidade. Sistemas de automação, figura 13, permitem o aumento da produtividade e a realização de processos mais rápidos e complexos, devido ao seu baixo tempo de resposta e à capacidade de controlar processos 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, isso tudo é possível à partir da implementação de sistemas que unem a força de sensores, computadores e até mesmo da internet. Agora, com a atual quarta revolução industrial, a automação está cada vez mais presente e poderosa, permitindo uma integração ainda maior de sistemas físicos e digitais na indústria [19, 24].



Figura 13 – Exemplo de automação na indústria [8]

A automação gera uma redução da quantidade de mão de obra necessária para se realizar os processos, porém ao mesmo tempo ela ainda requer a presença de operadores e trabalhadores mais especializados. 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 na planta pode provocar grandes perdas econômicas, enquanto que a recolocação em funcionamento requer mão de obra altamente especializada e cara [30, 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, figura 14, de forma hierárquica, formando a pirâmide da automação industrial [18, 31].

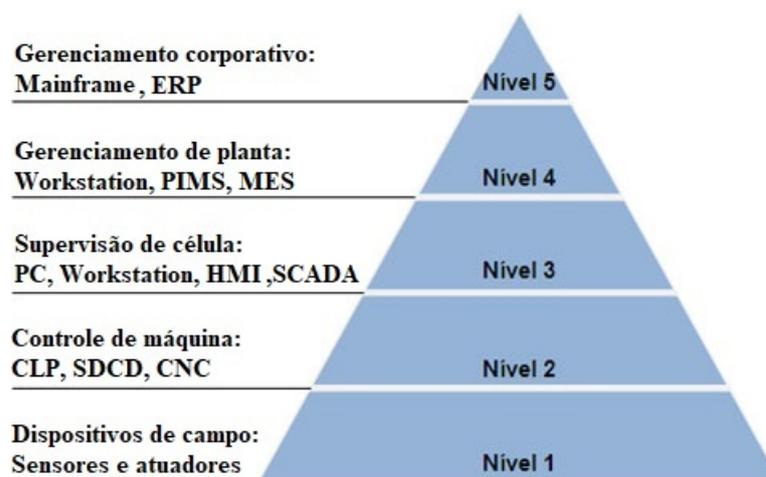


Figura 14 – Pirâmide da automação industrial [9]

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 15 mostra um exemplo de sensor de proximidade.



Figura 15 – 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*), figura 16, que são computadores com capacidade de processamento superior aos comuns.



Figura 16 – 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, figura (17), 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 17 – 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 e processados em *mainframes*, figura 18, que são computadores de grande porte dedicados ao gerenciamento de um grande volume de dados.



Figura 18 – 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]. A indústria automotiva não é estranha para a área da automação, ao contrário, sempre foi uma das que mais desenvolveu e investiu em novas tecnologias na área de automação industrial. A figura 19 mostra um exemplo de linha de produção automotiva atual com elementos de automação.



Figura 19 – Automação em linha de produção automotiva[14]

Ao analisar os processos presentes em uma planta de indústria automotiva, quando se trata de automação, é possível encontrar todos os níveis de arquitetura. 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 a 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, 31, 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 20 mostra exemplos de automatismos pneumáticos, como atuadores e sensores [20, 17].



Figura 20 – 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, pode-se ver 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 flamaabilidade do óleo utilizado [20].

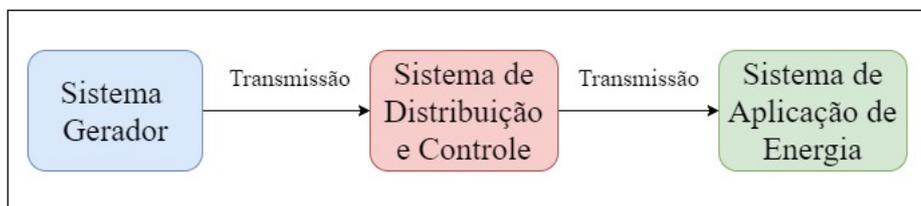


Figura 21 – Esquema geral de um sistema hidráulico

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 21 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 22 mostra um exemplo de diagrama hidráulico com a simbologia padronizada.

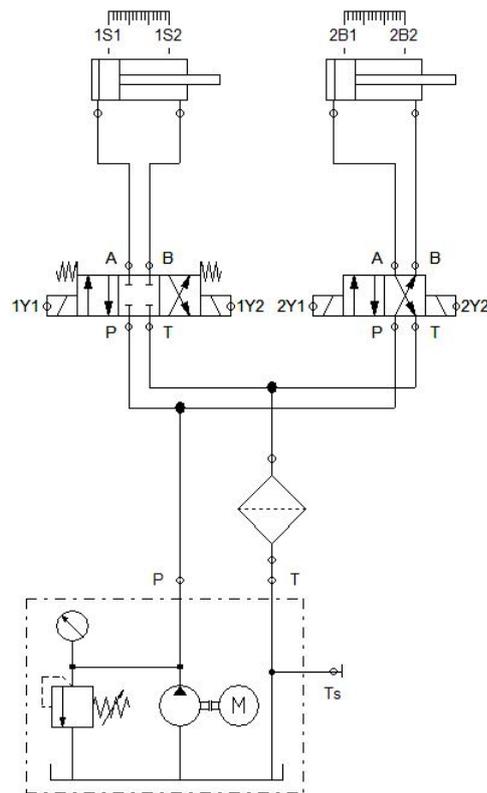


Figura 22 – Exemplo de diagrama de circuito hidráulico

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 ser devolvido à atmosfera. O ar como fluido de trabalho, também apresenta vantagens como a menor sensibilidade 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 figura 21. 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 23 mostra um exemplo de diagrama de circuito pneumático, usando a simbologia padronizada pela norma DIN/ISO 1929 de agosto de 1978 [20, 17].

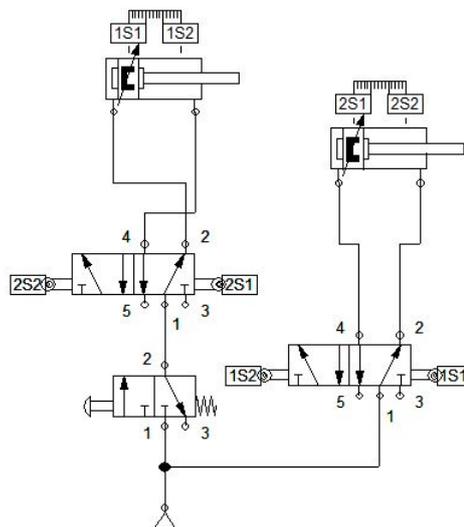


Figura 23 – Exemplo de circuito pneumático

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 24 mostra um exemplo de CLP.



Figura 24 – 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 25 mostra o funcionamento básico de um CLP [18, 19].

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

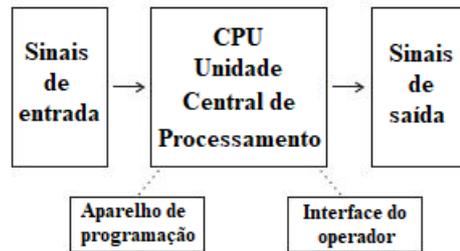


Figura 25 – Funcionamento de um CLP [16]

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 figura 26 [17, 19].



Figura 26 – Ciclo de operações do CLP [16]

2.4.2 Linguagem de programação *Ladder*

Para Fialho[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, figura 27.

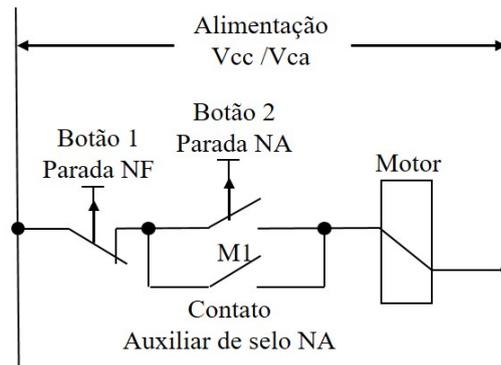
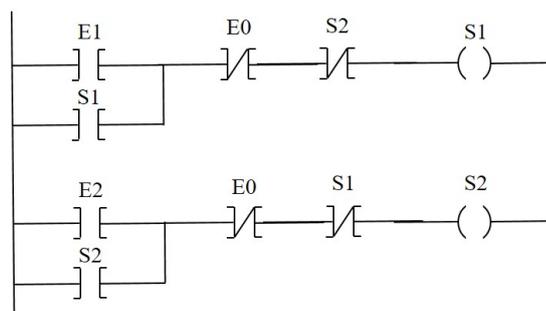


Figura 27 – Exemplo de diagrama elétrico [17, p. 215]

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 28 mostra a simbologia básica da linguagem *Ladder*. A figura 29 mostra um exemplo de diagrama *Ladder*.

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

Figura 28 – Simbologia básica *ladder* [17, p. 216]Figura 29 – 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 [32].

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 30 mostra a composição geral de um sistema de automação SCADA com interface com CLP e demais níveis de sistemas de automação [32].

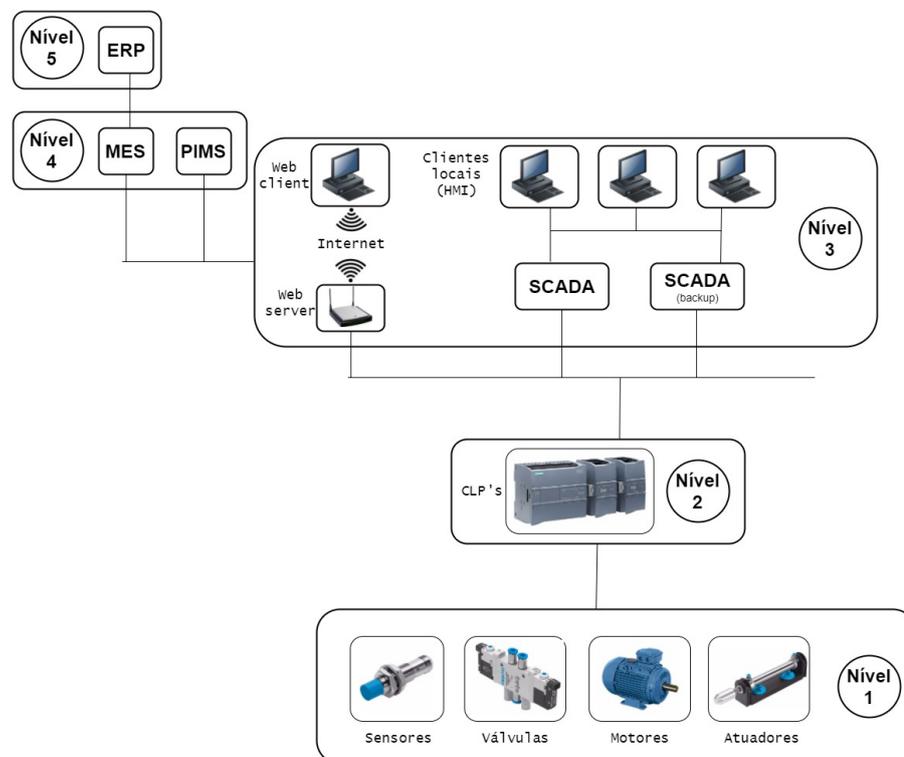


Figura 30 – Composição geral de um sistema SCADA

Fonte: Elaborado pelo autor

3 Metodologia

3.1 Descrição do fluxo produtivo

Conforme abordado no capítulo 2 deste trabalho, o processo de manufatura de um veículo envolve uma grande quantidade de etapas e processos produtivos. A automação industrial permite uma grande melhoria de produtividade e eficiência, quando implementada de maneira inteligente, pode ser aplicada em quase qualquer etapa produtiva de uma indústria 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 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, figura 31.

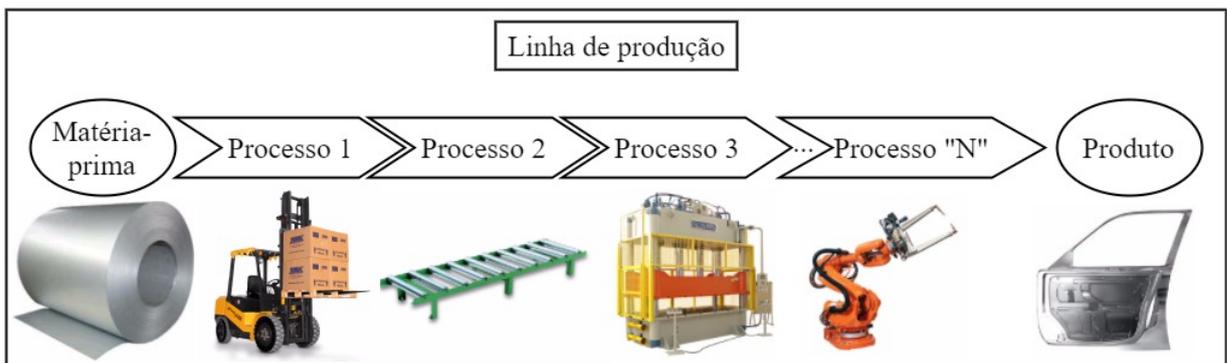


Figura 31 – Sequência de processos industriais em linha de produção

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 simulada 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. O levantamento de requisitos de sistema, que serão fundamentais para o desenvolvimento correto do projeto de automação da linha de produção simulada de portas automotivas, é então aqui definido. 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;
- (l) Alcançar nível 3 de automação industrial, conforme figura 14;

3.1.3 Descrição de fluxo produtivo

Após a descrição dos processos presentes na linha de produção e da análise dos requisitos, é possível elaborar um fluxograma do processo completo, figura 34, para facilitar a visualização e o 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 figura 32.

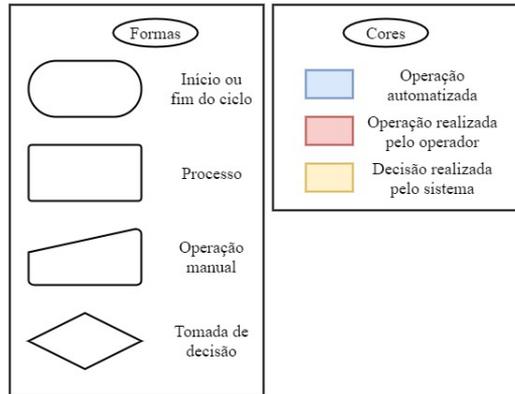


Figura 32 – Padrão de simbologia para fluxogramas da ANSI

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 33 mostra de maneira simplificada o fluxo produtivo da linha de produção de portas automotivas simulada, com a descrição da sequência de posições :

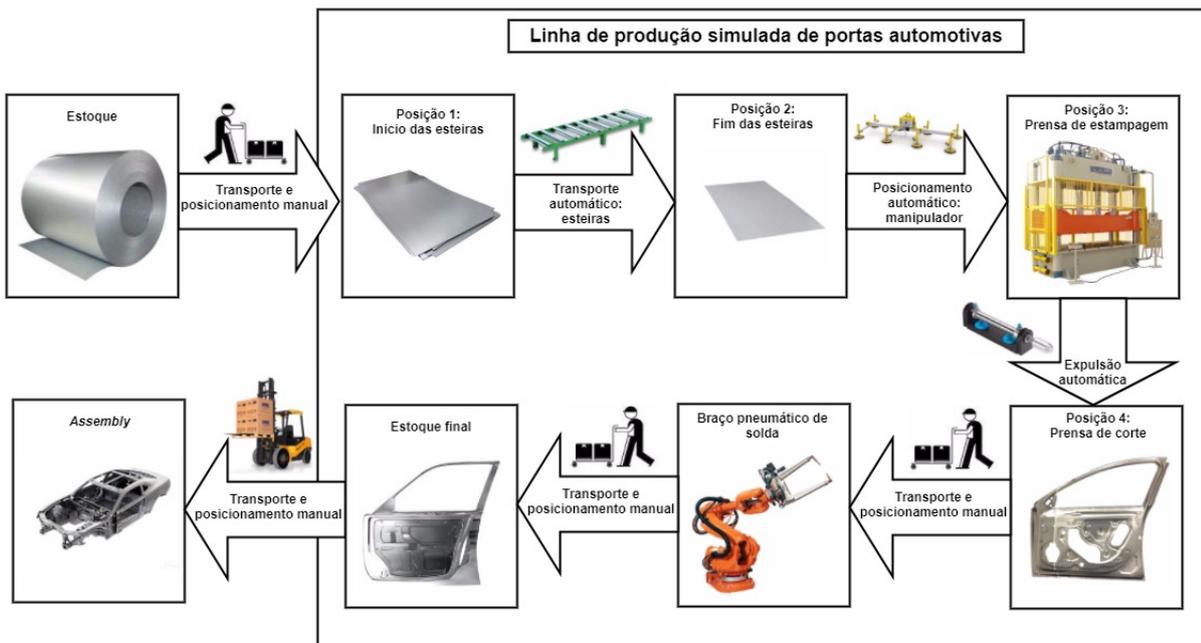


Figura 33 – fluxo produtivo da linha de produção simulada

Fonte: Elaborado pelo autor

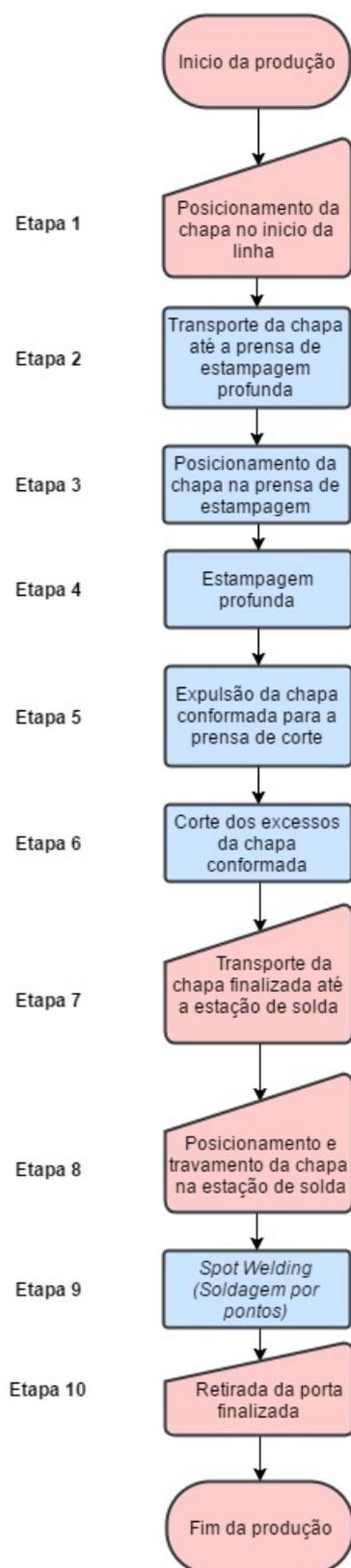


Figura 34 – Fluxograma da linha de produção de portas automotivas

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 aciona o 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 fornece o comando que inicia o processo automático de solda por pontos com braço robótico, 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 Arquitetura 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, o Controlador Lógico Programável (CLP) e por último um sistema com dois PCs (computador pessoal).

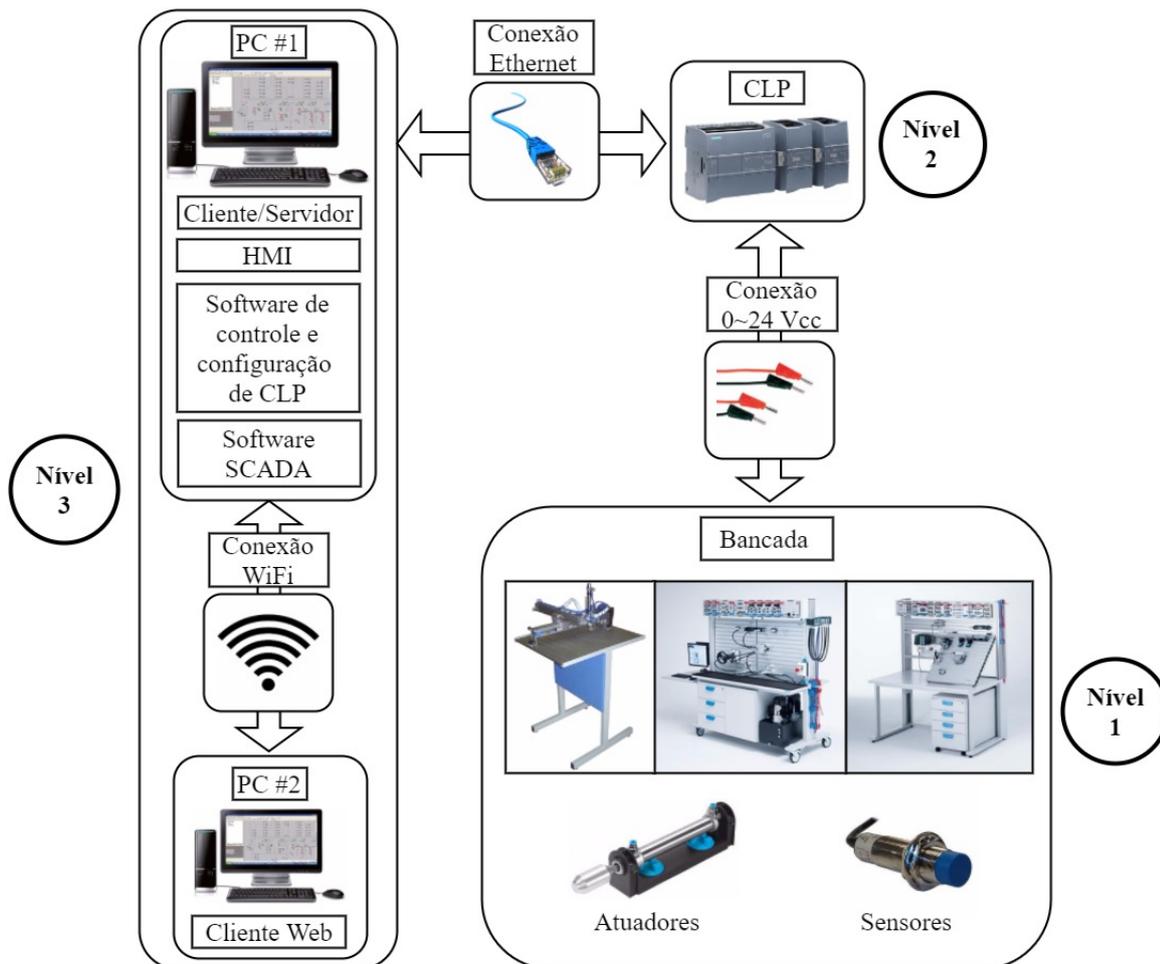


Figura 35 – Arquitetura do sistema

Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 35 mostra a relação entre os componentes do sistema, e faz uma associação com os níveis de automação mostrados na figura 14. Cada componente possui uma função específica, que é interconectada ao resto do sistema:

- **Bancada:** 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 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. A bancada representa o nível 1 de automação.

- **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. 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. O CLP representa o nível 2 de automação no projeto.
- **Sistema Supervisório:** 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 dois softwares estão instalados, o software controlador e configurador do CLP e o software SCADA. 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 primeiro software, o de controle do CLP, que é definida a sequência lógica das operações da bancada em linguagem *Ladder*. Enquanto que o segundo software, o SCADA, é responsável pelo monitoramento em tempo real e controle remoto dos processos realizados pela bancada. Por último, em um segundo computador, há um *Webclient*, para supervisão remota dos processos, que se comunica com o servidor SCADA através da internet. O Sistema Supervisório representa o nível 3 de automação no projeto.

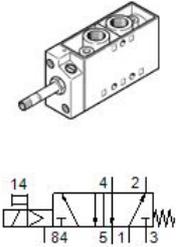
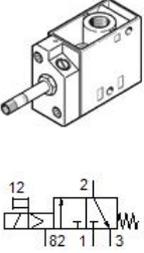
3.3 Especificação dos elementos necessários

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 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

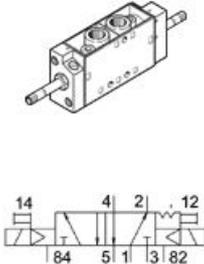
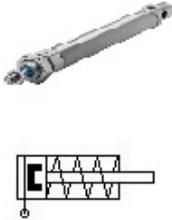
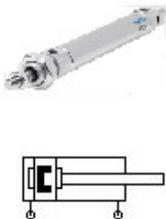
Entre os componentes pneumáticos e eletropneumáticos estão presentes principalmente válvulas e atuadores. A tabela 1 descreve os diferentes elementos pneumáticos e eletropneumáticos do sistema, fabricados pela FESTO. Além dos componentes na tabela ainda constam mangueiras pneumáticas e distribuidores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

Tabela 1 – Elementos pneumáticos e eletropneumáticos

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

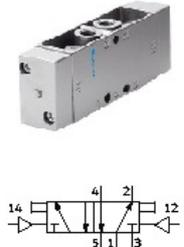
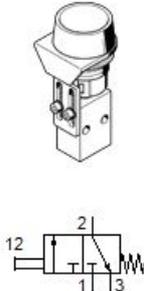
Continua na próxima página

Tabela 1 – Continuação da página seguinte

Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem	Descrição
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

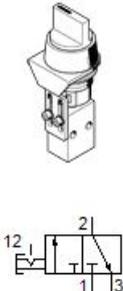
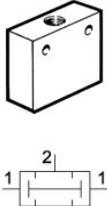
Continua na próxima página

Tabela 1 – Continuação da página seguinte

Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem	Descrição
DMSP-10-250N-RM-EM	2		<p>Atuador/ músculo pneumático de tubo flexível contrátil de diâmetro de 10mm de força de 480N à 6 bar. Carga máxima: 30 kg</p>
JH-5-1/8	1		<p>Válvula direcional 5/2 vias acionada por duplo piloto pneumático</p>
T-3-M5-GR	2		<p>Válvula direcional 3/2 vias NF acionada por botão com retorno por mola</p>

Continua na próxima página

Tabela 1 – Continuação da página seguinte

Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem	Descrição
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

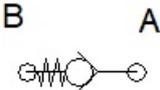
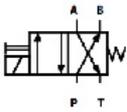
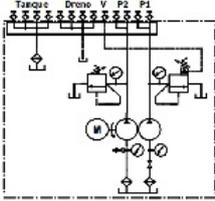
Entre os componentes hidráulicos e eletrohidráulicos estão presentes válvulas e cilindros, assim como a unidade geradora de pressão. A tabela 2 descreve os diferentes elementos hidráulicos e eletrohidráulicos do sistema, fabricados pela FESTO. Além dos componentes na tabela ainda constam mangueiras hidráulicas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

Tabela 2 – Elementos hidráulicos e eletrohidráulicos

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

Continua na próxima página

Tabela 2 – Continuação da página seguinte

Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem	Descrição
RV-08-01.1/0	1	 	Válvula de retenção simples, pressão de abertura: 3 bar
13092108	1	 	Válvula direcional 4/2 vias acionada por simples solenóide, retorno por mola, com acionamento manual auxiliar
13095076	1	 	<p>Unidade de acionamento hidráulico, com reservatório de 40 litros, motor elétrico de 3CV, 110/220 Vca, 60 Hz.</p> <p>Pressão de operação 0 a 60 bar.</p> <p>Vazão total 12 lpm</p>

Continua na próxima página

Tabela 2 – Continuação da página seguinte

Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem	Descrição
13051519	1	 The image shows a 3D perspective view of a hydraulic cylinder with a piston rod extending from the right side. Below it is a 2D schematic diagram of the cylinder, showing the main body and the piston rod with a seal at the end.	Cilindro hidráulico de dupla ação amortecido, com diâmetro de 40mm e curso de 200mm
13051541	1	 The image shows a 3D perspective view of a hydraulic cylinder, similar to the one above but with a longer piston rod. Below it is a 2D schematic diagram of the cylinder, showing the main body and the piston rod with a seal at the end.	Cilindro hidráulico de dupla ação amortecido com diferencial de áreas de 2:1, com diâmetro de 40mm e curso de 300mm

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 eletrônicos e elétricos

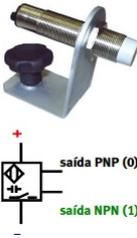
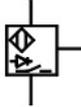
Componente	Quantidade	Simbologia/ Imagem
Sensor de proximidade indutivo	2	
Sensor de proximidade capacitivo	2	
Continua na próxima página		

Tabela 3 – Continuação da página seguinte

Nome/ Código	Quantidade	Simbologia/ Imagem
Sensor de proximidade óptico	3	 
CLP SIEMENS SIMATIC S7-1200	1	
Placa de 3 relés auxiliares D:ER 24Vdc	1	

A Tabela 4, 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 μ s/bit;12 μ 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. As figuras 36 e 37 mostram um exemplos de telas de operação do TIA V12.

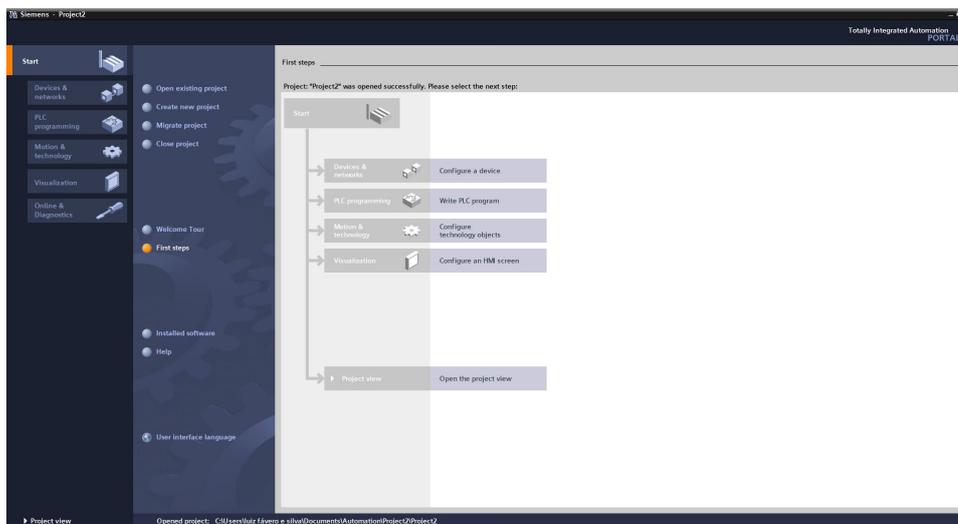


Figura 36 – Tela de gerenciamento de projetos do TIA V12

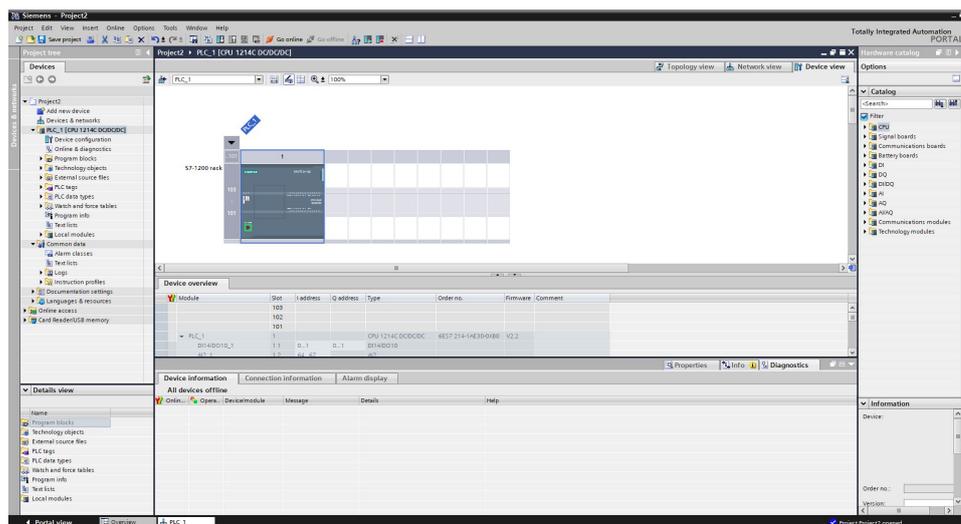


Figura 37 – Exemplo de tela de controle de CLP do TIA V12

O segundo software necessário para o sistema de automação da linha de produção simulada de portas automotivas é o software de controle supervisorial 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. Já em 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 38 mostra um exemplo de tela de operação do software Elipse E3.

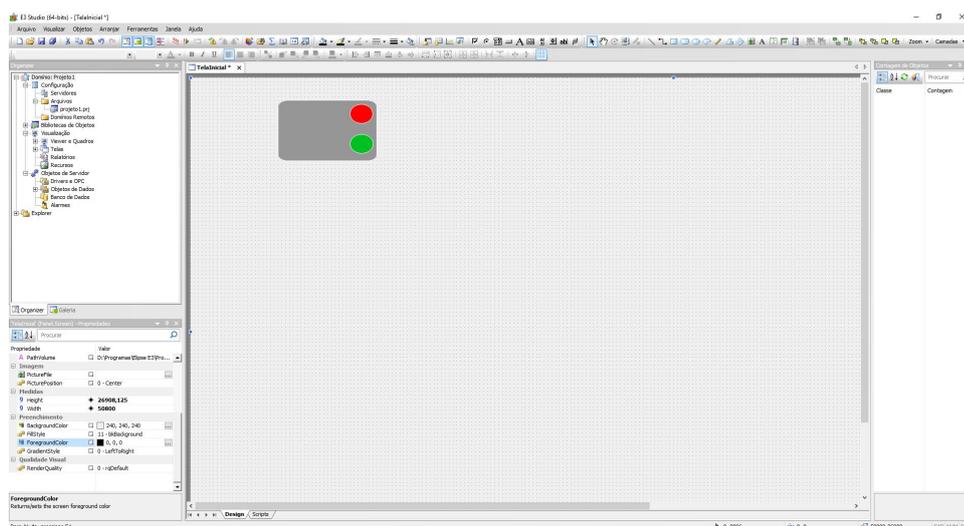


Figura 38 – Exemplo de tela de operação do Elipse E3 *Studio*

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.

Neste trabalho, o FluidSIM 4 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 proposta. A figura 39 mostra um exemplo de tela de simulação do software:

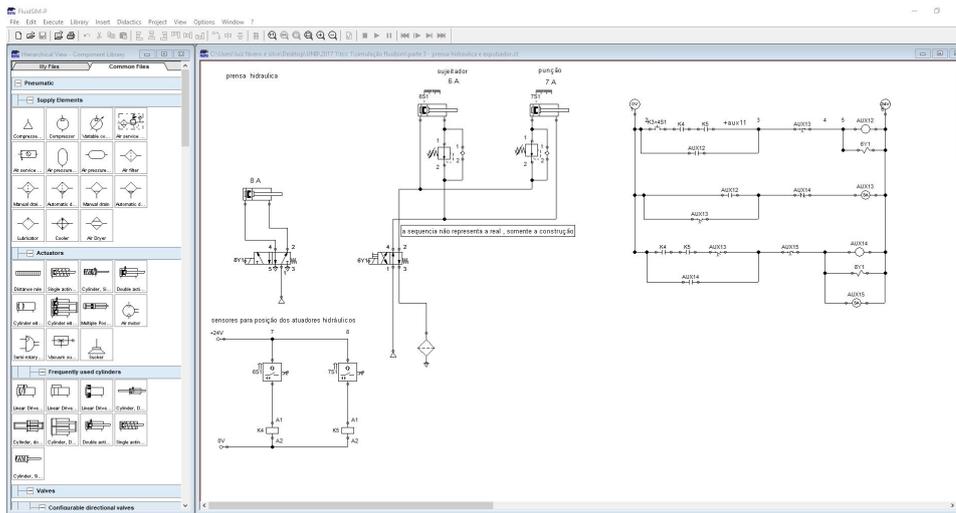


Figura 39 – Exemplo da tela de simulação do FluidSIM 4

4 Desenvolvimento do projeto

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, associado à etapa 2 do fluxograma de processo mapeado:

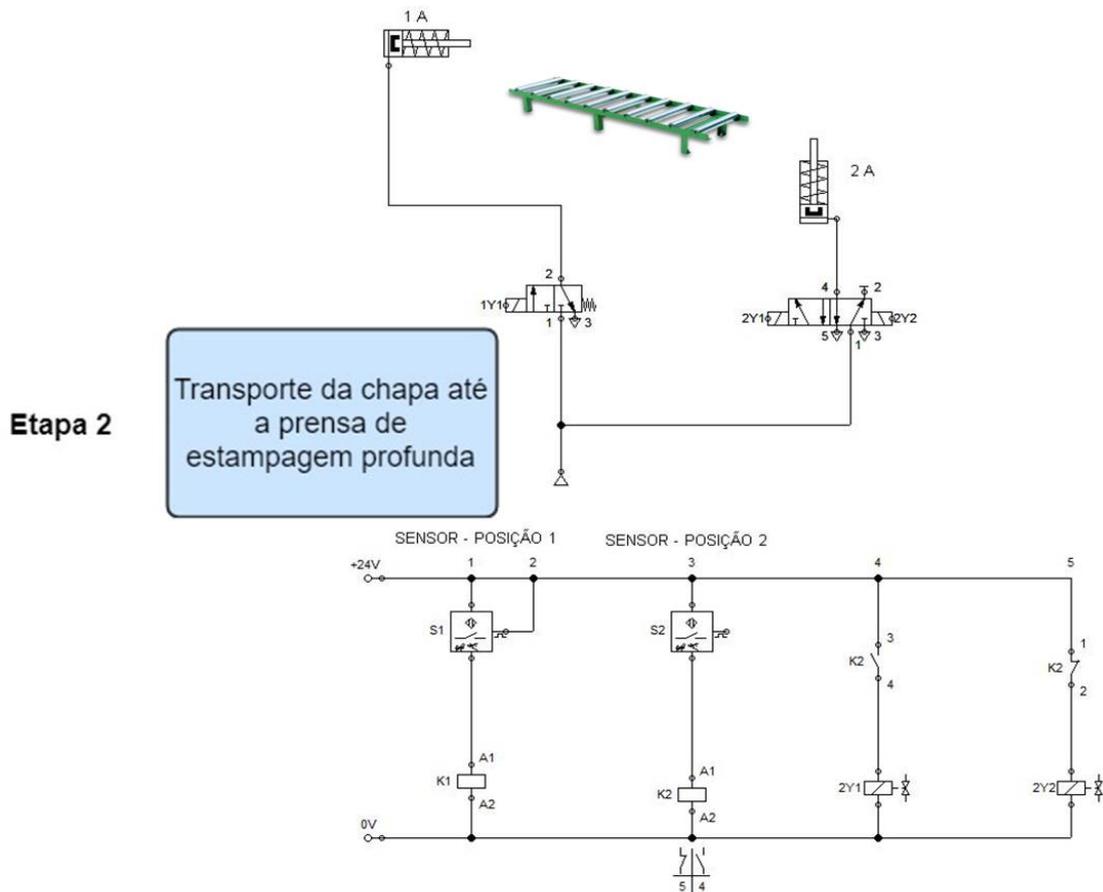


Figura 40 – Estrutura do circuito das esteiras de transporte

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 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, associado à etapa 3 do fluxograma de processo mapeado:

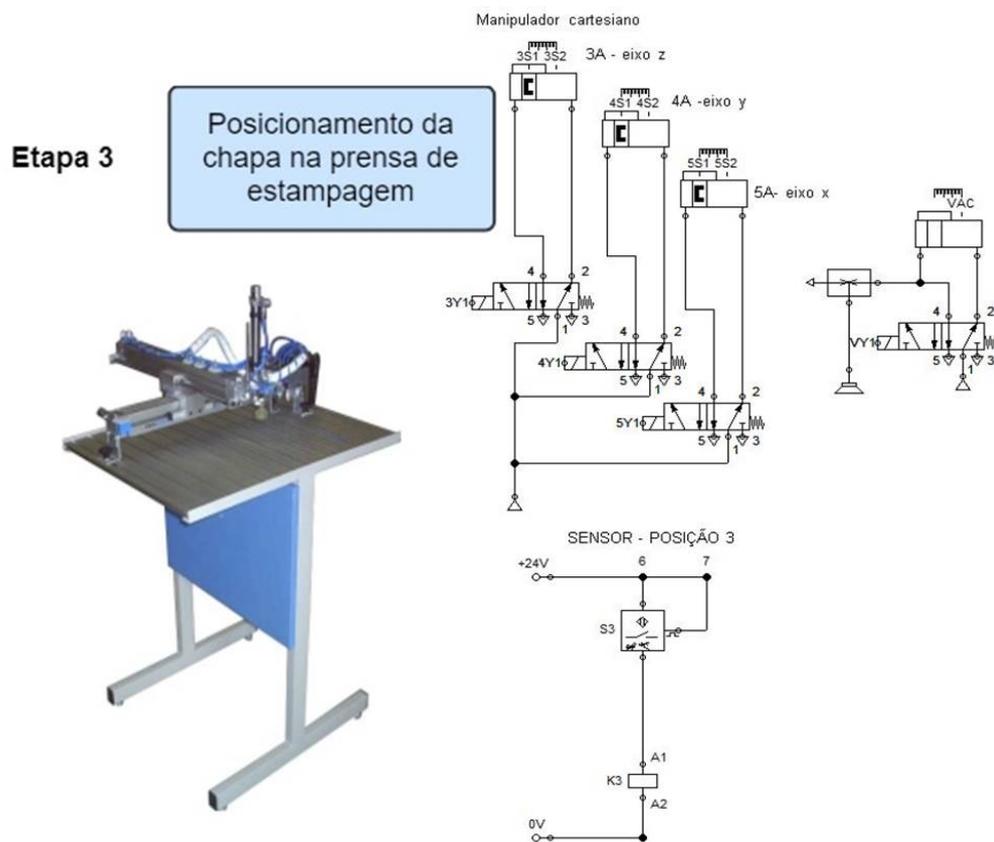


Figura 41 – Estrutura do circuito do manipulador cartesiano

Ao receber o sinal do sensor de proximidade S2, o manipulador é ativado, iniciando o movimento dos atuadores 3A, 4A e 5A. A ventosa de sucção 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 figura 42, associado à etapa 4 do fluxograma de processo mapeado.

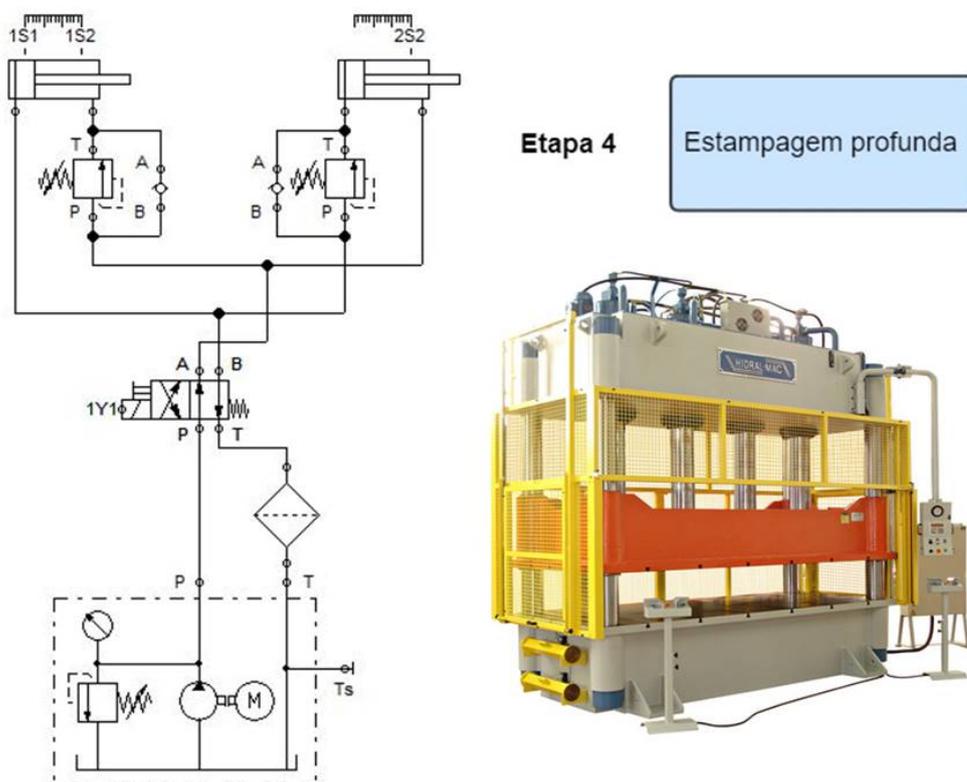


Figura 42 – Circuito hidráulico da prensa

Em seguida foi desenvolvido um circuito pneumático, em conjunto com o circuito do expulsador, 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 expulsador, associados às etapas 4 e 5 do fluxograma de processo mapeado.

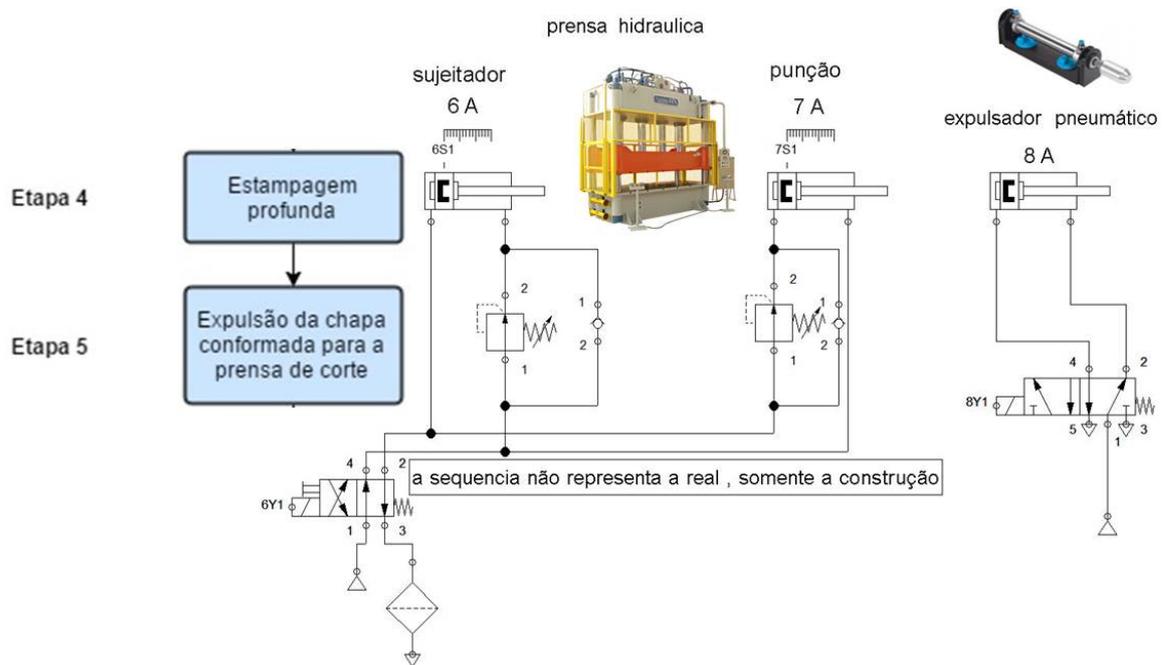


Figura 43 – Circuito pneumático da prensa e expulsador

Após o recebimento do sinal do sensor de proximidade S3, o atuador da prensa hidráulica que representa o sujeitador da prensa (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 excessos 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 destes dois sistemas 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, associado à etapa 6 do fluxograma de processo mapeado.

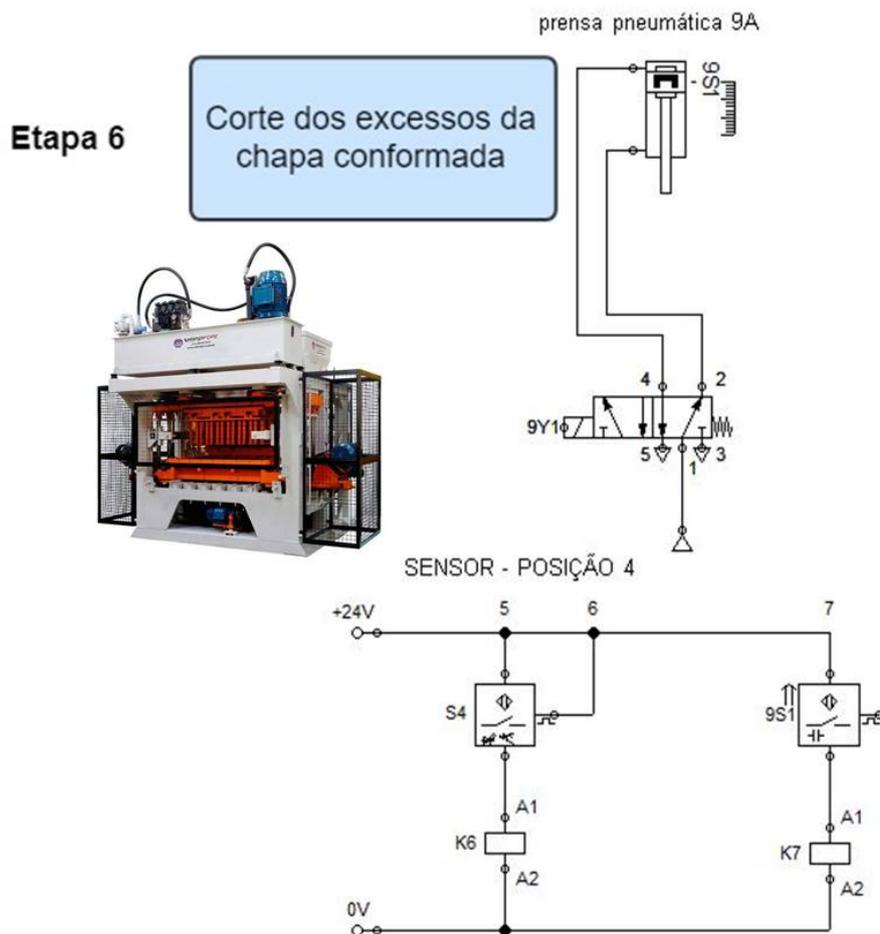


Figura 44 – Circuito da prensa pneumática de corte

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, associado à etapa 8 do fluxograma de processo mapeado.

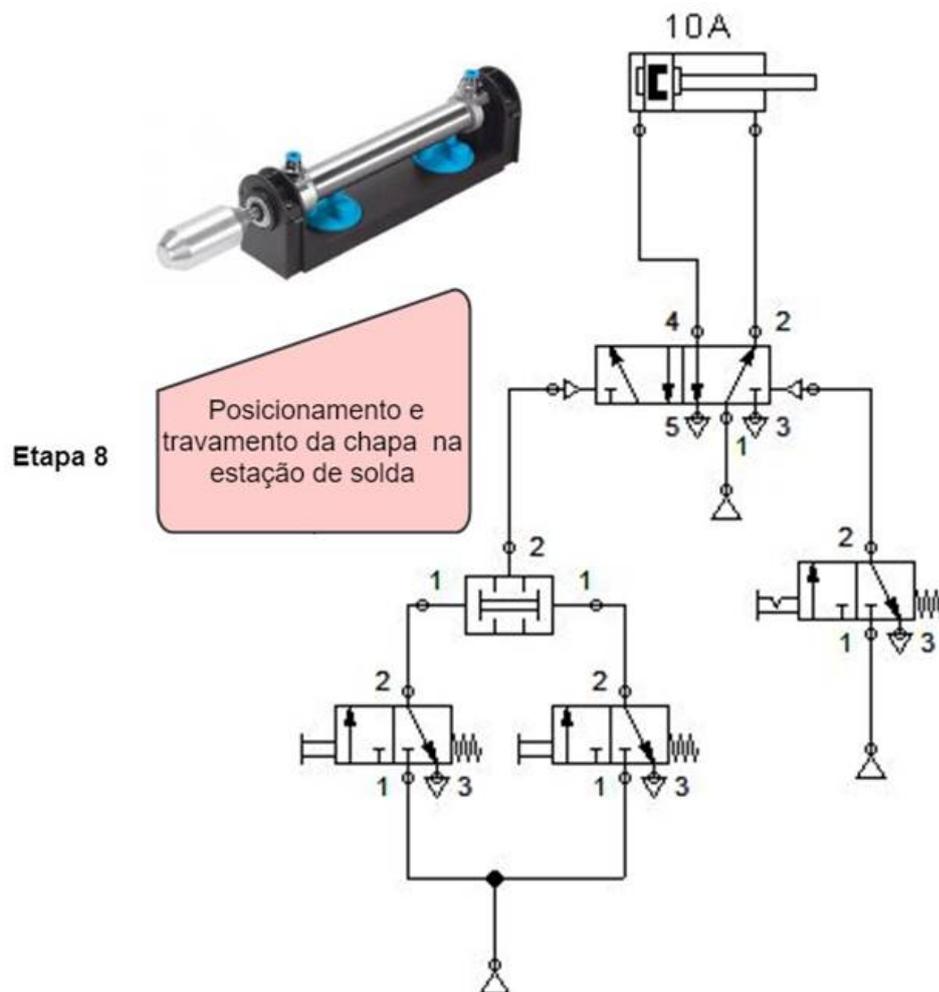


Figura 45 – Circuito puramente pneumático do sistema de trava

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, de um braço robótico. A figura 46 mostra o circuito desenvolvido, associado à etapa 9 do fluxograma de processo mapeado.

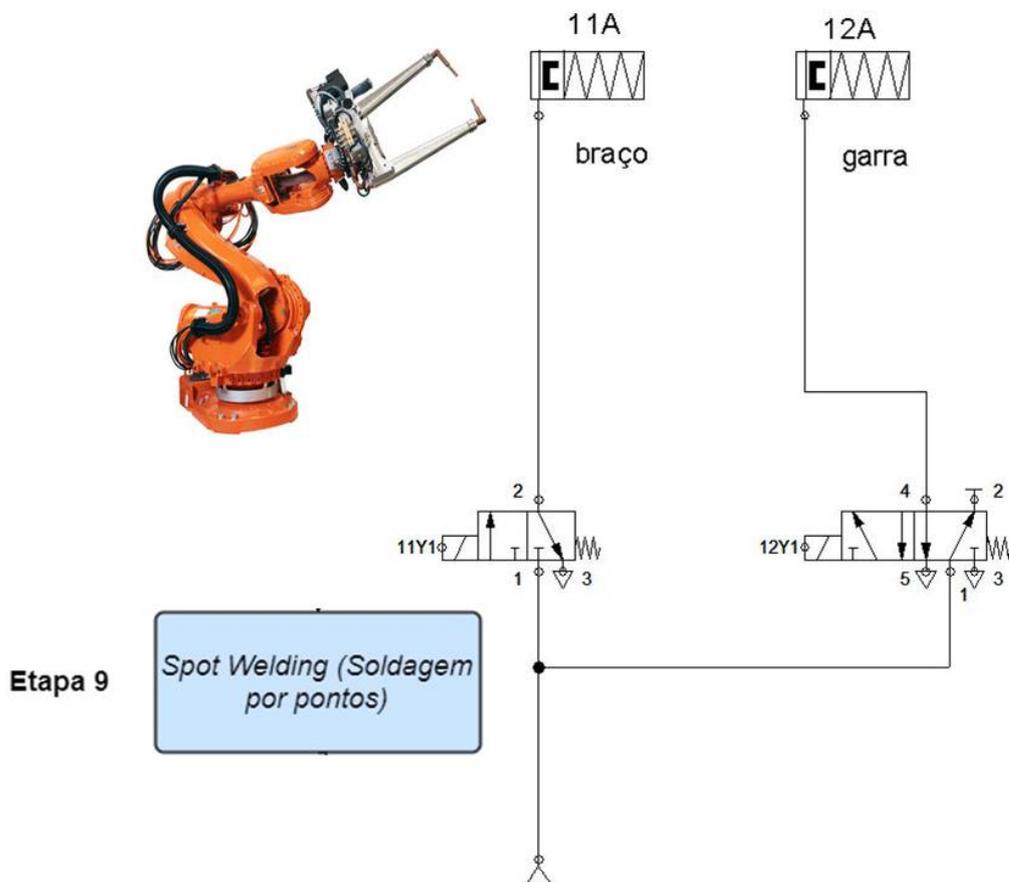


Figura 46 – Circuito pneumático do braço robótico de solda

Ao retirar a chapa finalizada da prensa de corte, o operador a 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:

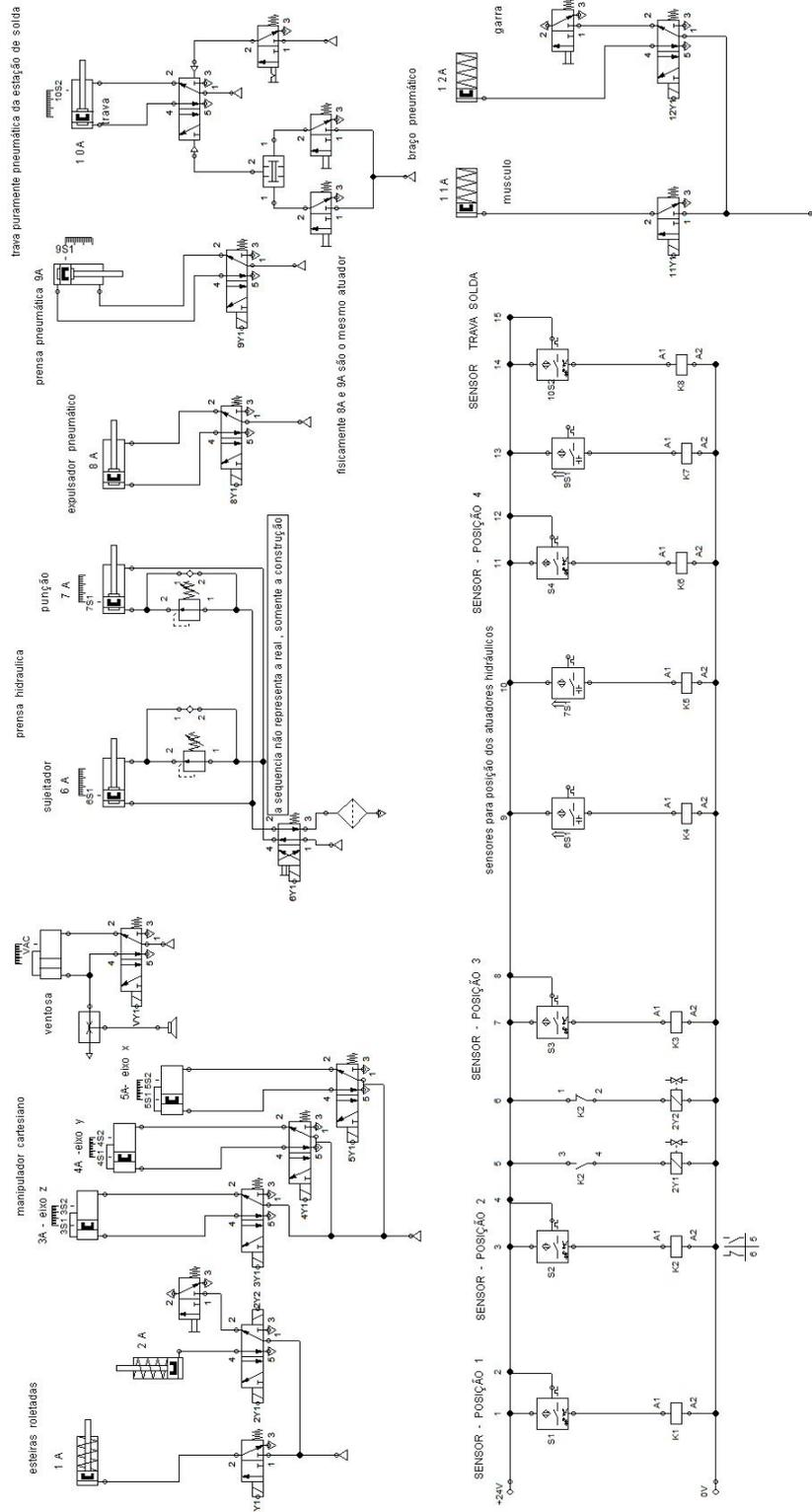


Figura 47 – Circuito pneumático completo

4.2 Programação em Ladder

A programação em *Ladder* projetada no ambiente FluidSIM, foi replicada no software de controle do CLP, o TIA V12. Essa programação 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.

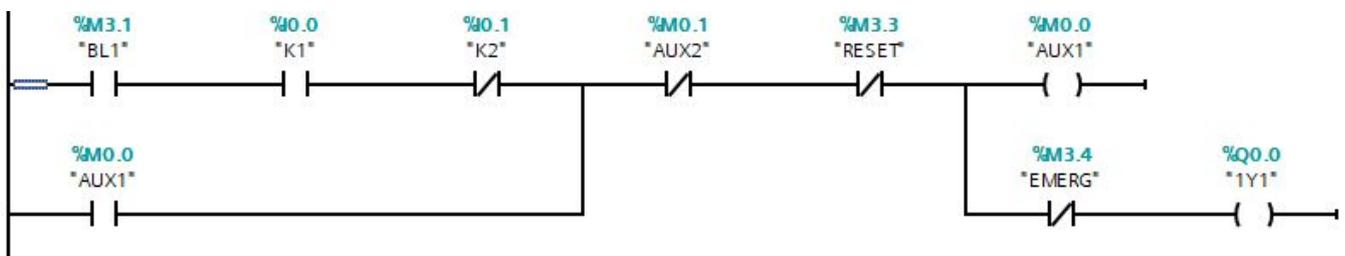


Figura 48 – Programação *Ladder* das esteiras

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. As figuras 49 à 54 mostram o programa em *Ladder* desenvolvido.

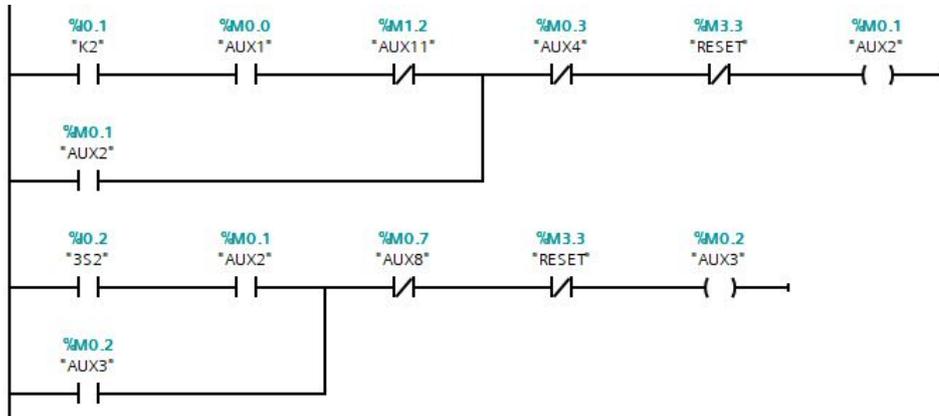


Figura 49 – Programação *Ladder* do manipulador - Parte 1

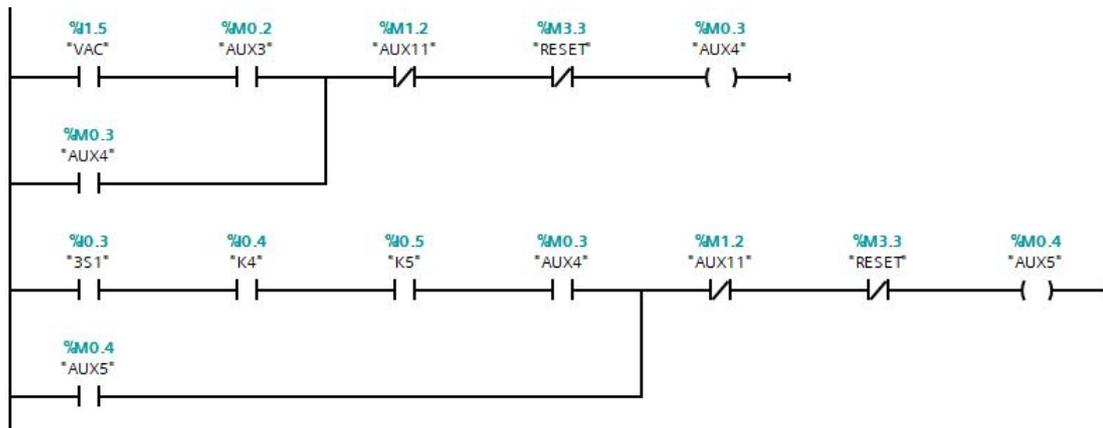


Figura 50 – Programação *Ladder* do manipulador - Parte 2

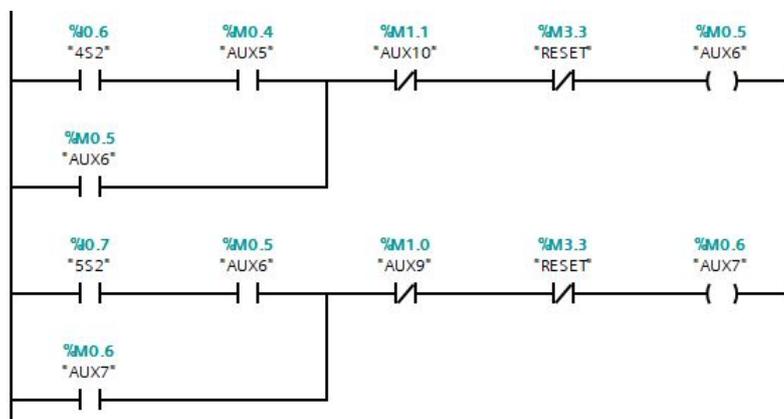


Figura 51 – Programação *Ladder* do manipulador - Parte 3

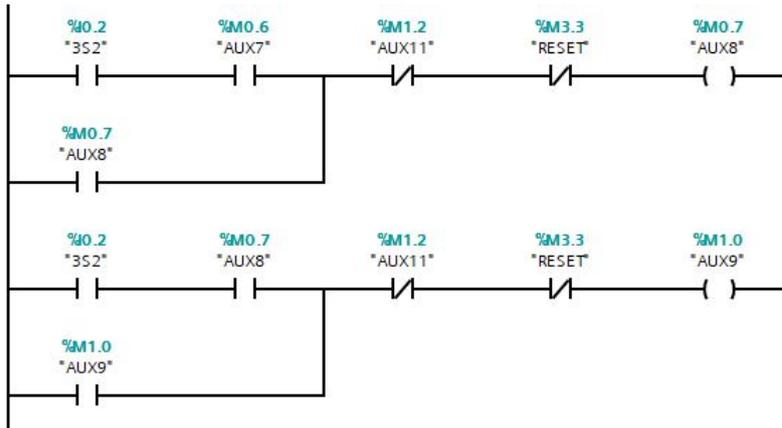


Figura 52 – Programação *Ladder* do manipulador - Parte 4

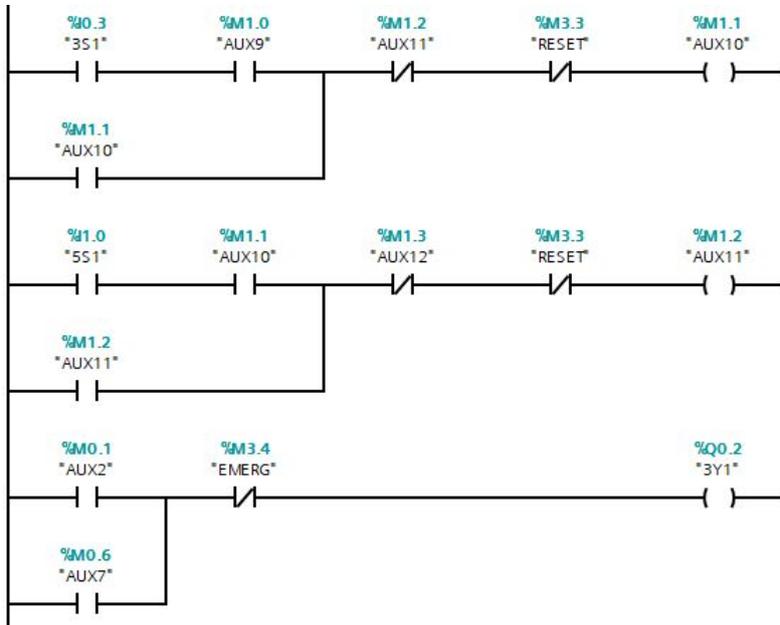


Figura 53 – Programação *Ladder* do manipulador - Parte 5



Figura 54 – Programação *Ladder* do manipulador - Parte 6

4.2.3 Prensa hidráulica e expulsador

A sequência desejada para a realização das operações é: 6A+ / 7A+(5s) / 7A- / 6A- / 8A+ / 8A- . As figuras 55 e 56 mostram o programa em Ladder desenvolvido.

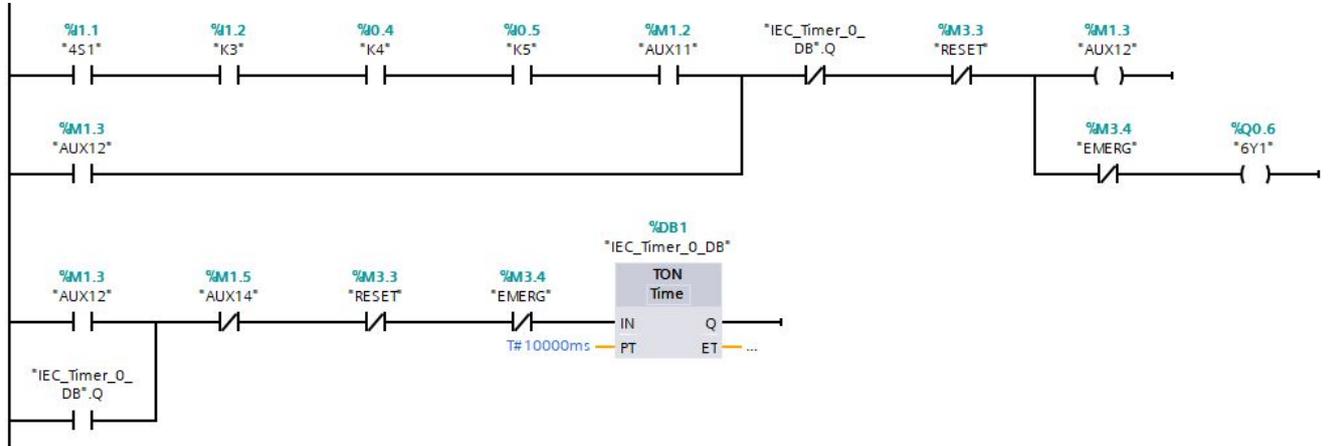


Figura 55 – Programação Ladder da prensa hidráulica e expulsador - Parte 1

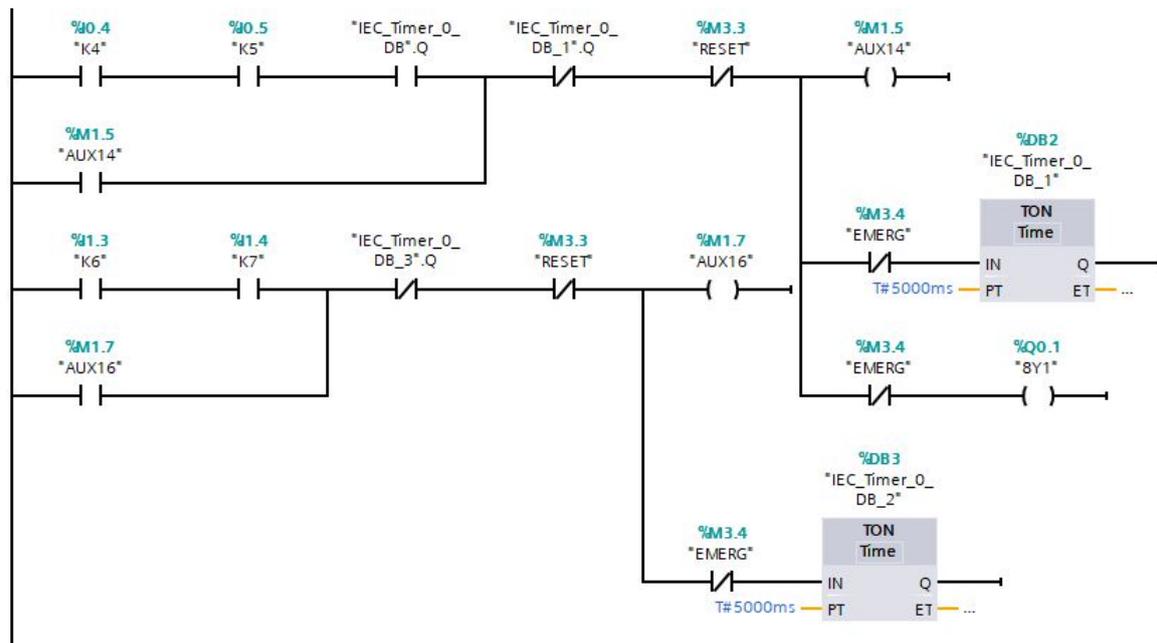


Figura 56 – Programação Ladder da prensa hidráulica e expulsador - Parte 2

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 57 mostra o programa em *Ladder* desenvolvido.

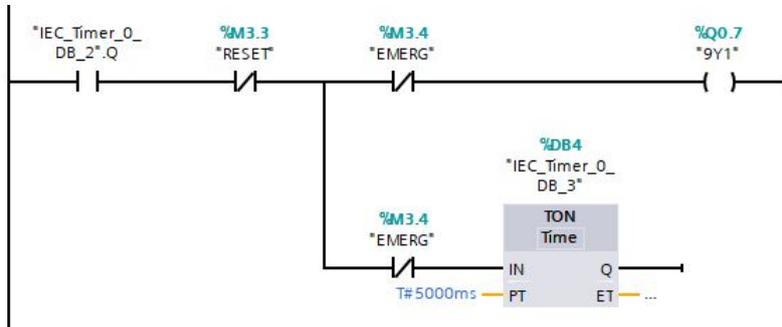


Figura 57 – Programação *Ladder* da prensa pneumática de corte

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+. As figuras 58 à 60 mostram o programa em *Ladder* desenvolvido.

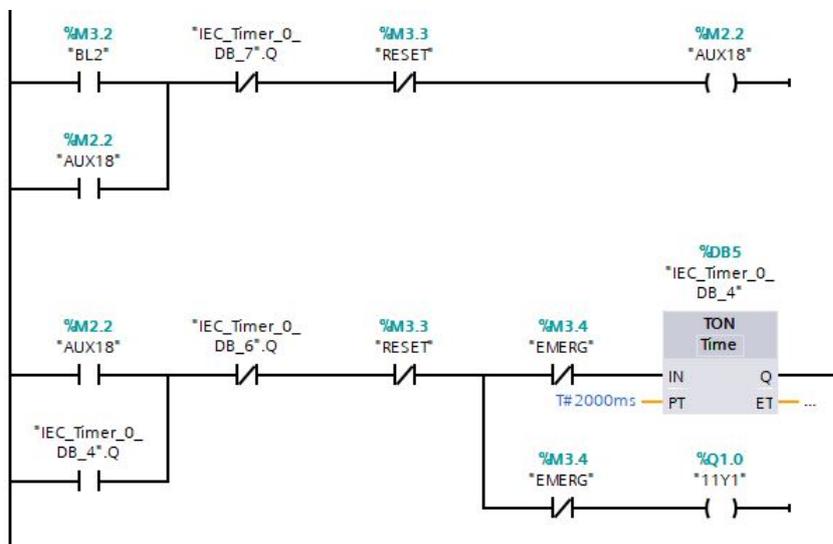


Figura 58 – Programação *Ladder* do braço robótico de soldagem - Parte 1

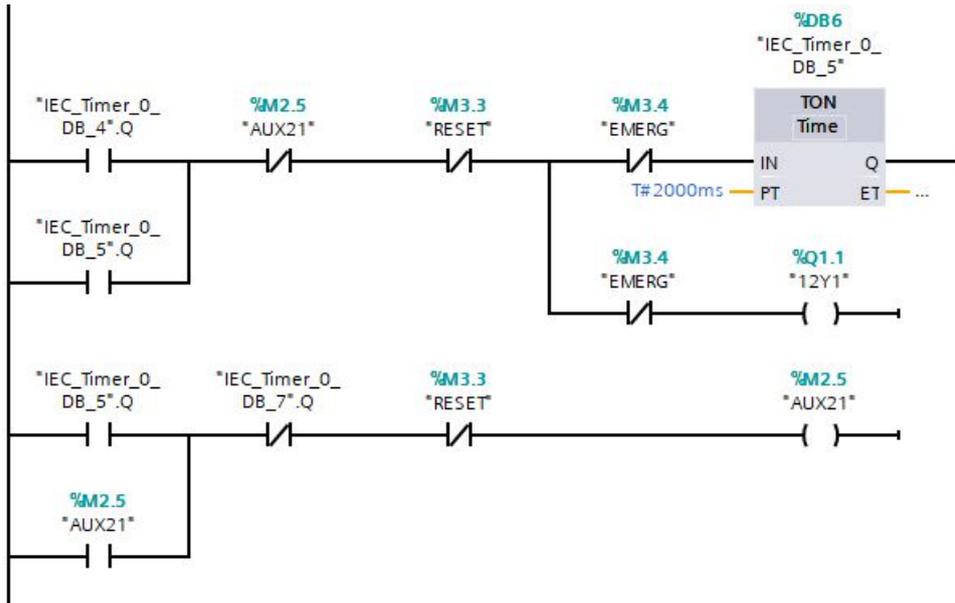


Figura 59 – Programação *Ladder* do braço robótico de soldagem - Parte 2

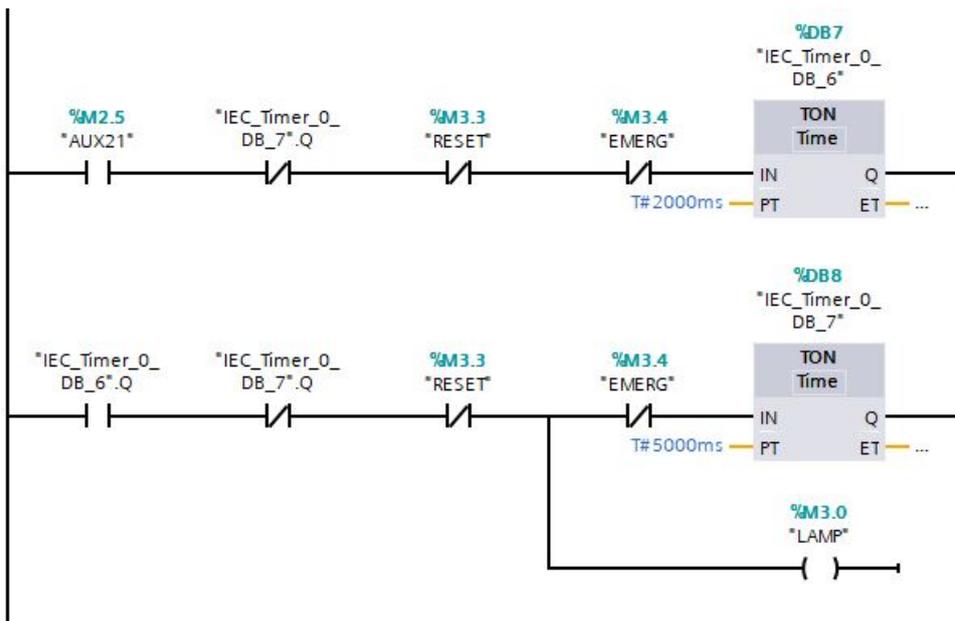


Figura 60 – Programação *Ladder* do braço robótico de soldagem - Parte 3

4.3 Programa SCADA

Os softwares SCADA, como já discutido na seção 2.5 da revisão bibliográfica deste trabalho, são responsáveis pelo controle supervisão de processos, assim como pela aquisição de dados de produção, muitas vezes de forma remota. De maneira geral, o software SCADA aplicado à uma indústria, é formado pelos seguintes componentes:

1. **Sinóticos:** são telas gráficas que tem como principal função o monitoramento e controle em tempo real de processos industriais.
2. **Alarmes:** são mensagens utilizadas para avisar o operador de estados dos processos industriais, principalmente quando se tratam de variáveis que estão fora do limite previsto ou apresentam algum tipo de falha.
3. **Relatórios:** são utilizados para controlar de maneira estatística todo tipo de dado referente aos sistemas e processos presentes.
4. **Gráficos:** são responsáveis por mostrar em tempo real o valor de variáveis referentes aos processos industriais.

O software Elipse E3, como descrito na seção 3.3.4 deste trabalho, foi o software SCADA selecionado para o desenvolvimento do sistema proposto. Nele foram desenvolvidos sinóticos, alarmes e um sistema para gerar relatórios relativos à linha de produção de portas automotivas simulada. A versão do Elipse E3 utilizada neste projeto é a Demo, por conta disso foram levadas em conta algumas limitações ao se desenvolver o sistema proposto, como a quantidade máxima de 20 *Tags* de comunicação, o possível acesso somente da primeira imagem de cada categoria da galeria de símbolos, o tempo máximo de execução do domínio de 2 horas e a capacidade de abrir apenas 1 *Viewer* (ou *Webviewer*) de cada vez.

4.3.1 Comunicação CLP-SCADA

O primeiro passo para o desenvolvimento do software SCADA do projeto é definir de maneira correta a comunicação entre o Elipse E3 e o TIA V12, o software de controle do CLP. A comunicação CLP-SCADA é realizada ao instalar o driver de comunicação SIEMENS Mprot, disponibilizado para download no site da empresa desenvolvedora do Elipse E3. O driver Mprot utiliza o protocolo Modbus Ethernet ISOTPC, para realizar a comunicação por meio físico com o CLP. As figuras 61 e 62 mostram as configurações do driver Mprot para comunicação com o CLP SIEMENS SIMATIC S7-1200.

Driver SIEMENS MProt (MPI/PPI/ISO-TCP) v4.0.12 (IOKit v2.0.90) X

MProt | S7 Strings | Setup | Serial | Ethernet | Modem | RAS

General

Default slave address: Network: Local Address:

PPI

PPI Multi Master Operation delay (ms):
 Application Timeout (ms): only for write

MPI

Highest Station Address:
 Profibus Speed:

ISOTCP / ISOTCP243

Extra Connections: Max Simult Req: Source TSAP (hex): Connection type:

Source Ref. (hex): Use Dest. TSAP Rack: Slot: Enable CPU backup
 Use default Source Ref. Dest. TSAP (hex): Rack: Slot:
 Use default TSAPs Dest. TSAP (hex):

OK Cancelar Aplicar

Figura 61 – Configuração do driver de comunicação Mprot

Driver SIEMENS MProt (MPI/PPI/ISO-TCP) v4.0.12 (IOKit v2.0.90) X

MProt | S7 Strings | Setup | Serial | Ethernet | Modem | RAS

Transport: Listen for connections on port:
 Share listen port with other processes
 PING before connecting Interface:
 Timeout: ms Use IPv6
 Retries: Enable 'ECHO' suppression
 IP Filter:

Connect to

Main IP: Port: Local port:
 Backup IP 1: Port: Local port:
 Backup IP 2: Port: Local port:
 Backup IP 3: Port: Local port:

OK Cancelar Aplicar

Figura 62 – Configuração do IP de comunicação do Mprot

4.3.2 Tags de comunicação

Tags de comunicação, são as variáveis utilizadas pelo programa SCADA para a realização de suas ações de controle e monitoramento, que são associadas ao software de comunicação do CLP através de um endereçamento padrão do driver de comunicação Mprot. Um exemplo deste endereçamento padrão é “0:M0.1”, em que “0” indica o Número do CLP com quem se comunica, e “M:0.1” representa o endereçamento da *tag* realizado no software de controle do CLP.

A figura 63 mostra todas as *tags* definidas no software SCADA do projeto de automação da linha de produção simulada de portas automotivas. É importante notar que o limite de 20 *tags* de comunicação da versão Demo do Elipse E3 atende aos requisitos deste projeto, e que todas as variáveis são discretas e possuem o mesmo tempo de varredura de 1000 *ms*.

Nome	Dispo...	Item	P1/N1...	P2/N2...	P3/N3...	P4/N4...	Ta...	Var...	Leitura?	Escrita?	Escala?	Mín. UE	Máx. UE	UE	Mín. E/S	Máx. E/S
Driver			0	0	0	0	0									
BL1		0:M3.1	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX1		0:M0.0	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX2		0:M0.1	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX3		0:M0.2	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX4		0:M0.3	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
RESET		0:M3.3	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX5		0:M0.4	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX6		0:M0.5	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX7		0:M0.6	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX8		0:M0.7	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX9		0:M1.0	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX10		0:M1.1	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX11		0:M1.2	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX12		0:M1.3	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX14		0:M1.5	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
AUX16		0:M1.7	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
BL2		0:M3.2	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
LAMP		0:M3.0	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000
EMERG		0:M3.4	0	0	0	0	0	1000	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0	1000		0	1000

Figura 63 – Lista de *tags* de comunicação

A maioria das *tags* de comunicação são associadas à uma variável auxiliar presente no final da maioria das linhas do programa *ladder* elaborado. Dessa maneira, é possível saber qual processo da linha de produção simulada está sendo executado, e por sua vez, realizar a animação correta no programa SCADA. Outras *tags* estão associadas à botões, que dão início à processos ou realizam ações como parada de emergência e reinicializar a linha de produção simulada. A tabela 6 mostra o mapeamento das *tags* de comunicação.

Tabela 6 – Mapeamento das *tags* de comunicação

Tag de comunicação	Associação
BL1	Inicia o processo das esteiras de transporte
BL2	Inicia o processo de funcionamento do braço de solda
LAMP	Indica o final do processo da estação de solda
AUX1	Controle dos atuadores e sensores das esteiras de transporte
AUX2 à AUX11	Controle dos atuadores e sensores do manipulador cartesiano
AUX12 e AUX14	Controle dos atuadores e sensores da prensa hidráulica e expulsador
AUX16	Controle dos atuadores e sensores da prensa pneumática de corte
RESET	Reinicia os processos da linha de produção simulada
EMERG	Provoca uma parada de emergência dos processos da linha de produção simulada

4.3.3 Programação do software SCADA

Para a programação do software SCADA, é necessário grande atenção aos requisitos de projetos definidos na seção 3.1.2 deste trabalho. Como se trata da programação de um ambiente SCADA para controle e monitoramento de uma linha de produção, os sinóticos deste devem espelhar os processos, equipamentos e sistemas presentes na linha de produção simulada de portas automotivas, ou seja, da bancada física desenvolvida no projeto. O programa SCADA desenvolvido é composto pelas seguintes telas de operação e monitoramento:

1. Tela do menu inicial
2. Tela do sinótico geral
3. Tela de relatórios
4. Telas de sinótico específico

- **Tela do menu inicial:** A primeira tela que o operador do software SCADA encontra é o menu inicial, nele é possível iniciar o monitoramento da linha de produção simulada e obter informações sobre o projeto. A figura 64 mostra a tela desenvolvida.



Figura 64 – Menu inicial do SCADA

- **Tela do sinótico geral:** Esta é a principal tela desenvolvida para o programa SCADA do projeto. Nela é possível realizar o monitoramento e controle de toda a linha de produção de maneira geral. Além disso é possível realizar o monitoramento dos alarmes, acessar a tela de relatórios, acionar o comando de emergência da linha de produção, acessar as telas dos processos individuais, acionar o comando para reiniciar os processos e retornar ao menu principal. A figura 65 mostra a tela desenvolvida.

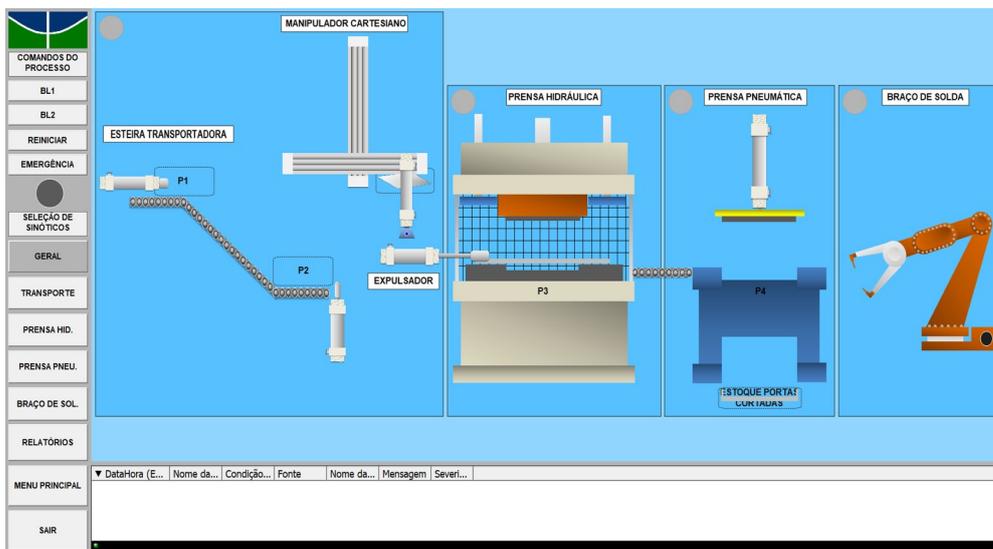


Figura 65 – Tela principal do SCADA

- **Tela de relatórios:** Nesta tela do software SCADA, além dos comandos apresentados na tela do sinótico geral, o operador consegue acessar os comandos relacionados à geração de relatórios referentes aos dados de produção, como por exemplo, quantidade de portas produzidas. Nela é possível ver os dados registrados recentemente, imprimir o relatório ou ainda exportar o relatório em formato PDF e retornar à tela principal. A figura 66 mostra a tela de relatórios desenvolvida.

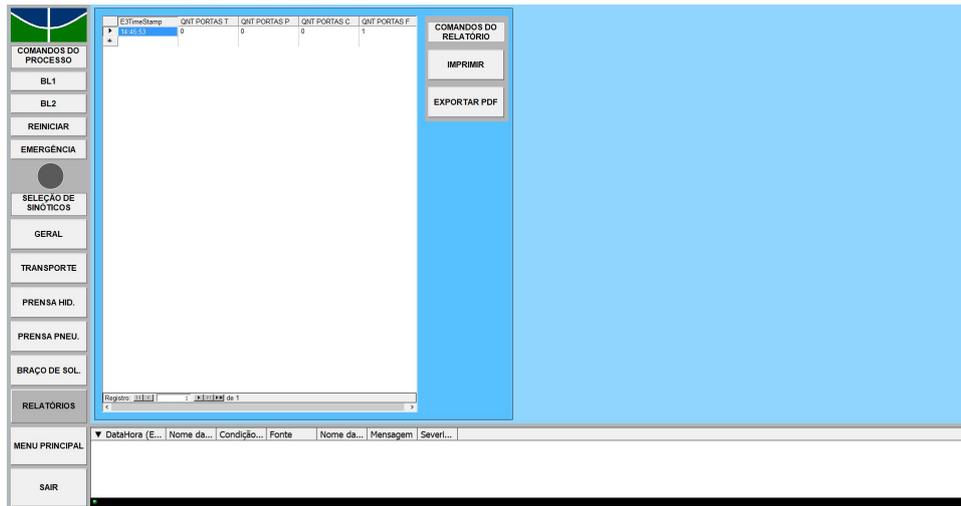


Figura 66 – Tela de relatórios do SCADA

- **Tela de detalhes do transporte:** Aqui, além dos comandos apresentados na tela do sinótico geral, é possível obter detalhes sobre as primeiras etapas da linha de produção, correspondentes às esteiras de transporte e ao manipulador cartesiano, além da informação de quantidade de portas transportadas. A figura 67 mostra a tela desenvolvida:

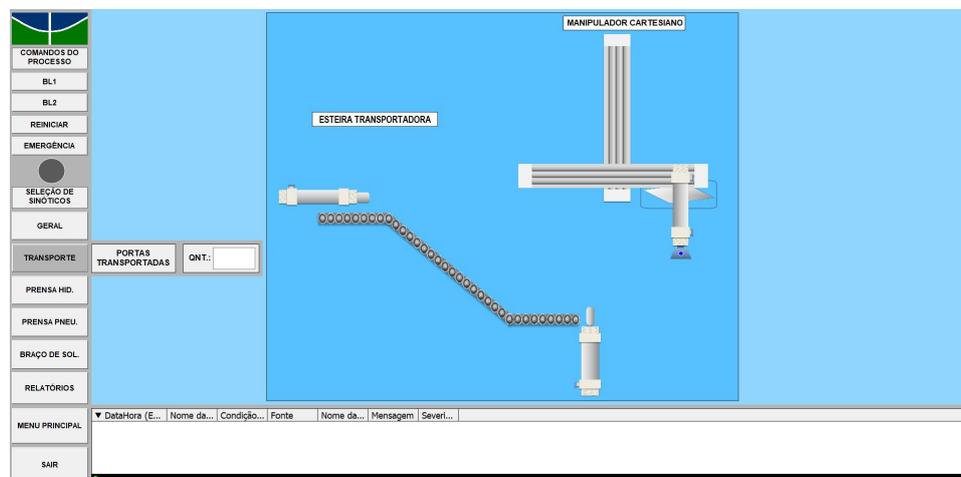


Figura 67 – Tela de detalhes das esteiras de transporte e manipulador

- **Tela de detalhes da prensa hidráulica:** Nesta tela é possível obter detalhes sobre a operação da prensa hidráulica e do expulsor pneumático da prensa hidráulica, além dos mesmos comandos básicos apresentados nas outras telas e da informação da quantidade de portas prensadas. A figura 68 mostra a tela desenvolvida:

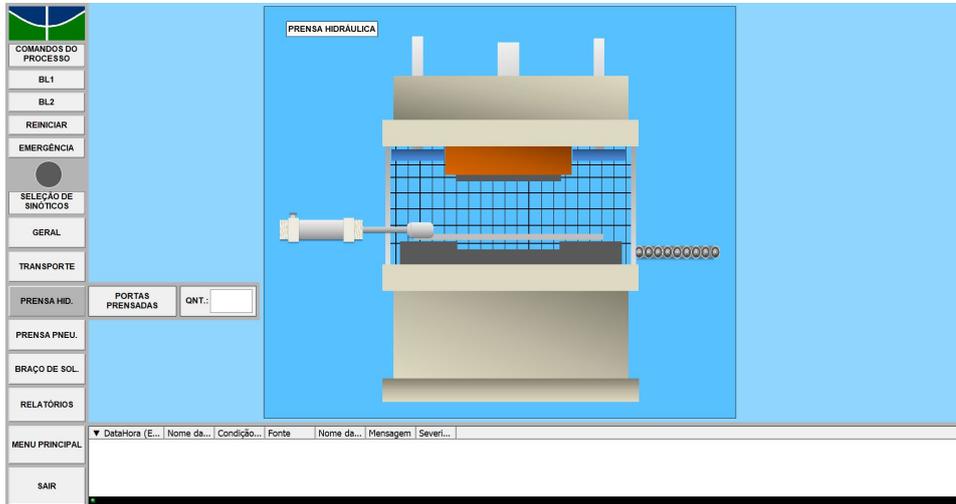


Figura 68 – Tela de detalhes da prensa hidráulica

- **Tela de detalhes da prensa pneumática:** De maneira similar à tela anterior, nesta tela é possível obter detalhes sobre a operação da prensa pneumática de corte, ter acesso à comandos básicos apresentados nas outras telas e à informação da quantidade de portas cortadas. A figura 69 mostra a tela desenvolvida:

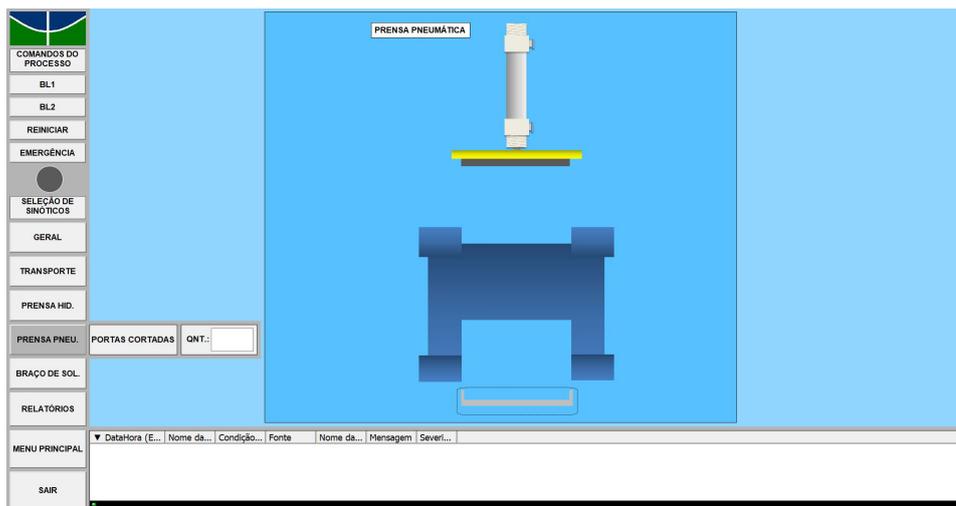


Figura 69 – Tela de detalhes da prensa de corte pneumática

- **Tela de detalhes do braço de solda:** A última tela desenvolvida é responsável por mostrar detalhes sobre a operação do braço de solda da estação de solda. Nela também é possível ter acesso à comandos básicos apresentados nas outras telas e à informação da quantidade de portas finalizadas pela estação de solda. A figura 70 mostra a tela desenvolvida:

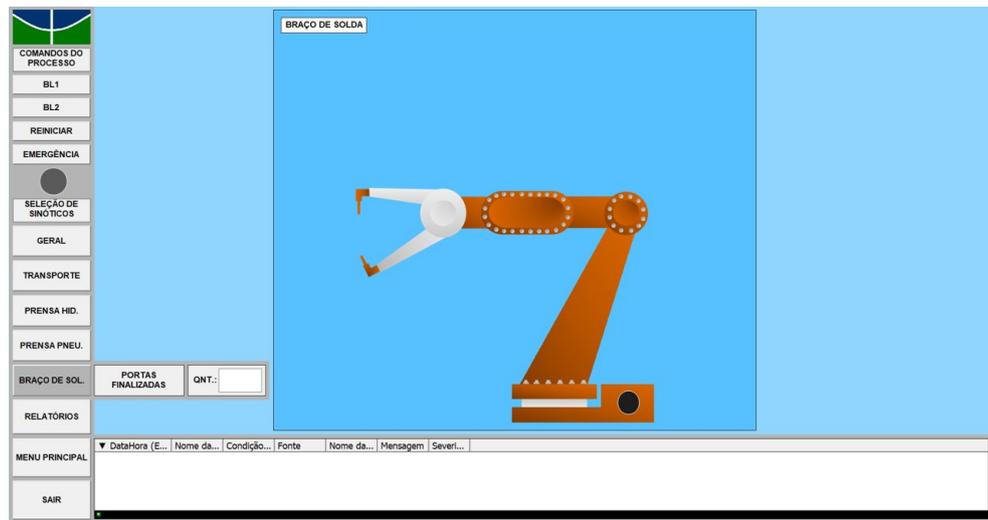


Figura 70 – Tela de detalhes do braço de solda

4.3.4 Gráficos

Gráficos, responsáveis por mostrar em tempo real o valor de variáveis de processo, apesar de comuns em programas SCADA, não estão presentes no programa desenvolvido neste projeto, pois este conta somente com variáveis discretas. No caso de um projeto com variáveis contínuas, é interessante a definição de gráficos que mostrem a variação do valor destas variáveis com relação ao tempo.

4.3.5 Alarmes e eventos

Alarmes e eventos ocorrem quando condições específicas nos processos são atingidas, gerando mensagens que permitem a identificação dos mesmos pelo operador. As limitações da versão Demo do Elipse E3 com relação à quantidade de *tags* de comunicação e a limitação de entradas físicas do CLP Utilizado, fazem com que seja impossível a adição de sensores para o melhor monitoramento de eventos que possam gerar alarmes no software SCADA. Neste projeto foram definidos os seguintes alarmes e mensagens de eventos, mostrados na tabela 7.

Tabela 7 – Alarmes e eventos definidos

Nome do alarme/evento	Mensagem	Causa
Braço de solda	FIM DO PROCESSO DE SOLDA	Acionado ao final do processo de solda
Emergência	PARADA DE EMERGÊNCIA ATIVA	Acionado junto com a ativação do botão de parada de emergência
Ventosa	FALHA NA VENTOSA DE SUÇÃO	Acionado ao ocorrer falha no processo de manipulação das chapas metálicas com a ventosa do manipulador cartesiano

4.3.6 Relatórios

Os relatórios são utilizados para a impressão de dados importantes, referentes à linha de produção e aos processos nela presentes. Os dados devem ser armazenados em um banco de dados, para em seguida, através de ferramentas do Elipse E3 studio, imprimir essas informações no sinótico ou exportar em PDF. A figura 71 mostra um exemplo de relatório gerado pelo programa desenvolvido, que contabiliza a quantidade de portas transportadas, prensadas, cortadas e finalizadas.



Relatório de Produção



HORA E DATA	QUANTIDADE DE PORTAS (UNIDADE)			
	TRANSPORTADAS	PRENSADAS	CORTADAS	FINALIZADAS
12/12/2017 11:06:02	0	1	0	0
12/12/2017 11:06:22	1	1	1	0
12/12/2017 11:06:22	1	1	0	0
12/12/2017 11:06:51	1	1	1	1

Figura 71 – Exemplo de relatório gerado no programa desenvolvido

4.3.7 Configuração do *Webclient*

O Elipse E3 permite a configuração de um *Webclient* para monitoramento e controle do sistema SCADA de forma remota através da internet. Para isso é necessário instalar no computador o programa “E3Admin ” e em seguida abrir o programa “E3Viewer” , por último, basta configurar o IP da rede para conseguir abrir de forma remota o programa SCADA desenvolvido. A figura 72 mostra a configuração do *Webclient*

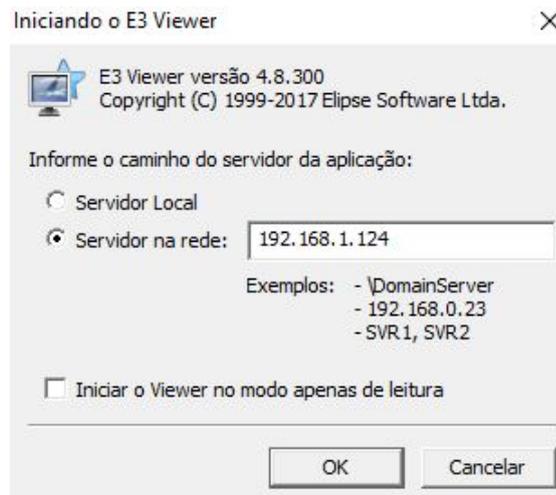


Figura 72 – Configuração do *Webclient*

4.4 Bancada

Outro componente importante deste projeto é a bancada, como descrito na arquitetura do sistema do projeto, na seção 3.2 deste trabalho, a bancada é o componente físico do sistema com atuadores pneumáticos e hidráulicos que funcionam como a saída física do sistema e sensores que são a entrada física de dados do sistema. A bancada tem como objetivo simular uma linha de produção real de portas automotivas, utilizando componentes simplificados, utilizados para fins didáticos, cujo funcionamento se assemelha ao dos equipamentos e máquinas reais encontrados no chão de fábrica. Os componentes utilizados para a montagem da bancada estão, em sua maioria, disponíveis no laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos da faculdade do Gama da Universidade de Brasília, permitindo a fácil reprodução do projeto, por alunos da faculdade, quando necessário. A figura 73 mostra a bancada completa, que pode ser dividida em 5 partes, identificadas na imagem.

A construção da bancada segue os diagramas pneumáticos e hidráulicos elaborados no FluidSIM definidos na seção 4.1 deste trabalho. Para uma melhor visualização, a bancada pode ser dividida em 5 partes:

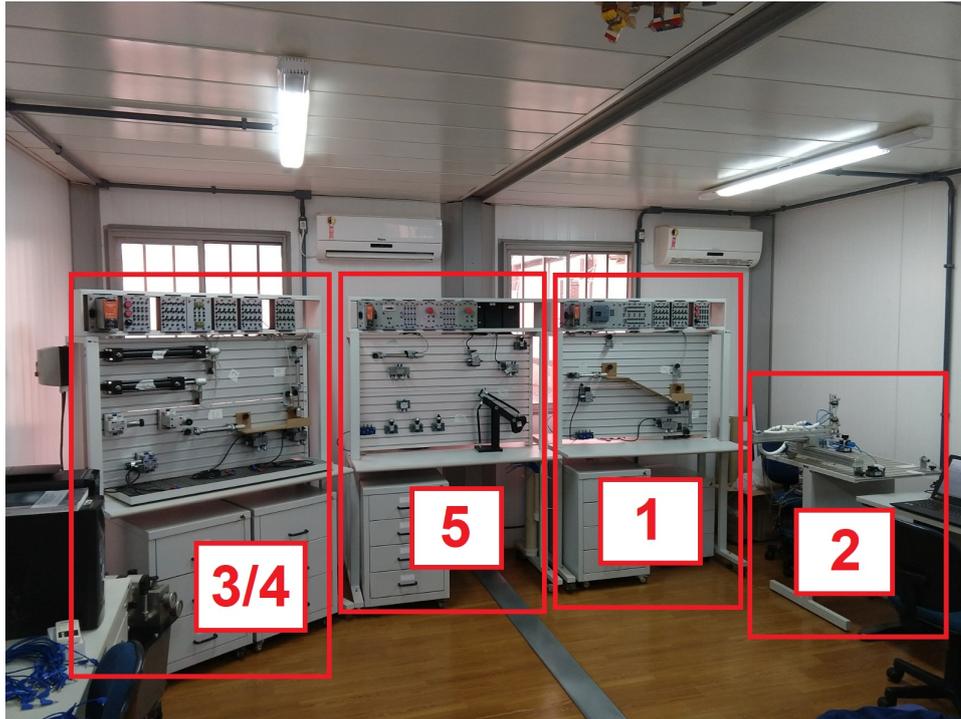


Figura 73 – Montagem da bancada completa

1. **Esteiras de transporte:** Esta parte da bancada é contruída com atuadores pneumáticos, sensores de proximidade e uma rampa feita de MDF. A figura 74 mostra a montagem desta parte da bancada.

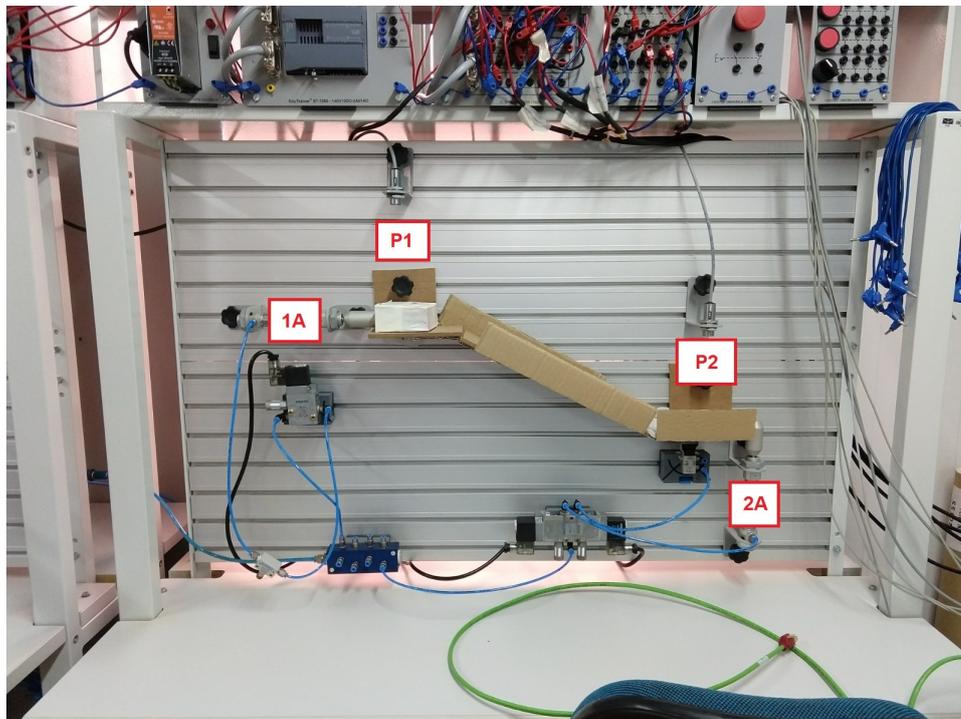


Figura 74 – Montagem das esteiras de transporte da bancada

2. **Manipulador cartesiano:** O manipulador cartesiano é uma bancada fornecida pela FESTO para fins didáticos, composta por atuadores pneumáticos lineares, sensores de posição e uma ventosa com gerador de vácuo, que será utilizada na elaboração da linha de produção simulada de portas automotivas. A figura 75 mostra a montagem desta parte da bancada.

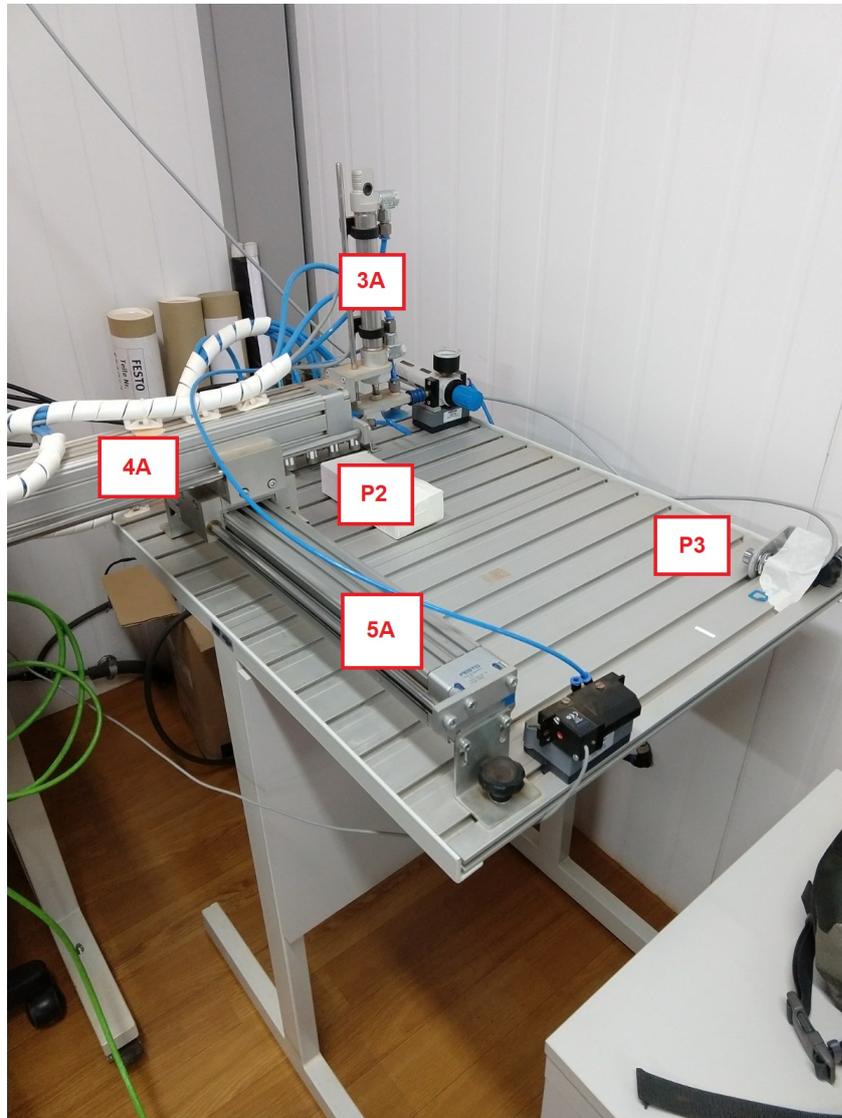


Figura 75 – Montagem do manipulador cartesiano da bancada

3. **Prensa hidráulica e expulsador pneumático:** Nesta parte da bancada se encontram atuadores hidráulicos e pneumáticos, sensores de proximidade e a unidade de acionamento hidráulico. Estes componentes representam uma prensa hidráulica de conformação de chapas metálicas e o expulsador pneumático da mesma. A figura 76 mostra a montagem desta parte da bancada em destaque à esquerda.

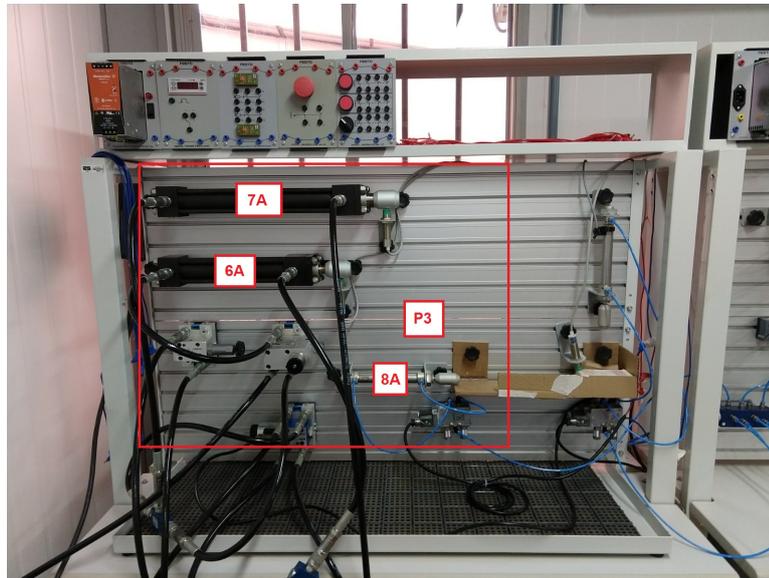


Figura 76 – Montagem da prensa hidráulica da bancada e expulsador

4. **Prensa pneumática:** Aqui estão dispostos atuadores pneumáticos, sensores de proximidade e uma ponte de MDF. Representam a prensa pneumática de corte e as esteiras de conexão entre as prensas. A figura 77 mostra a montagem desta parte da bancada em destaque à direita.

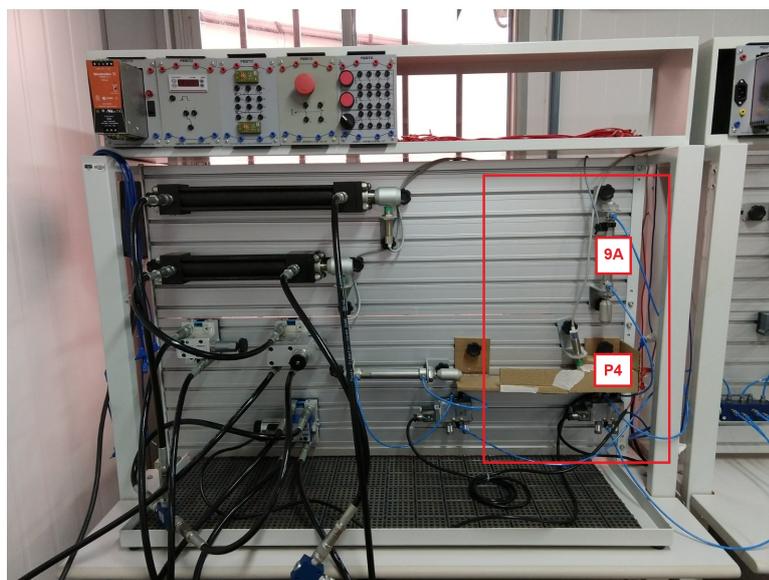


Figura 77 – Montagem da prensa pneumática de corte

5. **Estação de soldagem:** Na última parte da bancada está a montagem de um sistema puramente pneumático, independente do software SCADA, que representa o sistema de travas da estação de solda, mostrado na figura 78. Além disso está a montagem de um braço robótico, impresso em 3D, que utiliza músculos pneumáticos, para realizar movimento análogo ao de um braço robótico de solda industrial.

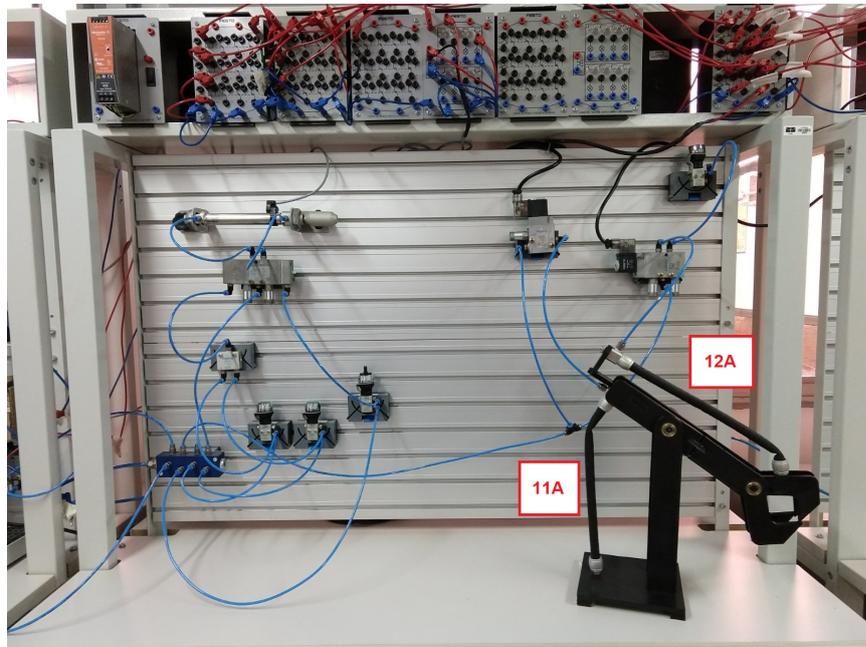


Figura 78 – Montagem da estação de solda

4.5 Braço pneumático da bancada

A fim de criar uma estrutura na bancada, da linha de produção simulada, que pudesse representar de maneira simplificada um braço de solda robótico, como os frequentemente encontrados nas linhas de produção automatizadas de estruturas automotivas e que pudesse ser utilizado também com fins didáticos pelo laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos da faculdade do Gama da Universidade de Brasília, foi feito o projeto em CAD da estrutura, utilizando o software “SolidWorks”, seguido da impressão 3D da mesma em plástico PLA. A figura 79 mostra o projeto CAD desenvolvido do braço pneumático, enquanto que a figura 80 mostra o processo de impressão 3D do mesmo.

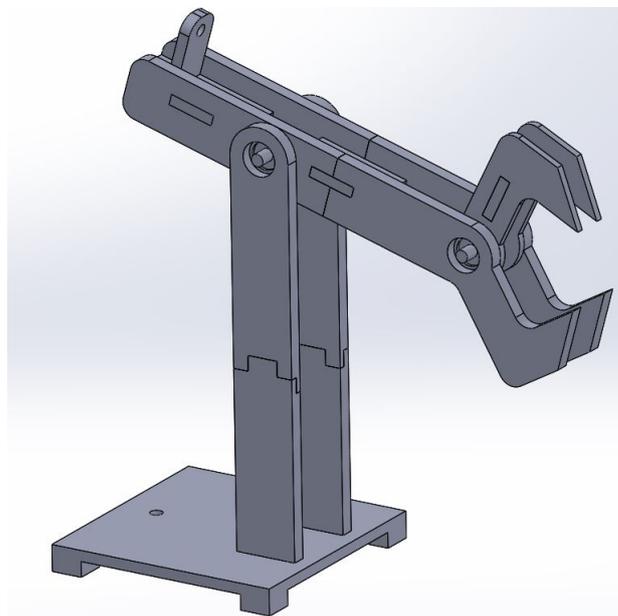


Figura 79 – Projeto CAD do braço pneumático

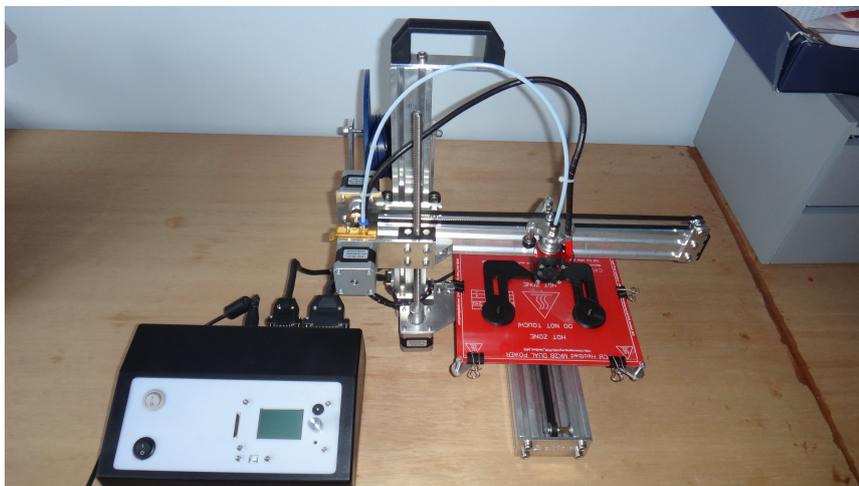


Figura 80 – Processo de impressão 3D do braço pneumático

A estrutura do braço pneumático da bancada também foi projetada com a intenção de utilizar os atuadores chamados de “músculos pneumáticos”, disponíveis no laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos da faculdade do Gama, que até então, não eram utilizados em nenhuma atividade do laboratório. A figura 81 mostra a montagem finalizada do braço pneumático, em conjunto com os músculos pneumáticos.

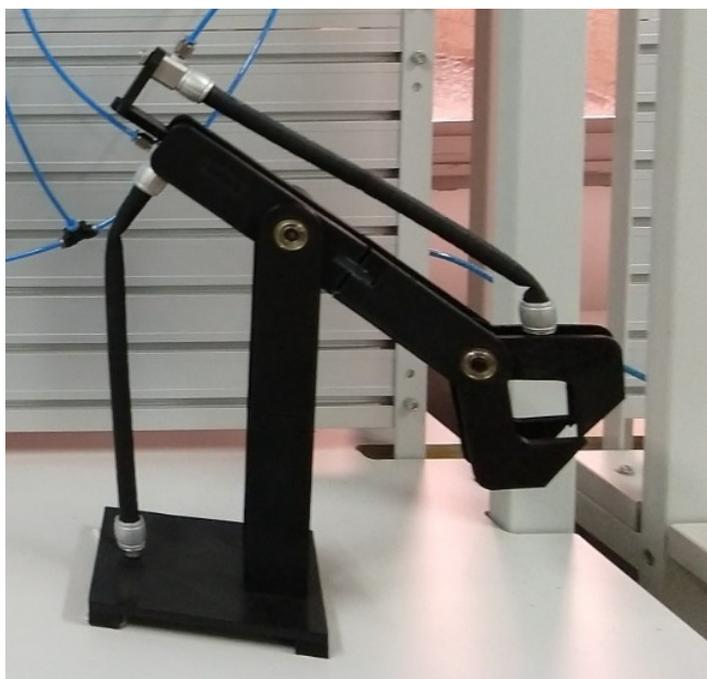


Figura 81 – Montagem do braço robótico pneumático

4.6 Estudo de caso

O estudo de caso deste projeto trata de duas situações do uso do sistema de automação desenvolvido, abrangendo o programa SCADA e a bancada. A primeira consiste em uma situação de uso normal, sem falhas, completando todo o ciclo de processos, que envolve a produção de uma porta automotiva na linha de produção simulada. A segunda situação mostra o uso do sistema em caso de identificação de uma falha.

- **Caso 1: Uso normal do sistema**

Após a definição das configurações iniciais de comunicação do sistema CLP-SCADA com a bancada, o programa SCADA desenvolvido é inicializado. Em seguida o botão “iniciar SCADA” do menu inicial é selecionado, figura 82. Mostrando então a tela do sinótico geral.



Figura 82 – Botão “Iniciar SCADA” do menu inicial

Na tela do sinótico geral é possível iniciar os processos da linha de produção simulada de portas automotivas, porém antes, é necessário que o operador local posicione na bancada as caixas, que representam as chapas metálicas, nas posições “P1” das esteiras transportadoras, “P2” do manipulador cartesiano e “P3” da prensa hidráulica, como identificado nas figuras 74 à 76 da seção 4.4 do texto. Após esse posicionamento inicial, os sensores da bancada conseguem identificar que as condições para o início dos processos da linha de produção simulada foram atingidas. O operador remoto então pode acionar o botão “BL1”, figura 83, para iniciar a etapa automatizada de transporte de chapas.

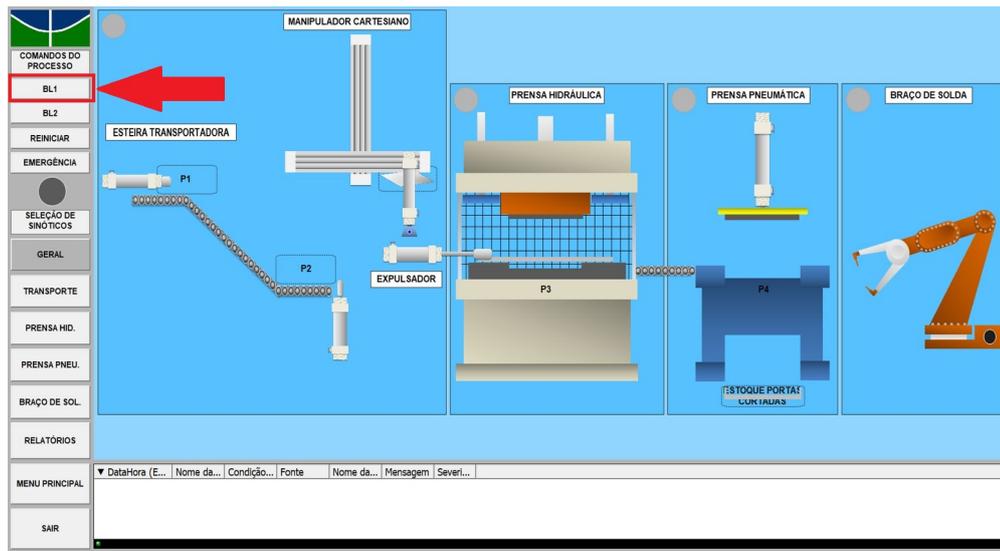


Figura 83 – Botão de comando “BL1” do SCADA

Caso nenhuma falha ocorra, ou seja identificada pelo sistema de alarmes do programa SCADA desenvolvido, os processos e animações gráficas, correspondentes às etapas de transporte, posicionamento, estampagem profunda e corte de chapas metálicas, serão realizados de maneira automática.

Em seguida o operador local pode realizar o posicionamento manual da chapa (representada pela caixa na bancada) e travamento da estação de solda, gerando um sinal sonoro, que indica ao operador remoto a possibilidade de ativar o funcionamento independente do braço pneumático da estação de solda ao acionar o botão “BL2” como mostrado na figura 84.

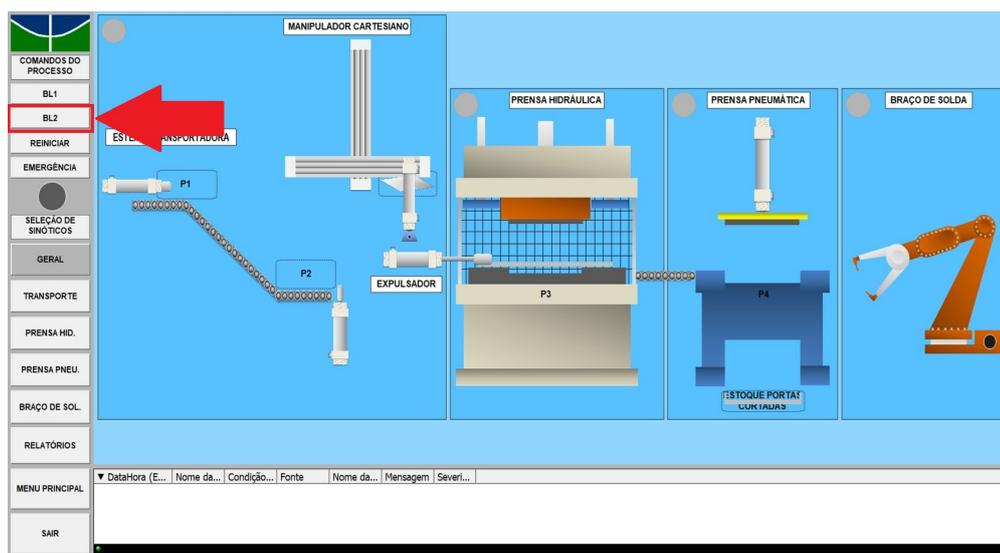


Figura 84 – Botão de comando “BL2” do SCADA

Por último, o operador remoto pode selecionar o botão “relatórios” para acessar a tela com os dados de produção, podendo ainda imprimir o relatório com estes dados. Além disso pode selecionar o botão “Reiniciar”, figura 85, para retornar todo o sistema SCADA às condições iniciais, permitindo a repetição dos processos, quando as condições iniciais da bancada física também forem reposicionadas pelo operador local.

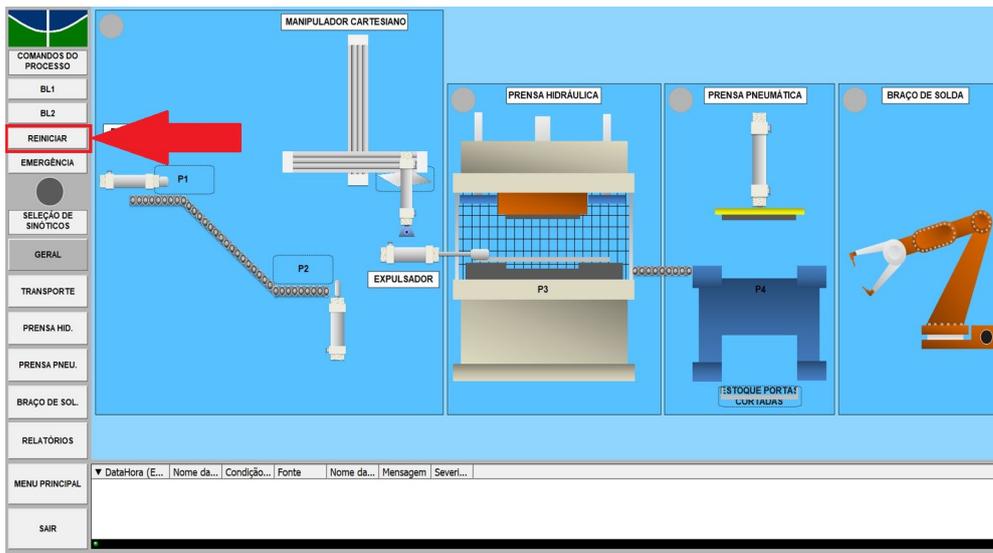


Figura 85 – Botão de comando “Reiniciar” do SCADA

- **Caso 2: Uso do sistema em caso de falha**

O caso 2 inicia da mesma maneira que o caso 1, ao definir as configurações de comunicação CLP-SCADA, selecionar o botão “Iniciar SCADA”, posicionar as caixas da bancada nas posições iniciais e selecionar o botão “BL1” para iniciar os processos automatizados.

Ao ocorrer alguma falha, detectada pelo operador remoto, ao identificar uma mensagem de alerta na caixa de alarmes do sinótico, gerada automaticamente pelo sistema, ou detectada pelo operador local na bancada física. O operador remoto pode acionar o botão “Emergência” no software SCADA, causando uma parada de emergência nos componentes físicos do sistema de automação da linha de produção, gerando também um sinal visual ao lado do botão e uma mensagem na caixa de alarmes, como mostrado na figura 86.

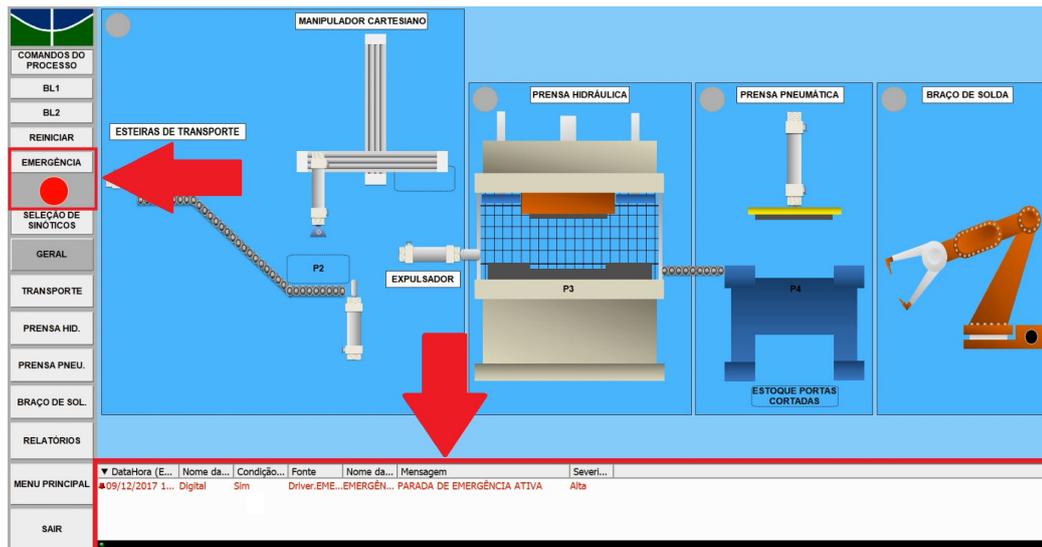


Figura 86 – Botão de comando “Emergência” e caixa de alarmes do SCADA

Quando a situação de emergência for normalizada, o operador remoto pode clicar novamente no botão “Emergência” para desativar os indicadores visuais da parada de emergência e continuar os processos normalmente, ou ainda, assim como no final do caso 1, selecionar o botão de comando “Reiniciar”, para retornar todo o sistema SCADA às condições iniciais, permitindo a repetição dos processos, quando as condições iniciais da bancada física também forem redefinidas pelo operador local.

5 Conclusão

A automação de processos, pode ser realizada em todo tipo de indústrias, trazendo à empresa benefícios produtivos e por sua vez econômicos. Este trabalho, teve como objetivo principal, o desenvolvimento de um projeto de automação e controle de uma linha de produção simulada de portas automotivas, através da implementação inteligente de tecnologias de automação industrial. Foi inicialmente realizada a identificação e descrição de todo o fluxo de processo produtivo da linha de produção de portas automotivas, definida como foco deste trabalho, por apresentar uma grande variedade de processos industriais diferentes e interconectados, envolvendo transporte, manipulação e posicionamento, prensagens e solda. Todos processos, que ao utilizarem de tecnologias de automação, apresentam grandes melhorias à produtividade, rapidez e eficiência.

Em seguida foi realizado todo o mapeamento e projeto de um sistema de automação utilizando os componentes didáticos, disponíveis no laboratório de sistemas hidráulicos e pneumáticos da faculdade do Gama da Universidade de Brasília. O projeto dos circuitos hidráulicos, pneumáticos, elétricos e até mesmo a programação em *Ladder* do CLP foram desenvolvidos utilizando o software FluidSim, com a intenção de utilizar ao máximo os equipamentos disponíveis no laboratório citado, dentro das limitações provenientes principalmente da quantidade de entradas e saídas digitais do CLP. Além de gerar uma documentação completa que permite a reprodução do sistema desenvolvido.

A parte mais trabalhosa e importante do trabalho foi o projeto e implementação de um sistema de controle e monitoramento CLP-SCADA da linha de produção simulada de portas automotivas. Primeiramente foi configurada a comunicação entre o CLP utilizado e o software SCADA escolhido, o Elipse E3, através do driver de comunicação Mprot. O programa SCADA foi então desenvolvido de maneira a atender todos os requisitos propostos, se mantendo dentro da limitação da versão demo do Elipse E3, de 20 *tags* de comunicação entre o CLP e o software SCADA. Foram elaborados sinóticos com animações e botões de comando, além de sistema de alarmes e relatórios. Apesar de comuns em softwares SCADA, gráficos não foram gerados, pois o sistema trabalha somente com dados discretos.

A montagem de uma bancada física, de acordo com o projeto do sistema de automação definido, em que são utilizados os componentes pneumáticos, hidráulicos e elétricos do laboratório da faculdade do Gama, permitiu a integração com o sistema de controle e monitoramento CLP-SCADA. Foi também desenvolvido uma estrutura simples e didática para a bancada, que representa o funcionamento de um braço robótico pneumático, estrutura a qual, será posteriormente utilizada em outras atividades do laboratório. O

projeto desenvolvido conseguiu atender aos 3 primeiros níveis de arquitetura de automação, de uma maneira que possibilita a fácil reprodução do projeto, por estudantes que venham utilizar o laboratório, mantendo a complexidade de um sistema de automação com a qualidade dos encontrados na indústria.

Por último foram realizados dois estudos de caso do sistema SCADA, mostrando a simplicidade e as funcionalidades do sistema desenvolvido, tanto em situações de uso normal, quanto em situações com falhas. Mostrando de maneira real benefícios da automação com sistemas de controle CLP-SCADA, como o aumento da eficiência e velocidade de processos, além da fácil identificação de falhas. Foi também criado um tutorial básico de programação no Eclipse E3, adicionado ao apêndice do trabalho.

O projeto de automação desenvolvido neste trabalho, teve que levar em conta várias limitações, de equipamentos, tempo e escopo de projeto. Ao eliminar estas limitações seria possível desenvolver com os conhecimentos aqui utilizados, um sistema de automação CLP-SCADA profissional, com ainda mais funcionalidades, monitoramento e controle ainda mais eficientes.

Referências

- 1 *Automação na indústria automotiva*. Disponível em: <<http://konspekta.net/doclecturenet/baza1/1673489128019.files/image012.png>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 23.
- 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 13 e 27.
- 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 13 e 29.
- 4 *Exemplo de porta metálica automotiva*. Disponível em: <<http://fq2.proenergo.ru/img/control/E376.gif>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 31.
- 5 *Estrutura BiW*. Disponível em: <<https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/sketches/pics/2304/thumb.jpg?1340691798>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 31.
- 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 13 e 32.
- 7 *Exemplo de braço robótico*. Disponível em: <<http://ming3d.com/wordpress/wp-content/uploads/2015/09/spot-welding.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 35.
- 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 13 e 36.
- 9 *Pirâmide da automação industrial*. Disponível em: <<http://d705243685.tecla337.tecla.com.br/images/blog/piramide.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 37.
- 10 *Sensor de proximidade*. Disponível em: <<http://www.kiowa.co.uk/SupplyImages/WF00017/64326483264.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 37.
- 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 13 e 38.
- 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 13 e 39.
- 13 *Exemplo de mainframe*. Disponível em: <<http://blog.syncsort.com/wpcontent/uploads/Syncsortmainframeoffload.png>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 39.
- 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 13 e 40.

- 15 CLP Siemens Simatic S7. Disponível em: <<http://www.selzbusinesshouse.com/images/iautomation/s7-1200.jpg>>. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 45.
- 16 SIEMENS. *Basics of PLCs*. [S.l.], 1999. Citado 3 vezes nas páginas 13, 44 e 46.
- 17 FIALHO, A. B. *Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. [S.l.]: Érica, 2004. Citado 8 vezes nas páginas 13, 23, 41, 43, 44, 46, 47 e 71.
- 18 GROOVER, M. P. *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. [S.l.]: Prentice Hall, 2000. Citado 9 vezes nas páginas 23, 24, 35, 37, 40, 44, 45, 47 e 49.
- 19 PESSOA, M.; SPINOLA, M. *Introdução à Automação para Cursos de Engenharia e Gestão*. [S.l.]: Elsevier Editora Ltda, 2014. Citado 6 vezes nas páginas 23, 35, 36, 44, 45 e 46.
- 20 FIALHO, A. B. *Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos*. [S.l.]: Érica, 2004. Citado 7 vezes nas páginas 23, 41, 42, 43, 44, 50 e 71.
- 21 NIEUWENHUIS, P.; WELLS, P. (Ed.). *The Global Automotive Industry*. [S.l.]: Wiley, 2015. Citado 3 vezes nas páginas 24, 27 e 40.
- 22 OMAR, M. A. *The Automotive Body Manufacturing Systems and Proceses*. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd., 2011. Citado 9 vezes nas páginas 25, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 49.
- 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 27.
- 24 SCHWAB, K. *The Fourth Industrial Revolution*. [S.l.]: World Economic Forum, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 36.
- 25 GILCHRIST, A. *Industry 4.0, the industrial internet of things*. [S.l.]: Apress, 2016. Citado na página 28.
- 26 CHIABERGE, M. *New Trends and Developments in Automotive Industry*. [S.l.]: InTech, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 31 e 32.
- 27 MAO, T.; ALTAN, T. Aluminum sheet forming for automotive applications, part i: Material properties and design guidelines. *STAMPING JOURNAL*, 2013. Citado na página 32.
- 28 CHIAVERINI, V. *Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento Vol. II*. [S.l.]: McGraw-Hill, 1986. Citado 4 vezes nas páginas 32, 33, 34 e 35.
- 29 FILHO, E. B.; SILVA, I. B. da et al. *Conformação Plástica dos Metaís*. [S.l.]: EPUPSP, 2011. Citado na página 33.
- 30 RIBEIRO, M. A. *Automação Industrial*. [S.l.]: Tek Treinamento & Consultoria Ltda, 1999. Citado na página 36.
- 31 CARVALHO, P. C. Arquiteturas de sistemas de automação industrial utilizando clps. *Mecatrônica Atual*, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 40.
- 32 BRANQUINHO, M. A.; SEIDL, J. et al. *Segurança de Automação Industrial e SCADA*. [S.l.]: Elsevier Editora Ltda., 2014. Citado na página 48.

Apêndices

APÊNDICE A – Tutorial básico da programação SCADA

De maneira geral, após a configuração inicial da comunicação CLP-SCADA, a programação de um software SCADA no Eclipse E3, que envolve basicamente a definição de sinóticos com animações, botões de comando e *displays* de dados referentes ao processo monitorado, segue os seguintes passos:

1. **Definição de telas:** São nas telas que são inseridos os elementos gráficos com o qual o operador irá lidar durante o monitoramento e controle dos processos. é possível inserir novas telas ao clicar com o botão direito sobre a aba “telas” do *organizer* do E3 studio. A quantidade de telas vai de acordo com a necessidade do desenvolvedor. É importante definir uma tela como sendo a principal, geralmente um menu inicial. A figura 87 mostra a lista de telas criadas neste projeto.

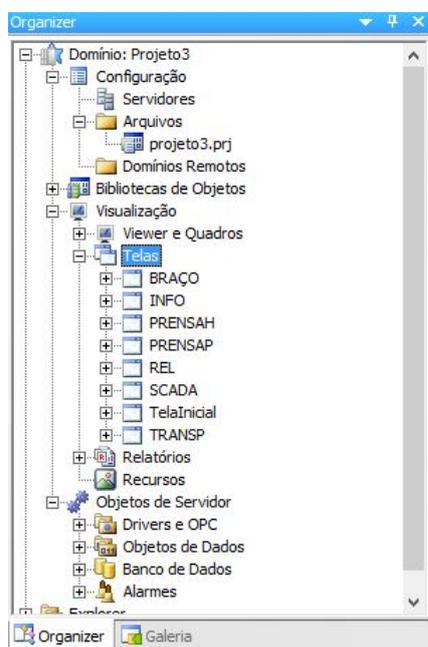


Figura 87 – *Organizer* do E3 studio com a lista de telas

2. **Inserção de elementos gráficos:** Dentre os elementos gráficos que podem ser inseridos em cada tela estão botões, *displays* de dados e imagens. O Elipse E3 apresenta uma grande biblioteca de imagens prontas, porém, devido às limitações da versão Demo, somente a primeira imagem de cada biblioteca está disponível, dessa maneira é possível importar imagens externas, para a elaboração de sinóticos mais complexos. A figura 88 mostra a aba de ferramentas utilizadas para a inserção de elementos gráficos.



Figura 88 – Barra de ferramentas Elipse E3 studio

3. **Definição das condições de início das animações:** Após a definição das *tags* de comunicação, associadas às variáveis auxiliares da programação *ladder*, é possível definir as condições de início de cada animação, para que assim, os processos no ambiente de monitoramento SCADA acompanhem os processos reais realizados pela bancada. Essa definição é realizada ao inserir eventos nas *tags* de comunicação. Cada evento acionará um script quando a condição definida for atingida. A figura 89 mostra a criação de um novo evento e script em uma *tag* de comunicação, enquanto que a figura 90 mostra a configuração da condição de um evento.

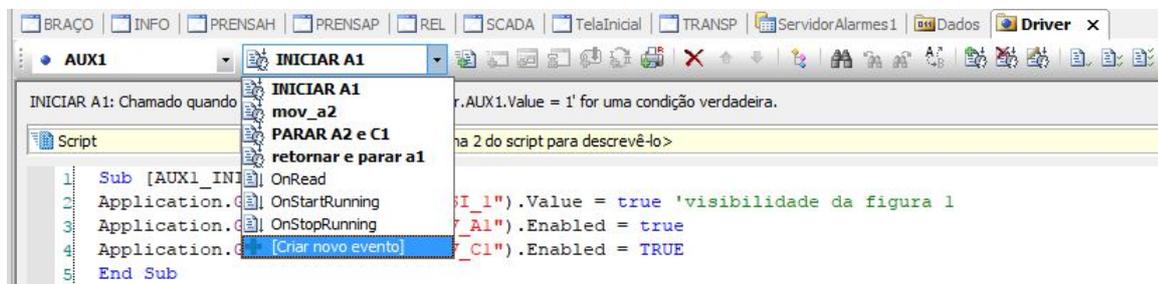


Figura 89 – Criação de um novo evento e script

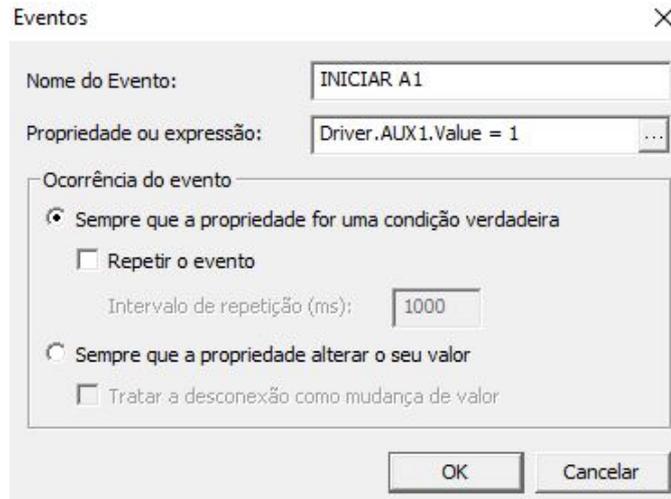


Figura 90 – Configuração do evento

4. **Animação de elementos gráficos:** No Elipse E3 studio existem ferramentas para a definição de animações de elementos gráficos por translação ou rotação. De maneira geral, cada animação se move associada à um valor definido, ao variar este valor, o movimento irá acontecer. Para isso é necessário criar uma “tag demo”, que ao ser ativada (através de um script definido em um evento) e associada à animação, irá variar o valor de forma contínua. Outra forma de realizar uma animação é utilizar de “tags internas” para alterar a visibilidade dos elementos gráficos. A figura 91 mostra o ambiente para criação das tags demo e internas para definição de animações de translação e rotação.

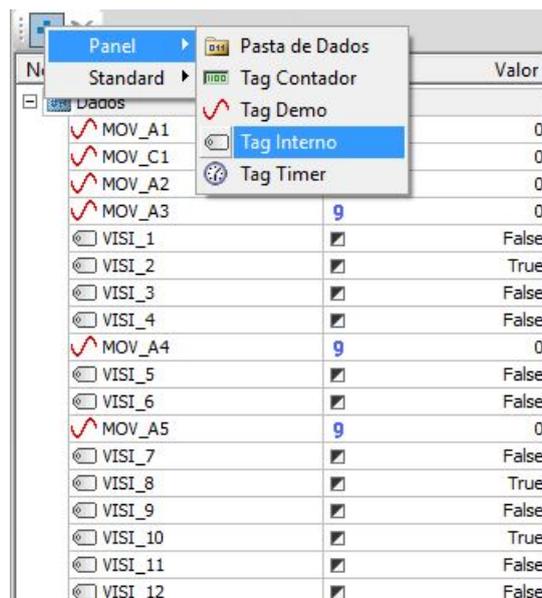
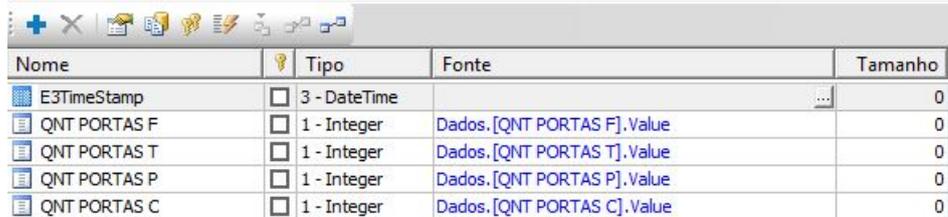


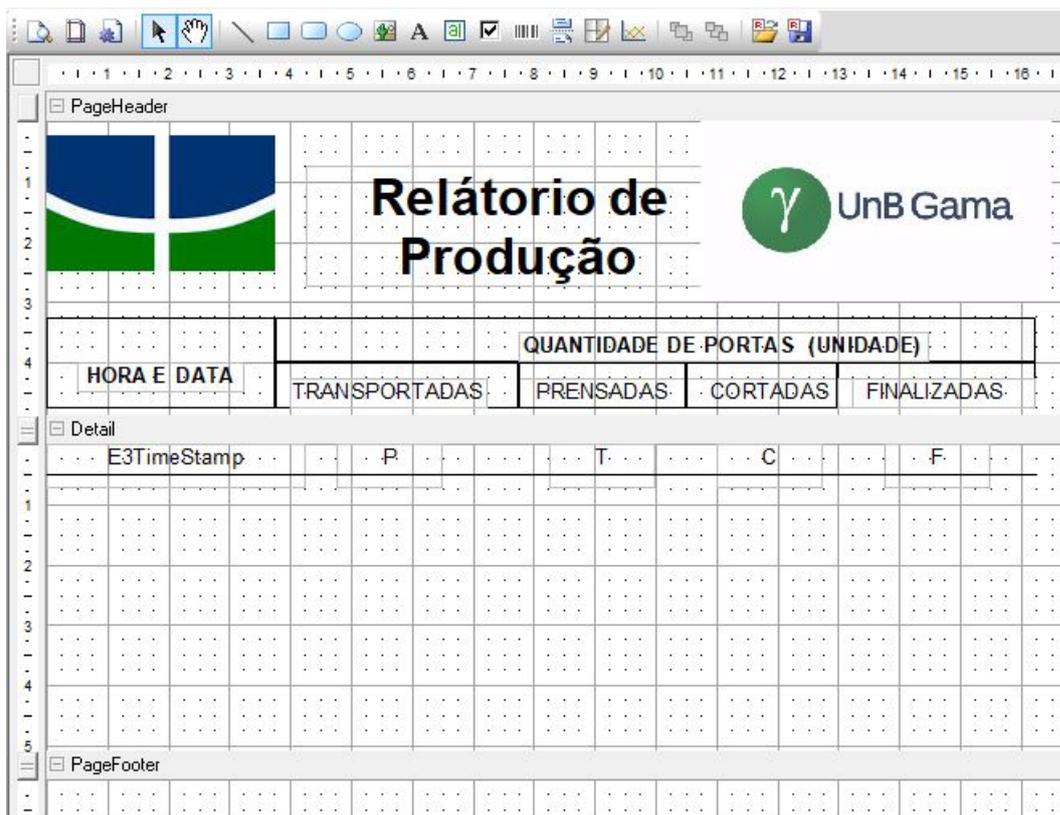
Figura 91 – Criação das tags demo e internas

5. **Criação de relatórios:** No Elipse E3 existem ferramentas específicas para a criação de relatórios personalizados, como mostrado na figura 92. Antes porém, é necessário a criação de um banco de dados e um histórico, associados aos valores de *tags* internas que fazem a contagem de alguma variável, cujo valor, seja interessante de mostrar no relatório. A figura 93 mostra as variáveis armazenadas no banco de dados. Também é possível mostrar os dados armazenados em um elemento gráfico na tela do SCADA utilizando o elemento “E3Browser” .



Nome	Tipo	Fonte	Tamanho
E3TimeStamp	3 - DateTime		0
QNT PORTAS F	1 - Integer	Dados.[QNT PORTAS F].Value	0
QNT PORTAS T	1 - Integer	Dados.[QNT PORTAS T].Value	0
QNT PORTAS P	1 - Integer	Dados.[QNT PORTAS P].Value	0
QNT PORTAS C	1 - Integer	Dados.[QNT PORTAS C].Value	0

Figura 92 – Criação do relatório



The screenshot shows a report design interface for 'Relatório de Produção' (Production Report) for 'UnB Gama'. The report is structured into sections: PageHeader, Detail, and PageFooter. The PageHeader contains a logo and the title. The Detail section is a table with columns for 'HORA E DATA' and 'QUANTIDADE DE PORTAS (UNIDADE)', which is further divided into 'TRANSPORTADAS', 'PRENSADAS', 'CORTADAS', and 'FINALIZADAS'. The table has a header row and several data rows, all currently empty. The PageFooter is also empty.

HORA E DATA		QUANTIDADE DE PORTAS (UNIDADE)			
		TRANSPORTADAS	PRENSADAS	CORTADAS	FINALIZADAS
E3TimeStamp	P	T	C	F	

Figura 93 – Variáveis do banco de dados

6. **Criação de alarmes:** Assim como para a criação de relatórios no Elipse E3, existem ferramentas próprias para a criação de alarmes, os quais podem ser mostrados na tela do sinótico através de um elemento gráfico chamado “E3Alarm ” . Antes é necessário a criação de um servidor de alarmes e a definição dos mesmos. A figura 94 mostra o *Organizer* do SCADA com o servidor de alarmes criado no projeto, e a figura 95 mostra a definição de um alarme.

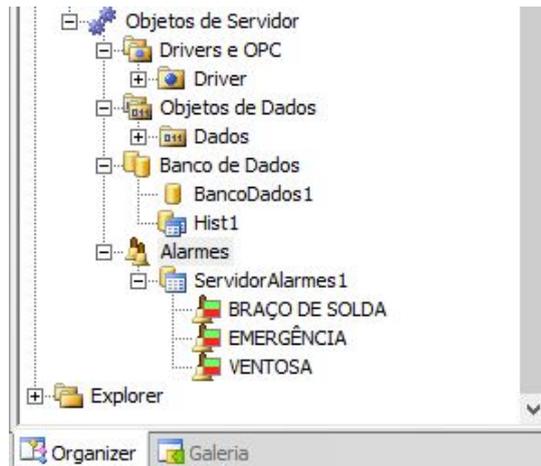


Figura 94 – *Organizer* do SCADA com o servidor de alarmes

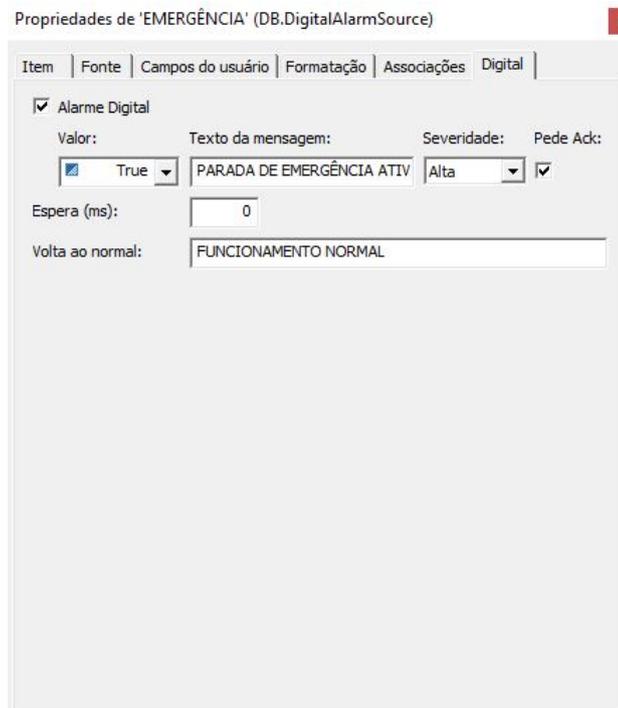


Figura 95 – Definição de um alarme