



isec
Engenharia

MESTRADO EM ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA

**Projetos de automação utilizando
robótica industrial**

Autor

Helder Rodrigues Monteiro Neves

Orientador

Professor Adjunto Nuno Miguel Fonseca Ferreira

Coimbra, janeiro de 2022

INSTITUTO POLITÉCNICO DE
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA



isec

Engenharia

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA

Projetos de automação utilizando robótica industrial

Relatório de Estágio de Natureza Profissional para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais

Autor

Helder Rodrigues Monteiro Neves

Orientador

Professor Adjunto Nuno Miguel Fonseca Ferreira

Supervisor na empresa

Real Robotic Systems

Eng. Luís Miguel Nolasco

INSTITUTO POLITÉCNICO DE
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

Coimbra, janeiro de 2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares e namorada, pelo apoio recebido em todas as fases do desenvolvimento deste trabalho, que se revelou crucial para a elaboração deste trabalho. Agradeço-lhes pela compreensão e habitual motivação com que pude contar ao longo deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Nuno Ferreira por todo o apoio e paciência que teve comigo, agradeço-lhes a boa disposição, compreensão, conselhos e a total disponibilidade durante a realização deste trabalho.

Ao meu supervisor, Eng. Luís Nolasco pela disponibilidade, orientação, simpatia e por o conhecimento e documentos partilhados que permitiram a elaboração deste trabalho, e também os conselhos e a total disponibilidade durante todo o estágio.

Aos meus colegas de mestrado pela ajuda, motivação e por todos os bons momentos e pelas dificuldades passados juntos.

Agradeço ainda a todos os que não foram mencionados, mas que de alguma forma ajudaram no dia a dia.

RESUMO

Os avanços tecnológicos alcançados ao longo dos anos mudaram a forma como se encara os processos produtivos. Atualmente, as tecnologias de produção são completamente diferentes do passado. As novas tecnologias de produção mudaram fundamentalmente as condições de trabalho e o estilo de vida das pessoas. A mudança do estilo de vida surge como consequência da capacidade de inovação e implementação de novas dinâmicas na indústria. Esta nova indústria desenvolveu sistemas mais capazes e melhorou a qualidade dos produtos que chegam até as pessoas.

A automação industrial e os sistemas robóticos trouxeram mais robustez, mais eficiência e mais garantia de segurança ao setor industrial. Atualmente, a indústria é caracterizada pela exatidão e repetibilidade de processos, o que é uma mais-valia quando se fala em volume, rapidez e qualidade de produtos, substituindo outras ferramentas menos adequadas ou a mão-de-obra humana.

O objetivo deste trabalho é apresentar algum do trabalho desenvolvido durante a realização do estágio curricular na empresa Real Robotic Systems no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais. Abrangendo a área de automação e robótica este trabalho apresenta algumas soluções de automação e robótica para a indústria no seu geral.

Deste modo, o documento pretende mostrar a simbiose entre o operador, os sistemas de automação e robótica, os dispositivos táteis e as ferramentas de trabalho. Como exemplo, este documento apresenta um trabalho de automação desenvolvido para um processo de automação de corte de metal, através de um serrote semiautomático e o desenvolvimento de um projeto de robótica para uma célula de produção.

Palavras-Chave: PLC, HMI, Automação Industrial, Robótica

ABSTRACT

Technological advances achieved over the years have changed the way in which production processes are viewed. Currently, production technologies are completely different from the past. New production technologies have fundamentally changed people's working conditions and lifestyles. The change in lifestyle arises as a result of the ability to innovate and implement new dynamics in the industry. This new industry has developed more capable systems and improved the quality of products that reach people.

Industrial automation and robotic systems have brought more robustness, more efficiency and more security guarantees to the industrial sector. Currently, the industry is characterized by the accuracy and repeatability of processes, which is an asset when it comes to volume, speed and quality of products, replacing other less suitable tools or human labor.

The objective of this work is to present some of the work developed during the curricular internship at Real Robotic Systems in the scope of the Master in Electrotechnical Engineering - Specialization Area in Automation and Communications in Industrial Systems. Covering the automation and robotics area, this work presents some automation and robotics solutions for the industry in general.

In this way, the document intends to show the symbiosis between the operator, automation and robotics systems, tactile devices and work tools. As an example, this document presents an automation work developed for a metal cutting automation process, through a semi-automatic saw and the development of a robotics project for part of a production line.

Palavras-Chave: PLC, HMI, Industrial Automation, Robotics

ÍNDICE

1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do trabalho	1
1.2. Motivações.....	1
1.3. Objetivos do trabalho.....	2
1.4. A Empresa.....	2
1.5. Estrutura do trabalho.....	3
2. CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR	5
2.1. Automação de sistemas	5
2.1.1. Automação vs. automatização	5
2.1.2. Desenvolvimento da automação	5
2.1.3. Classificação dos sistemas de automação.....	7
2.1.4. Componentes de <i>hardware</i> para automação.....	8
2.1.4.1. <i>Programmable Logic Controllers</i> (PLC)	8
2.1.4.2. <i>Hardware</i> de um PLC	9
2.1.4.3. Módulos de Entradas/Saídas	12
2.1.4.4. Tipos de sistemas do PLC	13
2.1.4.5. Seleção de PLCs.....	14
2.1.4.6. Tipos de E/S e capacidade necessária	15
2.1.4.7. Programação.....	16
2.1.5. Sensores.....	18
2.2. Robótica industrial.....	24
2.2.1. Conceito de Robô	24
2.2.2. Estrutura de um robô industrial	25
2.2.2.1. Unidade de controlo	26
2.2.2.2. Unidade de programação “ <i>Teach Pendant</i> ”	27
2.2.3. Sistemas manipuladores robóticos.....	29
2.2.4. Classificação dos robôs	31
2.2.5. Especificações do robô industrial.....	33
2.2.6. Tipos de programação	35
2.3. <u>Redes industriais</u>	<u>36</u>
2.3.1. <u>Introdução</u>	<u>36</u>

Projetos de Automação utilizando Robótica Industrial	
2.3.2. Protocolos de comunicação	38
2.3.2.1. PROFIBUS	39
2.3.2.2. PROFINET	42
2.3.2.3. ETHERCAT	43
2.4. Supervisão.....	44
2.4.1. Introdução.....	44
2.4.2. <i>Software</i> de supervisão do tipo SCADA	45
2.4.3. Ecrãs de supervisão	45
2.4.3.1. Ecrãs de visão geral.....	46
2.4.3.2. Ecrãs de grupo	46
2.4.3.3. Ecrãs de detalhe.....	46
2.4.3.4. Ecrãs de tendência – histórica e real.....	46
2.4.3.5. Ecrãs de manutenção	46
2.4.3.6. Relatórios	47
3. Capítulo 3 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR	48
3.1. Fase 1 do Estágio - Acompanhamento de trabalhos desenvolvidos pela empresa	48
3.1.1. Desenvolvimento de trabalhos no software TIA Portal.....	48
3.1.1.1. Trabalhos propostos	49
3.1.1.2. Criando um projeto no TIA Portal	50
3.1.1.3. Adicionar dispositivos ao projeto.....	51
3.1.1.4. Configuração da comunicação entre os dispositivos.....	52
3.1.1.5. Configuração do PLC.....	53
3.1.1.6. Criar tabela de variáveis	55
3.1.1.7. Adicionar Blocos.....	57
3.1.1.8. Adicionar um dispositivo HMI ao projeto.....	60
3.2. Fase 2 – Desenvolvimento de projetos	65
3.2.1. Projeto do serrote semiautomático de duas colunas	65
3.2.1.1. Sistema elétrico do serrote semiautomático	66
3.2.1.2. Sensores do serrote semiautomático.....	66
3.2.1.3. Ajuste da pressão de corte	67
3.2.1.4. Velocidades de corte	67
3.2.1.5. Configuração do variador de velocidade.....	67
3.2.1.6. Dispositivos utilizados	69

Projetos de Automação utilizando Robótica Industrial	
3.2.1.7. Software utilizado	72
3.2.1.8. Desenvolvimento do fluxograma do processo de corte	74
3.2.1.9. Desenvolvimento dos ecrãs para o HMI	77
3.2.2. Projeto de robótica de uma célula de produção	82
4. CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO.....	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
ANEXOS	95
ANEXO A - Circuitos do serrote semiautomático	95
ANEXO B – Comparação entre os modelos S7-200.....	106
ANEXO C - Recomendações de corte do serrote semiautomático	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização da Empresa Real Robotic Systems.	2
Figura 2.1 - Regulador de fluxo de vapor em máquinas de James Watt	6
Figura 2.2 - PLC da Siemens - CPU 1512SP-1 PN.	9
Figura 2.3 - Estrutura de um PLC.....	10
Figura 2.4 – Exemplo de um painel de um PLC.....	11
Figura 2.5 - Ligação do módulo de entrada do PLC.....	13
Figura 2.6 - Ligação do módulo de saída do PLC	13
Figura 2.7 - Exemplo de um diagrama ladder	16
Figura 2.8 – Sensores de Foto-resistências.....	19
Figura 2.9 - Esquema de um sensor de fotodiodo.	20
Figura 2.10 - Sensores de fotodiodos.	20
Figura 2.11 - Sensores de fototransistores.	20
Figura 2.12 - Sensores capacitivos.	21
Figura 2.13 - Sensores indutivos.	22
Figura 2.14 - Sensores térmicos.....	22
Figura 2.15 - Detetores por ultrassom	23
Figura 2.16 - Sensor infravermelho.	23
Figura 2.17 - Estrutura de um robô industrial.....	26
Figura 2.18 - Unidade de controlo de um robô.....	27
Figura 2.19 - <i>Teach Pendant</i> do robô da KUKA.....	28
Figura 2.20 - Ecrã de texto ou gráfico do <i>Teach Pendant</i> da KUKA.....	28
Figura 2.21 - Teclado do <i>Teach Pendant</i> da KUKA.	28
Figura 2.22 - Botões direcionais do <i>Teach Pendant</i> da KUKA.....	29
Figura 2.23 - Botão de emergência do <i>Teach Pendant</i> da KUKA.....	29
Figura 2.24 - Sistemas manipuladores robóticos.....	31
Figura 2.25 - Robô de coordenadas cartesianas.....	32
Figura 2.26 - Robô de coordenadas paralelas.	32
Figura 2.27 - Robô SCARA.	33
Figura 2.28 - Espaço de trabalho do robô <i>Motoman</i> MH6-S.	34
Figura 2.29 - Robô industrial com capacidade de carga de 1.200 kg e alcance horizontal de 4,6 m.	35
Figura 2.30 - Níveis e protocolos das redes industriais	37
Figura 2.31 – Exemplo de uma rede industrial utilizando o protocolo PROFIBUS.....	40
Figura 2.32 - Exemplo de ligações RS485, fêmea e macho	40
Figura 2.33 - Modelo de cabo e conector padrão IEC-61158-2	40
Figura 2.34 - Integração PROFINET e PROFIBUS.....	43
Figura 2.35 - Estrutura de um dispositivo PROFINET.	43
Figura 2.36 - Topologia da rede EtherCAT.....	44
Figura 3.1 – Processo de configuração da ligação entre o <i>software</i> SIMATIC STEP 7 e o <i>hardware</i>	49

Figura 3.2 - Página inicial do TIA Portal.....	50
Figura 3.3 - Dados do projeto.	50
Figura 3.4 - Aceder ao ambiente do projeto.	51
Figura 3.5 - Adicionando dispositivos.....	51
Figura 3.6 - Adicionar controladores.....	52
Figura 3.7 - <i>Network View</i> dos dispositivos criados.....	52
Figura 3.8 - Pontos de ligação dos dispositivos.....	53
Figura 3.9 - Ligação PROFINET entre dispositivos.....	53
Figura 3.10 - Adicionando módulos de entrada e saída.....	54
Figura 3.11 - Hardware do PLC	54
Figura 3.12 - Ecrã depois de adicionar PLC	55
Figura 3.13 - Criar <i>tag table</i> no TIA Portal.	55
Figura 3.14 - Adicionar <i>tags</i> a tabela.....	56
Figura 3.15 - Lista de <i>tag tables</i> do projeto.....	56
Figura 3.16 - Adicionar blocos ao programa.	58
Figura 3.17 - Blocos criados para o programa.....	59
Figura 3.18 - FB chamado dentro de um FC	59
Figura 3.19 - Configuração da memória do clock.	60
Figura 3.20 - DB de uma FB específica.....	60
Figura 3.21 - Adicionar HMI ao projeto.....	61
Figura 3.22 - Configuração do HMI	61
Figura 3.23 - Ligação entre o HMI e o PLC.....	62
Figura 3.24 - HMI adicionado ao projeto.	62
Figura 3.25 - HMI adicionado ao projeto.	63
Figura 3.26 - Adicionar objetos ao HMI	63
Figura 3.27 – Fazer a ligação entre as <i>tags</i> do HMI as do PLC	64
Figura 3.28 - Ecrãs de HMI desenvolvidas no TIA Portal	64
Figura 3.29 - Serrote semiautomático duas colunas S2C 650 DG.....	65
Figura 3.30 - Dimensões do serrote semiautomático.....	65
Figura 3.31 – Inversor de frequência GD20.	68
Figura 3.32 - CPU S7-200.	69
Figura 3.33 - Vista frontal do HMI SIMATIC OP 170B.....	70
Figura 3.34 - Vista lateral do HMI SIMATIC OP 170B	70
Figura 3.35 - Vista de baixo do HMI SIMATIC OP 170B.....	71
Figura 3.36 - Ligação do HMI SIMATIC OP 170B ao PLC.....	71
Figura 3.37 - Posição da chave para o OP 170B	71
Figura 3.38 - Ligação do HMI SIMATIC OP 170B ao PC	72
Figura 3.39 - Cabo De Programação 6ES7972-0CB20-0XA0 para S7-200/300/400 Adaptador Profibus/Mpi/ppi.....	72
Figura 3.40 - STEP 7 - Micro/WIN.	73
Figura 3.41 - Interface de comunicação do STEP 7 – Micro/WIN.	73
Figura 3.42 – Estrutura do serrote semiautomático	74
Figura 3.43 - Estrutura pormenorizado do serrote semiautomático.....	75

Figura 3.44 - Fluxograma do processo de corte	76
Figura 3.45 - Código para segurança da operação da máquina e do operador.	77
Figura 3.46 – <i>Software WinCC flexible</i>	78
Figura 3.47 - Comunicação entre o HMI e o PLC	78
Figura 3.48 - Ecrã principal.	79
Figura 3.49 - Ecrã de configurações.	79
Figura 3.50 - Ecrãs com a informação das funcionalidades	80
Figura 3.51 - Lista de funcionalidades.	80
Figura 3.52 - Ecrã dos alarmes.	81
Figura 3.53 - Lista de alarmes referentes ao caderno de encargo do sistema desenvolvido.....	81
Figura 3.54 – <i>Layout</i> da célula produção no KUKA Sim Pro.	82
Figura 3.55 - Robô KUKA KR 180 R2500 Extra	83
Figura 3.56 - <i>Teach Pendant</i> da KUKA	84
Figura 3.57 – Representação dos 6 eixos do robô.	84
Figura 3.58 - a) Teclas de movimento - b) <i>Space mouse</i>	85
Figura 3.59 - Funcionalidade <i>Teach</i> do KUKA Sim Pro.	85
Figura 3.60 - Movimento PTP com posicionamento exato.	86
Figura 3.61 - Movimento PTP com posição de aproximação.	86
Figura 3.62 - Robô 1 e Robô 2	87
Figura 3.63 – Tarefas executadas pelo robô 1	88
Figura 3.64 – Robô com ferramenta de furo	88
Figura 3.65 – Tarefas executadas pelo Robô 2.....	89
Figura 3.66 – Tarefas executadas pelo Robô 3.....	90

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 2.1 - Tipos de PLCs consoante o tamanho e número de E/S	14
Tabela 2.2 - Classificação geral das redes industriais.	38
Tabela 3.1- Configuração do variador de frequência	68
Tabela 3.2 - Especificações do robô KUKA KR 180 R2500 Extra.....	83

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

ASI – Actuador-Sensor Interface

CAN - Controller Area Network

Cds – Sulfeto de Cádmiio

CPU – Central Process Unit

DB – Data Block

EEPROM – Erasable Programmable Read-Only Memory

E/S – Entrada/Saída

ETG – EtherCat Technology Group

EtherCAT – Ethernet Control Automation Technology

FB – Function Block

FBD – Function Block Diagram

FC – Functions

HMI – Human-Machine Interface

IEC - International Electrotechnical Commission

IL – Instruction List

IP – Internet Protocol

IRT – Isochronous Real Time

LD – Ladder

LED – Light-Emitting Diode

LDR – Light Controller Resistor

m – Metro

mm – Milímetro

ms - Milissegundos

NRT – Non Real Time

NTC – Negative Temperature Coefficient

OB – Organization Block

PC – Portable Computer

PLC – Programmable Logic Controlers

PROFIBUS – Process Field Bus

PROFIBUS -DP - Process Field Bus – Decentralized Periphery

PROFIBUS-FMS - Process Field Bus – Field Bus Message Specification

PROFINET- Process Field Net

PROFINET CBA - Process Field Net - Component Based Automation

PTC – Positive Temperature Coefficient

RAM -Random Access Memory

RRS – Real Robotic Systems

RT – Real Time

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition

SFC - Sequential Function Chart

ST – Structured Text

V – Volt

Vca – Volt (corrente alternada)

Vcc – Volt (corrente continua)

1. CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta um enquadramento do trabalho desenvolvido, bem como os motivos que levaram à escolha deste estágio curricular e o tema deste trabalho efetuado.

1.1. Enquadramento do trabalho

Este trabalho surge no âmbito da realização do estágio curricular para a conclusão do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais, no Instituto Superior de Engenharia de Coimbra do Instituto Politécnico de Coimbra e tem como objetivo documentar o trabalho desenvolvido durante o estágio. O estágio foi realizado durante o período de 9 meses na empresa Real Robotic Systems, sediada em Coimbra, que atua na área de automação e robótica industrial.

Este trabalho é desenvolvido numa altura que já houve uma nova revolução industrial, designada de **indústria 4.0**. Esta revolução vem mudar a forma como se encara, organiza e se realizam os sistemas produtivos. Esta revolução traz consigo um período de desenvolvimento tecnológico e organizativo que levará a processos produtivos mais eficientes, mais inteligentes e muito mais próximo das pessoas (Pires, 2018).

A evolução tecnológica deve-se ao aumento das exigências dos consumidores, verificados ao longo dos anos, e têm contribuído para o desenvolvimento de vários setores, nomeadamente a indústria e conseqüentemente a área da automação e robótica industrial. Atualmente, os robôs desempenham diversas tarefas nos mais variados campos da indústria e a suas aplicações têm vindo a aumentar, contribuindo para uma maior eficiência e eficácia da indústria. O robô pode ser apresentado como uma máquina universal para realizar ações mecânicas e o seu diagrama funcional está dotado de um sistema principal, o sistema de sensores, os dispositivos de controlo e o ambiente externo (Galín & Meshcheryakov, 2019).

A automação de sistemas e a robótica são duas áreas da ciência e da tecnologia extremamente interligadas. Num contexto industrial a automação define-se como sendo a tecnologia que se ocupa da utilização de sistemas mecânicos, eletrónicos e computacionais na operação e controlo da produção. A robótica dentro da automação coincide mais com a automação programável, utilizando-se nesta, robôs que precisam ser programadas, mediante as características do produto a ser fabricado. Posteriormente será explicado o conceito de automação programável, para melhor perceção desta interligação. (Pazos, 2011)

1.2. Motivações

Atualmente os sistemas autónomos, inteligência artificial e os sistemas robóticos são elementos do dia a dia de qualquer fábrica atual. Neste momento faz todo o sentido estudar estas duas áreas. Estas áreas acarretam uma enorme complexidade e evoluíram rapidamente desde o desenvolvimento da eletrónica digital, ou com a invenção do transístor de silício. Com isto aparecem computadores cada vez mais poderosos e rápidos, sensores, sistemas embebidos, *softwares*, redes informáticas, inteligência artificial. A indústria está dotada de robôs

colaborativos (robôs criados para interagir com humanos em ambientes de trabalho), robôs móveis (robôs capazes de se moverem ao redor dos seus ambientes) com elevados níveis de autonomia, sensores inteligentes, sistemas embebidos inteligentes, *software* baseado em *machine-learning* capazes de avaliar cenários e tomar decisões em frações de segundos, etc.

Esta é uma área que estará sempre em evolução, trazendo sempre novos conteúdos e com uma margem de progressão enorme.

1.3. Objetivos do trabalho

O objetivo deste trabalho é fazer a documentação de algum trabalho desenvolvido durante a realização do estágio curricular na empresa Real Robotic Systems no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais. Isto leva ao objetivo do estágio que foi o desenvolvimento de soluções de automação e robótica para a indústria no seu geral.

1.4. A Empresa

A empresa escolhida para a realização do estágio curricular para a conclusão do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica na área de Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas Industriais, foi a RRS (Real Robotic Systems).

A RRS é uma empresa recente no mercado, criada em 2018, mas que vem ganhando o seu espaço no mercado e com sede em Coimbra, como se pode verificar na Figura 1.1.

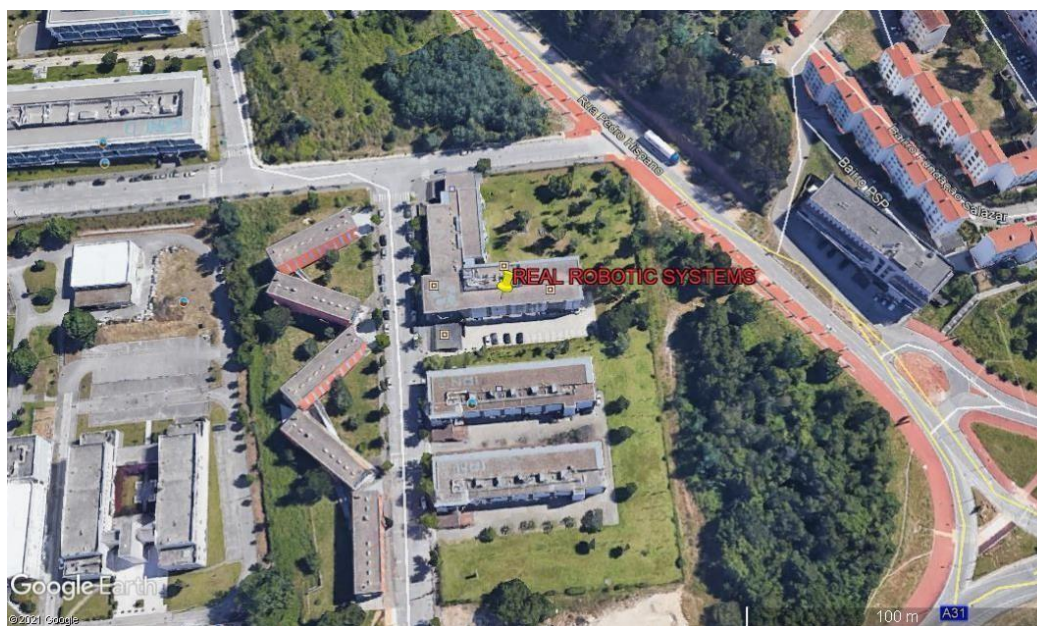


Figura 1.1 - Localização da Empresa Real Robotic Systems.

O core principal da empresa Real Robotic Systems é da automação industrial e da robótica que visa oferecer soluções de automação e robótica para a indústria real.

1.5. Estrutura do trabalho

Este documento encontra-se dividido em quatro capítulos principais, no capítulo 1 é feita uma introdução ao trabalho, e são apresentados os objetivos deste trabalho e a empresa onde foi realizado o estágio que deu origem ao presente trabalho.

No capítulo 2 é apresentado o enquadramento teórico das atividades desenvolvidas durante o estágio curricular.

O capítulo 3 é feita uma descrição das atividades desenvolvidas durante o estágio curricular, de algum trabalho desenvolvido durante o estágio, apresentam-se as metodologias utilizadas, e os resultados obtidos, assim como uma discussão dos mesmos.

No capítulo 4 apresenta-se as considerações finais do estágio e do trabalho desenvolvido e apresentam-se propostas de trabalhos futuros.

Além dos capítulos apresentados o documento contém também toda a bibliografia consultada para a elaboração do presente trabalho bem como anexos que podem ser consultados caso for necessário durante a leitura do presente trabalho.

2. CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que envolvem a automação industrial e os sistemas robóticos. Os conceitos aqui apresentados fornecem a conhecimentos fundamentais para a compreensão do trabalho desenvolvido.

2.1. Automação de sistemas

Para compreender melhor o conceito de automação, convém distinguir o conceito de automação do conceito de automatização.

2.1.1. Automação vs. automatização

Enquanto a automatização é a mecanização, isto é, baseia-se na utilização de máquinas para realizar uma determinada tarefa substituindo o esforço físico do homem, a automação oferece a possibilidade de efetuar uma tarefa por meio de máquinas que são controladas pela informatização do sistema (Fuentes, 2016) .

A automação pode ser definida como sendo um sistema de controlo no qual os mecanismos verificam a sua própria operação utilizando a máxima eficiência, efetuando medições contínuas e introduzindo correções, sem que para isto exista a necessidade de intervenção (Smith & Fressoli, 2021).

2.1.2. Desenvolvimento da automação

Recuando na história constata-se que as primeiras iniciativas do homem na tentativa de mecanizar atividades desenvolvidas de forma manual ocorreram na pré-história, com invenções como a roda, o moinho movido por vento, na tentativa de poupar esforço humano. No entanto, a automação ganhou destaque na sociedade a partir da segunda metade do século XVIII com transformação do sistema de produção agrário e artesanal em industrial (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011).

Um dos marcos do desenvolvimento da automação na história foi o mecanismo para regular o fluxo de vapor em máquinas (Figura 2.1), desenvolvido por James Watt, por volta de 1788, após a Revolução industrial (**Indústria 1.0**). Este mecanismo tinha como objetivo regular de forma automática a pressão nas caldeiras de uma máquina a vapor, via válvula de entrada de vapor, não permitindo que a pressão suba muito e impedir que baixe para valores não desejados (P&R, 2011).

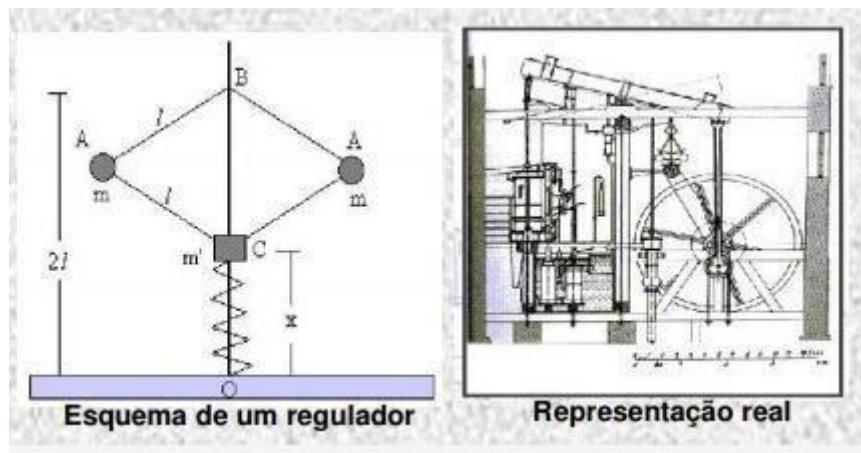


Figura 2.1 - Regulador de fluxo de vapor em máquinas de James Watt.

Fonte: (P&R, 2011)

Em 1850 chega a segunda revolução industrial (**Indústria 2.0**) e introduz a energia elétrica. Quando a energia elétrica passa a ser utilizada, a partir de 1870, a indústria foi estimulada e um dos exemplos foi a indústria do aço, química e a de máquinas de ferramentas (ACCEPT, 2019).

No início do século XX, embora o conceito de indústria apresenta-se bastante estabelecido, os ambientes fabris ainda disfrutavam de processos de automação ainda muito rudimentares. No entanto, o aumento da produção, de lucro, de qualidade levou a Revolução Industrial e novos conceitos de produção em escala começaram a ser esboçados. O conceito de Linha de Montagem foi introduzido por Henry Ford, da *General Motors*, em 1909, mudando o pensamento da indústria contemporânea. E talvez tenha sido isso o impulso para o desenvolvimento industrial. Com isto novos conceitos surgiram na indústria como a produção em massa, pontos de montagem, armazém, entre outros. Em meados do século XX a *General Motors* já produzia em larga escala e já possuía máquinas automatizadas por relés. No entanto, a programação das máquinas ainda era um problema uma vez que eram extremamente complexas, com instalação de painéis e cabines de controlo com centenas destes dispositivos mecânicos. Isso tudo acarreta problemas como muita energia consumida, problemas estruturais como cabeamento e vida útil dos relés (Silevira & Q. Lima, 2003).

Ainda no século XX, foram introduzidos os computadores e os controladores programáveis nas tecnologias de automação, passando os computadores a servirem de alicerces de toda a tecnologia da automação contemporânea (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011). Esta fase de inovação tecnológica, marcado por avanços nas áreas da informática, robótica, entre outros, ficou conhecida como a terceira revolução industrial (**Indústria 3.0**).

E com a chamada quarta revolução industrial (**indústria 4.0**) apareceram os computadores cada vez mais poderosos e rápidos, os sensores, os robôs, o *software*, as redes informáticas, e a inteligência artificial e a possibilidade de dotar as máquinas de capacidades cognitivas. Tem-se verificado na indústria a substituição de mão-de-obra humana por máquinas, no entanto, as vantagens competitivas obtidas, aliadas as profundas e radicais inovações tecnológicas, abrirão espaço a novas formas de trabalho e a novas oportunidades, incluindo modelos de negócio, que terão de equilibrar, a pressão sobre as formas tradicionais de trabalho (Pires, 2018).

2.1.3. Classificação dos sistemas de automação

A automação pode ser classificada de acordo com as suas diversas áreas de aplicação, como por exemplo automação industrial, bancária, agrícola, comercial, de comunicação, entre outros. Neste trabalho vai ser abordado a automação industrial, que por sua vez se desdobra em automação de planeamento, produção e de projeto.

O interesse deste trabalho recai sobre os sistemas de automação que por sua vez pode ser classificado quanto ao nível de flexibilidade:

- **Automação fixa**
 - Este tipo de automação de produção baseia-se numa linha de produção especialmente projetada para a fabricação de um produto específico.
 - É utilizado para altas taxas de produção, isto é, quando o volume de produção deve ser muito elevado e a linha é projetada para produzir grandes quantidade de um único produto ou peça.
 - Neste tipo de automação o equipamento tem custo elevado, mas dado ao volume de produção o tempo de retorno do investimento acaba por ser reduzido.
 - Uma das desvantagens deste tipo de automação de produção é o fato de qualquer alteração nas vendas ou no produto tornar a linha obsoleta e consequentes prejuízos.

- **Automação programável**
 - Este é o tipo de automação de produção indicado para baixos volumes de produção de cada item.
 - Os equipamentos deste tipo de automação têm a capacidade de fabricar uma variedade de produtos com características diferentes, de acordo com

o programa previamente carregado no sistema, isto é, a operação do sistema depende do programa de controlo nele carregado.

- O equipamento de produção é projetado para ser adaptável as diferentes características e configurações dos produtos fabricados, sendo que o equipamento está sob o controlo de um programa de instruções preparado para cada produto.

- **Automação flexível**

- Os sistemas de produção baseados na automação flexível têm características da automação fixa e da automação programável e é indicado para volumes médios de produção.
- Os equipamentos aqui utilizados devem ser programados para produzir uma variedade de produtos com algumas características ou configuração diferentes, mas essa variedade é normalmente mais limitada que aquela permitida pela automação programável.

A automação flexível distingue-se da automação programável pelo fato de possuir sistemas que utilizam a automação programável quando os produtos são fabricados em lotes, enquanto na automação flexível diferentes produtos podem ser fabricados ao mesmo tempo no mesmo sistema, sendo preciso programar o sistema, previamente, para desviar as diferentes peças e materiais para as estações de trabalho adequadas.

2.1.4. Componentes de *hardware* para automação

A automação engloba uma variedade de *hardware*, desde controladores, sensores, circuitos elétricos, entre outros. Mas foca nos controladores e nos sensores utilizados na automação industrial.

2.1.4.1. *Programmable Logic Controllers (PLC)*

O PLC é um equipamento eletrónico digital, que possui *hardware* e *software* compatível com aplicações industriais. Pode ser programada recorrendo a uma linguagem de programação por forma a executar funções aritméticas, lógicas, de temporização, contagem entre outros. Estes aparelhos estão dotados de entradas para aquisição de dados e saídas para atuar sobre diversos

dispositivos ou processos (e-Tec.rede, 2016). Na Figura 2.2¹ está representada um PLC da Siemens (CPU 1512SP-1 PN).

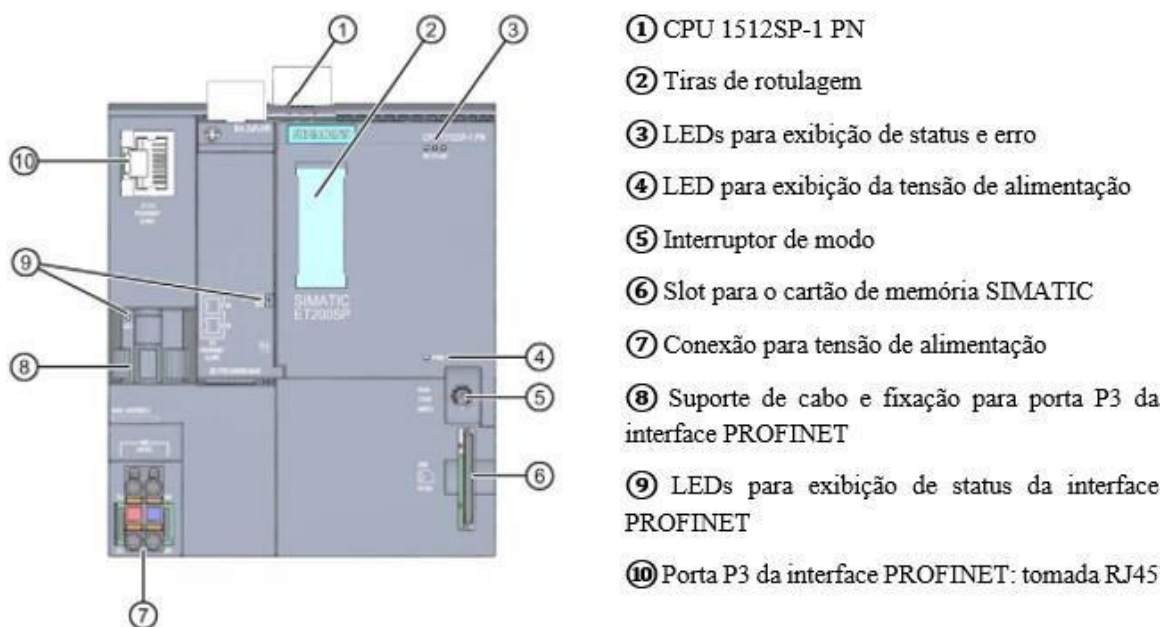


Figura 2.2 - PLC da Siemens - CPU 1512SP-1 PN.

Os PLCs representam uma contribuição essencial para a revolução digital na indústria, sendo amplamente utilizados como unidades de controlo de processamento central em soluções de automação industrial. São sistemas compostos por lógicas de programa que utilizam um conjunto de entradas para ativar saídas. O tempo decorrido para executar um *scancycle* é denominado de tempo de ciclo e está diretamente relacionado ao desempenho do PLC e ao tempo de resposta. Para aplicações sensíveis ao tempo, um tempo de ciclo curto é crucial, como por exemplo no controlo de movimento ou sistemas de tempo real em que uma resposta uma resposta determinística é uma das propriedades essenciais para um desempenho satisfatório (Crestani Tasca, Pignaton de Freitas, & Rech Wagner, 2018).

2.1.4.2. Hardware de um PLC

A estrutura de um PLC pode ser dividida em quatro partes, que são os módulos de entrada/saída, unidade central de processamento (CPU), memória e terminal de programação, como se pode observar na imagem da Figura 2.3.

¹ Imagem obtida de: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/013/90157013/att_83463/v1/et200sp_cpu1512sp_1_pn_manual_en-US_en-US.pdf

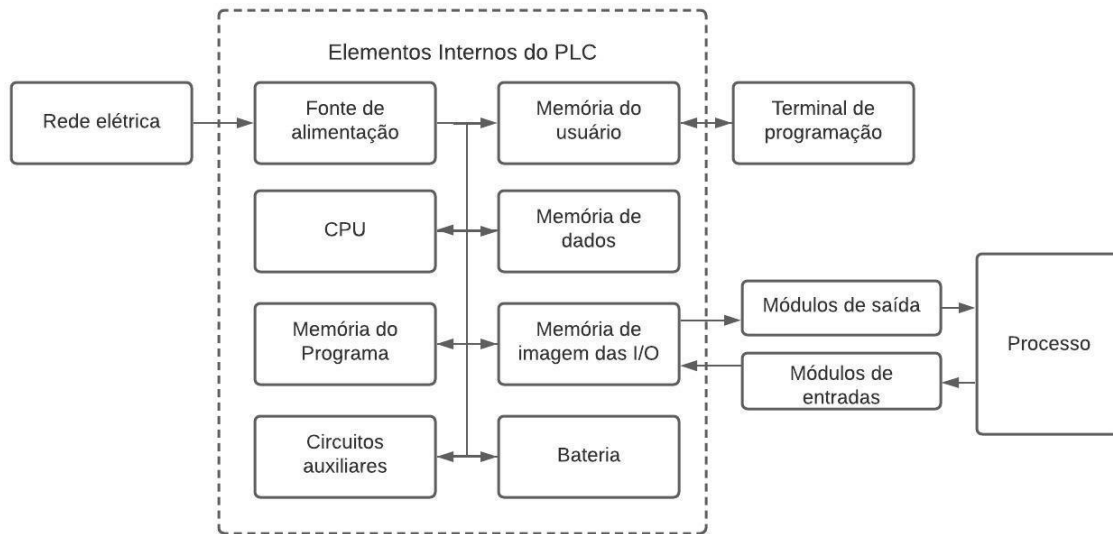


Figura 2.3 - Estrutura de um PLC.

Em seguida é feita uma descrição das funções desempenhadas pelos elementos internos do PLC:

- **Fonte de alimentação** – tem com finalidade converter a tensão de alimentação (110 a 220 Vca) para tensão de alimentação dos circuitos eletrónicos (5 – 12 Vcc), assim como manter a carga da bateria e fornecer uma tensão para a alimentação das entradas e saídas (12 ou 24 Vcc).
- **Bateria** – tem como finalidade a alimentação do circuito do relógio de tempo real e manter parâmetros ou programas, quando se utiliza memória RAM, mesmo em falta de energia.
- **Unidade de processamento** – também conhecido por CPU é o responsável pelo funcionamento lógico de todos os circuitos. Efetua as operações lógicas, aritméticas, controlo, temporização, entre outros.
- **Memória do programa monitor** - este é responsável pelo funcionamento geral do PLC, gerindo todas as atividades do PLC. Não sendo possível a sua alteração pelo utilizador e funciona de forma semelhante ao do sistema operacional dos computadores.

- **Memória do utilizador** – é a memória onde é armazenado o programa desenvolvido pelo utilizador, o qual pode ser alterado. Normalmente é armazenado em memórias do tipo RAM, EPROM, EEPROM e FLASH-EPROM.
- **Memória de dados** – é a memória onde são guardados os dados do programa do utilizador, tais como valores de temporizadores, contadores ou senhas.
- **Memória imagem das entradas e saídas** – nesta memória é onde são armazenadas informações dos estados das entradas e saídas do PLC, funcionando como uma tabela onde a CPU buscará informações durante o processamento do programa de utilizador.
- **Circuitos auxiliares** - são circuitos responsáveis pela proteção de falhas na operação do PLC, como por exemplo evitar o acionamento indevido das saídas quando da energização do PLC.

Na Figura 2.4 está um exemplo da vista frontal de um painel de um PLC, onde são visíveis o CPU, as entradas digitais, as saídas digitais e o disjuntor de alimentação.

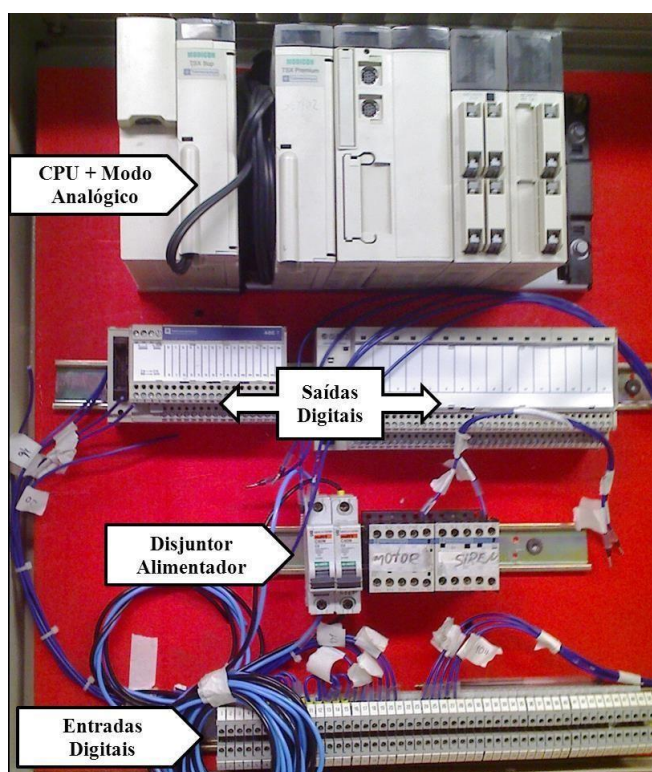


Figura 2.4 – Exemplo de um painel de um PLC².

² Imagem obtida de: <https://www.aedb.br/wp-content/uploads/2015/05/7892.pdf>

Por motivos de segurança, o sistema mecânico, elétrico e de programação, deve ser projetado de modo que em caso de falta ou retorno de energia, o sistema ofereça condições de não provocar movimentos ou ações que possam colocar o operador em perigo. É também recomendável a instalação de proteções dos circuitos dos módulos de saída do PLC, isto é, cada saída deve corresponder à respetiva carga descrita no programa.

2.1.4.3. Módulos de Entradas/Saídas

As unidades de entrada/saída dos PLCs lidam com o trabalho de interface de dispositivos industriais de alta potência com um circuito de baixa potência que armazena e executa programas de controlo. A maioria dos PLCs opera internamente entre os 5 e 15 Vdc, enquanto os sinais dos dispositivos de entrada apresentam valores muito superiores, normalmente 24 Vdc à 240 Vac com elevada corrente elétrica. As unidades de entrada/saída formam a interface entre a microeletrónica do PLC e o mundo externo e, portanto, devem fornecer todas as funções de isolamento e condicionamento de sinal necessários. Isso permite que um PLC seja ligado diretamente a atuadores de processo e dispositivos de entrada sem a necessidade de circuitos ou relés intermediários (Control, 2018).

Para fornecer a ligação de sinal, nos PLCs está disponível uma escolha de unidades de entrada/saída para atender a diferentes requisitos. Como por exemplo:

Entradas	Saídas
5 V (TTL level)	24 V 100 mA dc
24 V dc/ac	110 V 1 A ac
110 Vac	240 V 1 A ac
240 Vac	240 V 1 A ac

Normalmente todos os canais de Entrada/Saída são eletricamente isolados do processo de controlo, utilizando circuitos isoladores nos módulos de E/S. Estes circuitos impedem picos de tensão. A Figura 2.5 e Figura 2.6 estão representadas as ligações do módulo de entrada e saída do PLC, respetivamente.

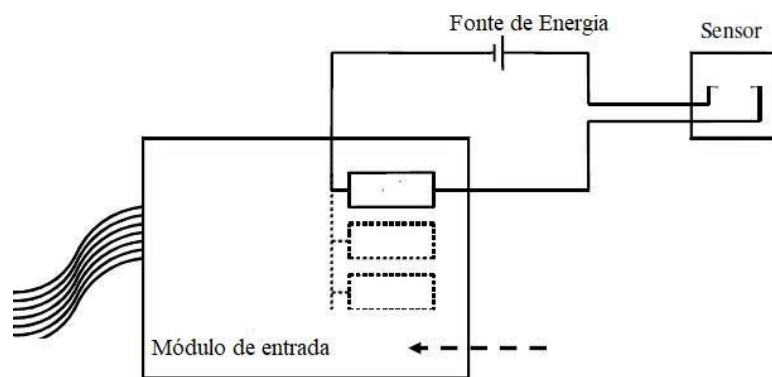


Figura 2.5 - Ligação do módulo de entrada do PLC.

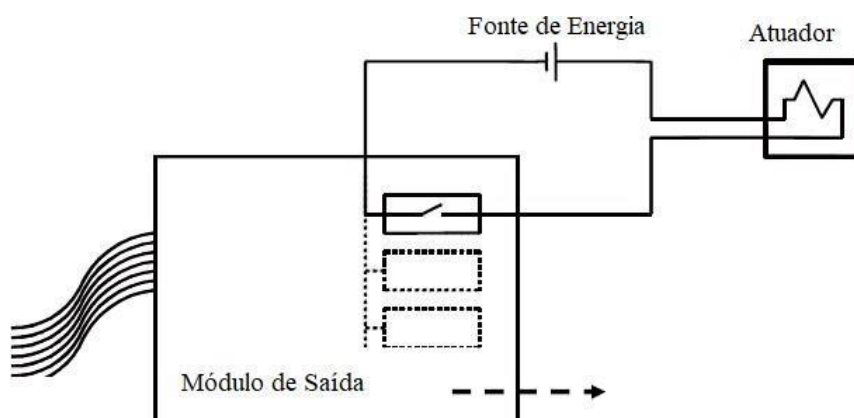


Figura 2.6 - Ligação do módulo de saída do PLC.

As unidades de E/S são projetadas para simplificar a ligação dos dispositivos de entrada e atuadores do PLC, deste modo todos os PLCs são equipados com ligações padrão em cada ponto de E/S, permitindo a sua rápida remoção e a substituição rápida e simples de uma placa de E/S defeituosa. Cada ligação do módulo de E/S tem um endereço único que é fundamental na altura de desenvolvimento do programa, sendo necessário o conhecimento dessas ligações por forma a ler entradas ou a ativação de uma saída em particular dentro do programa. O *status* das E/S é indicado por díodos emissores de luz (LEDs) no PLC ou unidades de E/S, tornando mais simples o controlo das entradas e saídas do PLC.

2.1.4.4. Tipos de sistemas do PLC

As definições do tamanho do PLC são dadas em termos de tamanho da memória do programa e o número máximo de pontos de entrada/saídas que o PLC suporta. Na Tabela 2.1 estão representados os tipos de PLCs consoante o tamanho e o número de E/S.

Tabela 2.1 - Tipos de PLCs consoante o tamanho e número de E/S

Tamanho do PLC	E/S máximo	Memória do utilizador
Pequeno	40/40	1K
Médio	128/128	4K
Grande	>128/>128	>4K

Os PLC pequenos são PLCs compactos que podem ser expandidas adicionando uma ou dois módulos de E/S, no entanto, se for preciso um maior número de módulos adicional, muitas vezes significará a substituição da unidade completa.

Os PLC médios, no geral, são utilizados para tarefas de controlo que não podem ser atendidas pelos PLCs pequenos devido ao número de E/S insuficiente ou quando existe a possibilidade de existir extensão da tarefa de controlo no futuro. No caso de ser um PLC pequeno, isso poderia levar a substituição do PLC, enquanto no caso dos PLCs médios os sistemas modulares de E/S apresentam uma maior extensão. Uma outra vantagem dos PLCs médios é o fato de serem financeiramente mais atrativos a longo prazo.

Os PLC grandes são utilizados para o controlo de um grande número de pontos de E/S ou nos casos em que as funções de controlo são mais complexas exigindo grande capacidade de processamento. Este tipo de PLC é projetado para serem utilizados em grandes fábricas ou grandes máquinas que requerem controlo contínuo. São também empregues em sistemas de controlo supervisores para o controlo e monitorização de vários outros PLCs.

No entanto, para avaliar adequadamente um PLC deve-se considerar outros recursos como o seu processador, tempo de ciclo, recursos de linguagem ou funções.

2.1.4.5. Seleção de PLCs

As especificações de um determinado projeto a ser implementado, são fundamentais para o primeiro passo, a escolha do PLC mais adequado ao projeto. Existe uma variedade de PLCs disponíveis no mercado sendo cada vez mais aprimorados. No entanto, para a escolha de um PLC também há que ter em conta o aspeto financeiro.

Os fabricantes têm adotado tecnologias cada vez mais avançadas com o objetivo de melhorar o desempenho e o *status* no mercado dos seus produtos. Porém, independentemente da marca a maioria dos PLCs em cada faixa de tamanho são muito idênticos em termos de facilidade de

controle. As diferenças mais significativas são encontradas nos métodos de linguagens de programação e nos diferentes padrões de suporte e *backup* do fabricante.

Para determinar o PLC mais adequado para ser utilizado numa tarefa de automação, existem várias considerações a serem feitas:

- Capacidade de E/S necessária;
- Tamanho de memória necessário;
- Tipos de E/S necessários;
- Velocidade e potência exigidas da CPU e do conjunto de instruções;
- Suporte e *backup* do fabricante.

Todos esses tópicos são em grande parte interdependentes, como por exemplo, o tamanho da memória está diretamente ligado à quantidade de E/S, bem como ao tamanho do programa. À medida que a quantidade de E/S aumenta a da memória também aumentam. A quantidade de E/S acarreta mais tempo de processamento e requer um processador central mais poderoso e rápido para que o tempo de ciclo permaneça aceitável.

2.1.4.6. Tipos de E/S e capacidade necessária

Por norma E/S é o primeiro requisito a ter em consideração na hora de escolher um PLC. As E/S têm de ser suficientes para interligar todos os sinais e controle do processo e devem estar em conformidade com as especificações básicas do sistema no que diz respeito a:

- Níveis de tensão e cargas de corrente;
- O número e tipo de pontos de E/S necessários por módulo (ou unidade no caso de PLC independente);
- É necessário isolamento entre o controlador e o processo de destino;
- A necessidade de E/S de alta velocidade ou E/S remota ou qualquer outro recurso especial;
- Necessidades futuras em termos de potencial de expansão e reserva instalada
- Requisitos de fonte de alimentação de pontos de E/S: qualquer necessidade de uma unidade de fonte de alimentação integrada para acionar transdutores de entrada ou atuadores de saída.

2.1.4.7. Programação

Para que o Hardware do PLC possa efetuar a função desejada, necessita de um software que o informe da sequência de tarefas a serem realizadas. Este programa deve ser guardado na memória do PLC através da ligação com um computador.

Os primeiros PLCs utilizados na indústria substituíram os antigos sistemas de relés, portanto a primeira linguagem utilizada para programá-los foi o diagrama ladder (LD), sendo este muito semelhante aos diagramas de circuito do relé com uma representação gráfica dos contactos para as entradas e bobinas para as saídas. O LD ainda é popular hoje em dia, embora existam outras linguagens para a programação de PLCs, como por exemplo os diagramas de blocos (FBD), texto estruturado (ST), lista de instruções (IL) e gráficos de função sequencial (SFC). Na Figura 2.7 está representado um exemplo de um diagrama ladder.

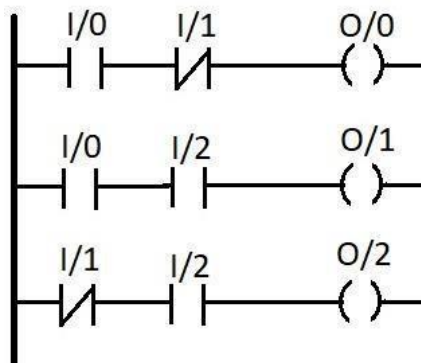


Figura 2.7 - Exemplo de um diagrama ladder

No exemplo apresentado na Figura 2.7, cada linha controla o estado de três saídas nomeadas O/0, O/1 e O/2, com base no estado de três entradas designados como I/0, I/1 e I/2. As linhas de um diagrama ladder podem ter contatos, normalmente, abertos e, normalmente, fechados. No exemplo apresentado, o estado de O/0 na primeira linha é definido como “ligado” se a entrada I/0 estiver “ligada” (contato normalmente aberto) e se I/1 estiver “desligada” (contato normalmente fechado). Da mesma forma, na segunda linha, a saída O/1 é definida para o estado “ligado” se ambas as entradas I/0 e I/2 estiverem no estado “ligado”. Finalmente, na terceira linha, se a entrada I/1 estiver “desligada” e a entrada I/2 estiver “ligada”, então a saída O/2 é definida para o estado “ligado” (Control, 2018).

Numa arquitetura padrão a execução do ciclo de ciclo é repetida continuamente. No exemplo apresentado na Figura 2.7, o tempo de ciclo é calculado como o tempo para ler as entradas, mais o tempo para executar todas as linhas, mais o tempo para gravar saídas. Uma vez que uma arquitetura de PLC padrão executa sequencialmente as operações do ciclo de leitura, um

programa mais extenso produz um tempo de ciclo mais extenso e, conseqüentemente, um desempenho e tempo de resposta mais baixo (Crestani Tasca, Pignaton de Freitas, & Rech Wagner, 2018).

Atualmente existem vários tipos de PLCs, dimensionados para as mais variadas aplicações, sendo os mais poderosos verdadeiros computadores industriais de elevado desempenho. De qualquer forma, todos os PLCs têm capacidades elementares, como (Pires, 2018):

- **Timers** - Todos os PLC possuem vários tipos de timers, adaptados a diversas situações de utilização, permitindo rotinas temporizadas, fundamentais em qualquer aplicação industrial. Podem existir ainda interrupções temporizadas, mas tal só é comum em PLC de gama média/alta;
- **Contadores** – Este é um elemento básico de qualquer PLC. Contar eventos, sejam eles lógicos, de Entrada/Saída (E/S) ou outros, é uma das atividades de rotina de um programa de PLC. Qualquer PLC disponibiliza vários tipos de contadores em número considerável. Normalmente, existe também um conjunto de contadores de alta velocidade. O número de contadores, especialmente o número dos contadores de alta velocidade, aumenta com a gama do PLC;
- **Registos** – A utilização de registos de memória também é fundamental. Os PLC disponibilizam registos de vários formatos, com acesso flexível aos seus conteúdos, permitindo endereçar *bits* individualmente, *bytes* ou grupos de *bytes*;
- **Operações lógicas elementares** – Estas funções permitem manipular informação e construir sequências lógicas de instruções, máquinas de estado, condições de execução, etc.;
- **Várias entradas e saídas digitais e analógicas, expansíveis com módulos de E/S** – Os PLC são, por definição, sistemas modulares. O número de entradas/saídas depende do modelo de PLC, com os mais avançados a disponibilizarem, de uma forma geral, mais possibilidades de expansão;
- **Possibilidade de ligação remota** – No geral, todos os PLC permitem ligações série ponto-a-ponto, para monitorização e programação. Os mais avançados possibilitam ligações multiponto, vários tipos de rede de campo (como CAN, Profibus ou DeviceNet), redes Ethernet baseadas em TCP/IP, etc.;
- **Funções matemáticas** – Responsável pela para algébrica.

2.1.5. Sensores

Os Sensores são dispositivos amplamente utilizados na automação no seu geral e principalmente na automação industrial onde os sistemas autónomos necessitam de leituras constantes de variáveis físicas, como posição, velocidade, temperatura, nível, pH, entre outras variáveis. Os sensores podem ser elétricos e neste caso a informação pode ser associada à tensão ou à corrente, sendo o segundo caso mais usual. Este tipo de dispositivo tem sido essencial para agregar inteligência nos processos automatizados e tem como principal objetivo informar um circuito eletrónico a respeito de um evento que ocorra externamente, sobre o qual este deve atuar ou a partir do qual deva despoletar uma ação (Wending, 2010).

De acordo com o tipo de saída os sensores podem ser analógicos assumindo um gama de valores no seu sinal de saída ao longo do tempo. Essas variáveis são medidas por elementos sensíveis com circuitos eletrónicos não digitais.

Podem ainda ser digitais ou binárias, onde o seu sinal elétrico de saída são do tipo 0 ou 1, “*on*” ou “*off*”, não existindo grandezas físicas que mostram esses valores, mas são assim mostrados ao sistema de controlo após serem convertidos por um circuito eletrónico. São utilizados para a deteção de eventos, como por exemplo, chegada de um objeto a uma determinada posição, um nível de um fluído a um valor, passagem de objetos etc.

Os sensores mais utilizados nas indústrias são:

- **Sensores mecânicos**

Estes tipos de sensores detetam movimentos, posições ou a presença usando recursos mecânicos. Os mais conhecidos são os **sensores de fim-de-curso** que são interruptores ou chaves comutadas que atuam sobre um determinado circuito apresentando os estados ligado/desligado quando acontece uma ação mecânica no seu atuador.

Estes sensores são utilizados para diversos fins, por exemplo, para detetar a abertura ou fechamento de portas, a presença de um objeto em um determinado local ou ainda para assinalar uma determinada posição de uma parte mecânica de uma máquina.

Porém, o principal objetivo dos sensores de fim de curso é detetar o momento em que um dispositivo atinge o seu deslocamento máximo, evitando deste modo eventos não desejados.

Os sensores mecânicos possuem a desvantagem de possuírem peças móveis que estão sujeitas à quebra e desgastes, além da inércia natural que limita a sua velocidade de ação.

- **Sensores Fotoelétricos**

Os sensores fotoelétricos são muito mais rápidos que os sensores mecânicos e trabalham com a luz. Não apresentam a inércia verificada nos sensores mecânicos e não têm peças móveis sujeitas a quebra ou desgaste. Existem diversos tipos de sensores fotoelétricos no mercado e a sua escolha depende basicamente de suas características.

Foto-resistências (LDR) – possuem uma superfície de Sulfeto de Cádmio (Cds) que tem uma resistência elétrica dependente da quantidade de luz incidente. A medida que a intensidade de luz aumenta a resistência diminui. Na Figura 2.8, estão ilustrados sensores de foto-resistências.

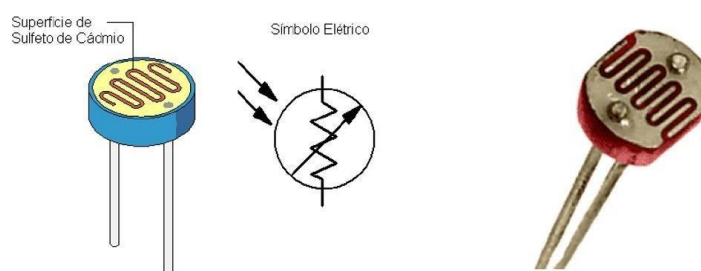


Figura 2.8 – Sensores de Foto-resistências.

Este tipo de sensor tem a vantagem de trabalhar com correntes relativamente elevadas, apresentando grande sensibilidade. Porém possuem a desvantagem de apresentar tempos de respostas elevados, não operando em velocidades superiores do que algumas dezenas de quilohertz.

Fotocélulas – geram uma pequena tensão elétrica quando expostos a luz. Diferem dos LDR por serem sensíveis e rápidas, possuindo uma faixa de aplicação mais ampla.

Fotodíodo – o princípio de funcionamento dos fotodíodos baseia-se na libertação de portadores de carga quando incidem fótons sobre os mesmos. Os portadores podem fazer com que apareça uma tensão entre os terminais do díodo ou podem afetar a sua resistência à passagem da corrente. Os fotodíodos apresentam grande sensibilidade e são extremamente rápidos podendo detectar pulsos de luz em taxas que chegam a dezenas

ou mesmo centenas de megahertz. Existem duas formas de utilizar os fotodíodos em sensores, como se pode observar na Figura 2.9:

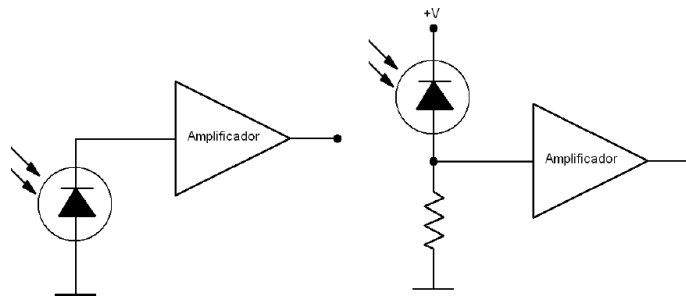


Figura 2.9 - Esquema de um sensor de fotodiodo.

Devido a sua extrema sensibilidade necessitam de um circuito de amplificação. No primeiro caso, o díodo é utilizado no modo de gerador, na presença de luz produz uma pequena tensão na ordem dos 0.6 V. Enquanto no segundo caso, o díodo é utilizado em modo resistência, alterando a corrente no sentido inverso quando a junção é exposta a luz. Na Figura 2.10 estão representados alguns fotodíodos.

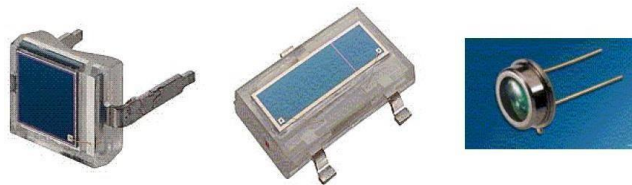


Figura 2.10 - Sensores de fotodíodos.

Fototransístores – o princípio de funcionamento é idêntico aos fotodíodos, a diferença está no fato destes não necessitarem de circuitos amplificadores, uma vez que os fototransístores podem amplificar as correntes que são geradas nesse processo. Na Figura 2.11 estão representados exemplos de fototransístores.



Figura 2.11 - Sensores de fototransístores.

- **Sensores Capacitivos**

O princípio de funcionamento para o qual os sensores capacitivos são projetados consiste em gerar um campo eletrostático e detectar variações nesse campo, que acontecem quando um objeto aproxima da face ativa. Internamente, o sensor é constituído por uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída.

Quando não existe a variação do campo eletrostático, ou seja, na ausência de um objeto nas proximidades da ponta capacitiva, o oscilador está inativo. No caso contrário, a capacitância do circuito é modificada, e ao atingir um determinado valor, o oscilador é ativado e este, por sua vez, ativa o circuito de saída, comutando o seu estado.

A capacitância depende da distância entre duas placas, do material dessas duas placas e do dielétrico entre elas. Se uma das placas for móvel a sua posição pode ser associada a um valor de capacitância que pode ser utilizado para processar informações sobre a distância em que ela se encontra. Na Figura 2.12 estão ilustrados alguns modelos de sensores capacitivos (Wending, 2010).



Figura 2.12 - Sensores capacitivos.

- **Sensores Indutivos**

Os sensores indutivos (Figura 2.13) são projetados para operar gerando um campo eletromagnético, detectado sem contato direto com elementos metálicos que atravessam o seu campo magnético convertendo em um sinal elétrico. Consistem basicamente em uma bobine em torno do núcleo, um oscilador e um circuito de saída. As características da bobine alteram na presença de objetos com certas características magnéticas como os ímanes, materiais ferrosos que dispersam as linhas de força do campo magnético, que interferem no campo magnético gerado pelo oscilador ligado à bobine. Essa variação é

detetada a uma distância pré-determinada, ativando o circuito de saída, comutando o seu estado.



Figura 2.13 - Sensores indutivos.

- **Sensores Térmicos**

Os sensores atuam sobre circuitos em função da variação da temperatura do meio em que se inserem. Existem dois tipos de sensores térmicos, os em que a resistência diminui quando a temperatura aumenta - NTC (*Negative Temperature Coeficiente*) e os em que a resistência aumenta quando a temperatura aumenta – PTC (*Positive Temperature Coeficiente*). A Figura 2.14 mostra exemplos de sensores térmicos.



Figura 2.14 - Sensores térmicos.

Estes sensores operam em faixas de temperatura que vão de valores negativos até aproximadamente 125°C. Possuem como vantagem a facilidade com que se pode trabalhar com eles e o seu baixo custo e por esses motivos são utilizados em diversas aplicações. Uma outra vantagem é o fato de não necessitarem de circuitos complexos, uma vez que as variações de resistência podem ser facilmente utilizadas para acionar comparadores de tensão.

- **Detetores por ultrassom**

Este tipo de sensores são muito utilizados da detecção de objetos a uma certa distância, ou mesmo comparar distâncias de objetos, porém não funcionam para objetos com tamanhos reduzidos e têm de ser capazes de refletir esse tipo de radiação. O princípio de funcionamento desse sensor baseia-se em um oscilador que emite ondas ultrassônicas que resultam em um comprimento de onda na ordem de alguns centímetros. O objeto reflete as ondas que são captadas pelo sensor, fornecendo deste modo um sinal que pode ser processado. Uma outra forma de operação destes sensores é ter o emissor e o recetor em lugares separados, onde será detetada a presença do objeto que bloquearem as ondas ultrassônicas emitidas do emissor para o recetor.

Na Figura 2.15 pode-se observar exemplos de detetores por ultrassom.



Figura 2.15 - Detetores por ultrassom.

- **Sensores infravermelhos**

Os sensores infravermelhos, Figura 2.16, são muito utilizados em alarmes de incêndio e de presença, como os que abrem as portas de *shoppings* na presença de pessoas. Neste tipo de sensores existe uma substância que polariza na presença de radiação infravermelha, gerando uma tensão que pode ser amplificada e utilizada para efeitos de controlo. Seguindo este princípio de funcionamento, o calor do corpo humano é suficiente para produzir uma emissão infravermelha detetável por esse tipo de sensor.



Figura 2.16 - Sensor infravermelho.

2.2. Robótica industrial

Este capítulo visa introduzir os conceitos básicos sobre a robótica industrial. Inicialmente é apresentado o desenvolvimento dos robôs dentro de um contexto histórico. A seguir são discutidos aspectos relativos aos sistemas robóticos, os principais tipos e configurações e a sua integração na indústria.

2.2.1. Conceito de Robô

Desde os primórdios da origem do ser humano que são utilizados diversas ferramentas e utensílios que auxiliaram na realização de diversas atividades no cotidiano do homem. Ao longo dos anos diversas invenções proporcionaram ao homem uma bagagem tecnológica para a gradual substituição do homem pela máquina (M. F. Santos, 2004).

O avanço tecnológico verificado nas últimas décadas teve reflexo direto na organização das indústrias, procurando minimizar os custos industriais através da adoção de diversos modelos de produção. Neste contexto destacam-se os conceitos referidos anteriormente como a automação programável e a automação flexível.

Os robôs industriais têm sido muito utilizados nos processos de automação programável e flexível, e são essencialmente máquinas capazes de realizar os mais diversos movimentos, adaptando-se às necessidades operacionais e tornando os processos mais flexíveis, permitindo a seleção de diversas ferramentas para a execução das mais variadas tarefas através de um único ou vários robôs.

A palavra robô deriva da palavra “*robot*” de origem eslava que significa “trabalho forçado”. O conceito de robô foi primeiramente utilizado em 1921 pelo dramaturgo checo Karen Capek, durante a apresentação de uma peça teatral intitulada de “Os Robôs Universais de *Russum*” como referência a um autômato que se revolta contra os humanos. O termo robô tornou-se popular como sendo uma máquina de aparência humana não possuidora de sentimentos, sendo o seu comportamento programado por humanos. O termo “robótica” foi criado por Asimov para designar a ciência que se dedica ao estudo dos robôs.

Através das investigações iniciadas depois da Segunda Guerra mundial foi desenvolvida a base tecnológica para os atuais robôs industriais, quando foi construído um equipamento denominado “teleoperador” “*master-slave*” empregado em atividades de manipulação de materiais radioativos. Este sistema era constituído por um “*master*” manipulador, controlado diretamente por um operador “*slave*” capazes de reproduzir os movimentos realizados

remotamente pelo “*master*”. A ligação entre os manipuladores “*master*” e “*slave*” eram efetuados através de sistemas de transmissão mecânico (Ferreira Romano & Suell Dutra, 2016).

O primeiro robô industrial, denominado de UNIMATE foi instalado pela UNIMATION Inc. no chão da fábrica de uma empresa em 1961, onde a tecnologia de controlo foi desenvolvida em máquinas com comando numérico conjugada com o sistema de controlo utilizados no “teleoperador”. Desde então, com o desenvolvimento das tecnologias nas áreas da mecânica, eletrónica digital, programação, materiais e logística houve um avanço dos sistemas robóticos, tornando-os mais flexíveis e a consequente redução de custos para a sua implementação em atividades industriais (M. F. Santos, 2004).

O elevado investimento em robôs industriais verificado nas últimas décadas, aparece em consequência das crescentes necessidades impostas pelo mercado de se obter sistemas de produção cada vez mais automatizados e dinâmicos. Com as características de flexibilidade de programação e adaptação aos sistemas integrados de fabricação, o robô industrial tornou-se um elemento importante neste contexto.

A utilização de robôs industriais numa empresa está diretamente associada aos objetivos da produção automatizada, ao qual visa:

- Reduzir custos dos produtos fabricados e ao mesmo tempo aumentar a produtividade e melhorar a utilização de matéria-prima;
- Melhorar as condições do trabalho, evitando a mão-de-obra humana nas atividades perigosas;
- Melhorar a qualidade do produto, através do controlo dos parâmetros de produção;
- Realizar atividades impossíveis de serem controlados manualmente ou intelectualmente, como por exemplo, a coordenação de movimentos complexos e atividades muito rápidas.

2.2.2. Estrutura de um robô industrial

Os conceitos básicos dos robôs industriais modernos, nos dias de hoje, permanecem praticamente os mesmos, havendo, porém, um grande desenvolvimento dos seus sistemas de controlo, principalmente devido ao desenvolvimento dos sistemas computadorizados. Essa evolução permite um grande salto na velocidade de trabalho e principalmente na complexidade das tarefas realizadas pelos robôs industriais.

Na indústria os sistemas de controlo de robôs normalmente estão localizados em um gabinete metálico externamente à parte mecânica, o qual se denomina de unidade de controlo. Esse gabinete normalmente é ligado por cabos ao atuador, podendo deste modo estar localizado a uma distância segura da área de trabalho. Toda esta estrutura tem de contar com uma fonte de alimentação de alta potência para acionamento dos eixos (normalmente localizada no mesmo gabinete da unidade de controlo) e da interface de programação do robô (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011).

Na Figura 2.17 está representado a estrutura de um robô industrial, onde se pode observar as partes que o constituem como o manipulador mecânico e a unidade de controlo.

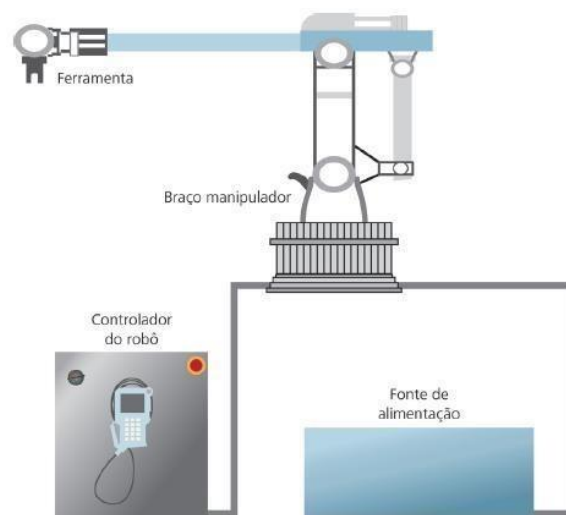


Figura 2.17 - Estrutura de um robô industrial.

Fonte: (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011)

2.2.2.1. Unidade de controlo

Quando se refere à robótica industrial imagina-se um braço manipulador, uma vez que esse elemento é o responsável por realizar o trabalho útil na linha de produção. Porém, um robô industrial depende inteiramente de uma unidade de controlo. A unidade de controlo, Figura 2.18, é um sistema eletrónico responsável pela gestão e monitorização dos parâmetros operacionais requeridos para realizar as tarefas do robô. Os comandos de movimentação enviados aos atuadores são originados de controladores de movimento, como por exemplo, computador industrial, PLC) e baseados em informações obtidas através dos sensores (M. F. Santos, 2004).

Nesta unidade de controlo encontram-se:

Unidade lógica de comando – esta unidade é responsável por rodar o programa de comando que controla os eixos, processa os programas do utilizador e controla as interfaces de comunicação.

Interface de programação – São interfaces que possibilitam a interação entre o operador e o robô, permitindo acompanhar o trabalho, realizar a programação e o diagnóstico de problemas.

Interfaces lógicas - Normalmente os robôs apresentam um dispositivo de entradas/saídas digitais que permite a sua integração com outros elementos do sistema, como por exemplo controlar a abertura e o fecho das garras.

Sistemas de potência – os robôs normalmente são movimentados utilizando servomotores elétricos. Esses elementos necessitam de altas correntes de acionamento, as quais são controladas por circuitos eletrônicos de potência designadas por “drivers dos eixos”.

Transformador de alimentação – gera a tensão necessária para alimentar todos os elementos.



Figura 2.18 - Unidade de controlo de um robô.

Fonte: Apostila 2

2.2.2.2. Unidade de programação “*Teach Pendant*”

A unidade de controlo do robô apresenta uma interface que permite o seu controlo bem como a inserção e análise dos programas. Uma vez que a unidade de controlo é externa ao robô, essa interface normalmente é portátil, sendo designado de unidade de programação, ou “*Teach Pendant*” (KUKA). Na Figura 2.19, está um exemplo, que no caso é a unidade de programação da KUKA.

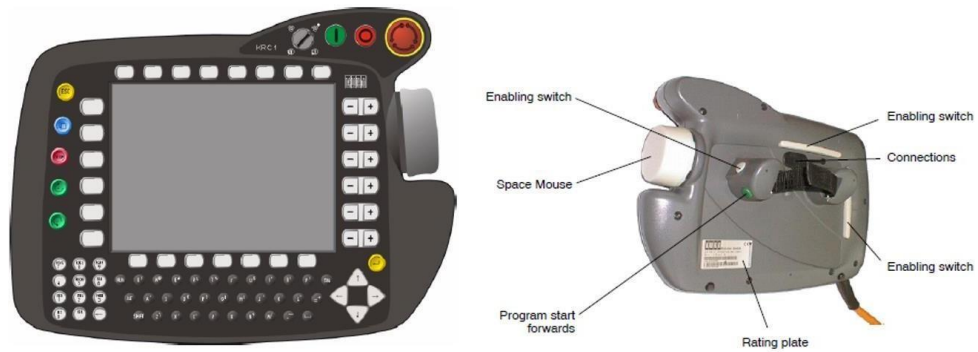


Figura 2.19 - *Teach Pendant* do robô da KUKA.

Fonte: (KUKA)

A unidade de programação normalmente possui os seguintes elementos, apresentados abaixo e representados na Figura 2.20, Figura 2.21, Figura 2.22 e Figura 2.23:

- **Ecrã de texto ou gráfica** – onde são apresentados os dados ao operador. Atualmente é comum encontrarmos ecrãs gráficos coloridas com função de toque no ecrã (*touch screen*).

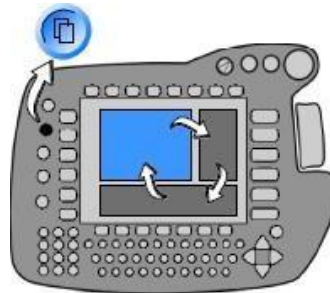


Figura 2.20 - Ecrã de texto ou gráfico do *Teach Pendant* da KUKA.

Fonte: (KUKA)

- **Teclado** – para realizar a entrada de dados.

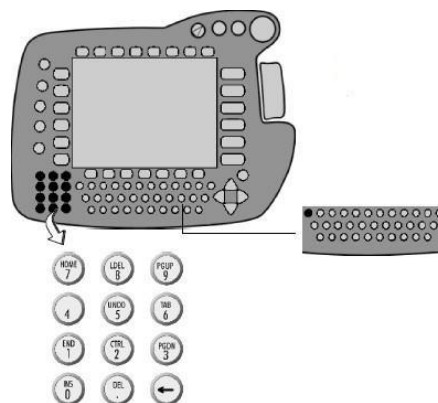


Figura 2.21 - Teclado do *Teach Pendant* da KUKA.

Fonte: (KUKA)

- **Botão direcional ou *joystick*** – para movimentação manual do robô.

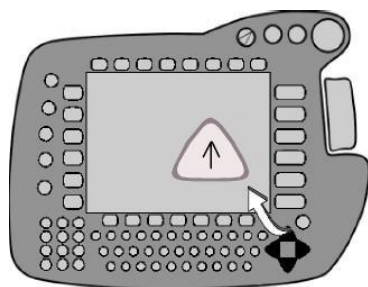


Figura 2.22 - Botões direcionais do *Teach Pendant* da KUKA.

Fonte: (KUKA)

- **Botão de emergência** – realiza a paragem imediata do robô.

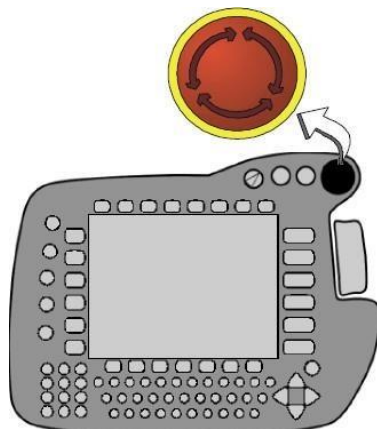


Figura 2.23 - Botão de emergência do *Teach Pendant* da KUKA.

Fonte: (KUKA)

2.2.3. Sistemas manipuladores robóticos

Os robôs são projetados com o intuito de realizar um trabalho produtivo de forma extremamente versátil. Um robô realiza um trabalho quando movimenta a sua estrutura a fim de deslocar um objeto que deseja manipular. Um robô industrial é formado pela integração dos seguintes componentes, Figura 2.24: (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011):

a) **Manipulador mecânico** – refere-se principalmente ao aspeto mecânico e estrutural do robô e divide-se em:

- **Elos ou *links* em inglês** – consiste em corpos rígidos e podem ter diversos tamanhos e formas, dependendo da aplicação. Nos robôs estas estruturas devem ser projetadas para apresentar elevada rigidez aos esforços de flexão e torção. Os materiais mais

empregados na estrutura são alumínio e aço. Mais recentemente têm sido utilizados fibras de carbono e de vidro, materiais termoplásticos e plásticos reforçados;

- **Juntas** – os elos são unidos por juntas que lhes permitem um movimento relativo, com o acionamento monitorizado pelo sistema de controlo. Em robótica normalmente utiliza-se dois tipos básicos de juntas: junta de **rotação** (juntas rotativas, com movimentos angulares) ou junta **prismática** (onde há um movimento linear entre os elos. O uso destas juntas tem por objetivo tornar mais simples o processo de montagem e/ou fabricação dos componentes mecânicos que compõem uma junta. Outra vantagem refere-se ao controlo do movimento relativo entre os elos que depende de apenas uma variável de posição. O robô industrial, como mencionado anteriormente, é uma combinação de elos e juntas em forma de cadeia cinemática aberta. Portanto, o número de juntas equivale ao número de graus de liberdade.
- **Sistemas de transmissão** – os movimentos de cada corpo ocorrem devido a transmissão de potência mecânica (binário/força e velocidade angular/linear) originada de um atuador. Estes sistemas são componentes mecânicos cuja função é transmitir potência mecânica dos atuadores aos elos.

O conjunto formado pelos elos e pelas juntas forma uma cadeia cinemática aberta, onde a posição do último elo depende da posição das juntas anteriores. A primeira junta está, normalmente, montada sobre uma superfície fixa denominado de base. No último elo está a extremidade terminal, onde será vinculado o componente **efetuador** (garra ou ferramenta);

b) **Atuadores** – que são componentes que convertem energia elétrica, hidráulica ou pneumática, em potência mecânica. Através dos sistemas de transmissão a potência mecânica criada pelos atuadores é enviada aos elos para a movimentação dos mesmos.

c) **Sensores** – fornecem parâmetros sobre o funcionamento do manipulador no que diz respeito a posição, velocidade dos elos e o modo de interação entre o robô e o meio de operação à unidade de controlo.

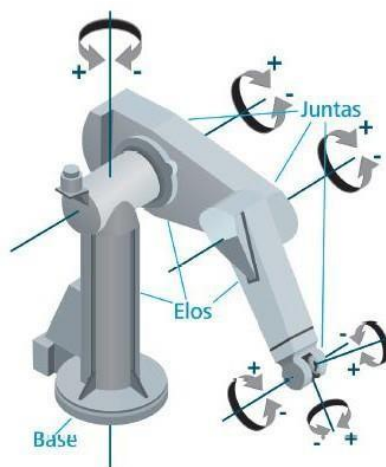


Figura 2.24 - Sistemas manipuladores robóticos.

Fonte: (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011)

No entanto, não necessariamente, todas as juntas de um robô manipulador têm de ser do mesmo tipo, podendo a cadeia cinemática ser composta por qualquer combinação de juntas de rotação e prismática, conforme a aplicação projetada.

2.2.4. Classificação dos robôs

Os robôs industriais ser podem classificados de diversas formas como por exemplo:

1) Quanto ao grau de liberdade

O grau de liberdade de um robô ou (*DOF* em inglês) é dado pelo número total de juntas que o mesmo possui. Um manipulador típico possui 6 graus de liberdade o que lhe confere a capacidade de posicionar uma determinada peça em qualquer ponto do espaço e com qualquer orientação. As 3 primeiras juntas funcionam como posicionamento do efetuador dentro do espaço de trabalho (coordenadas X, Y e Z) e as outras 3 servem para obter uma orientação do efetuador adequado para segurar o objeto.

2) Quanto à estrutura mecânica

a) Robô de Coordenadas cartesianas

São caracterizados por possuírem três juntas prismáticas (PPP), resultando num movimento composto de três translações, em que os eixos de movimento coincidem com um sistema de coordenadas de referência cartesiana. São utilizados onde se necessita de uma ampla área de

trabalho, sendo o acesso aos componentes pela parte superior e em alguns casos chegando a ser verdadeiras pontes rolantes automatizadas (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011). Na Figura 2.25 está representado um exemplo de um robô de coordenadas cartesianas.



Figura 2.25 - Robô de coordenadas cartesianas³.

b) Robô paralelo

Possuem três ou mais eixos montados em uma configuração especial, ligados em paralelo. Este tipo de robô permite velocidades de trabalho muito altas, porém o controlo é bastante complexo. Amplamente utilizados em sistemas “*pick-and-place*”, isto é, pegar objetos e posicioná-los, muito utilizado em linhas de embalagem. A Figura 2.26, mostra um exemplo de robô do tipo paralelo.



Figura 2.26 - Robô de coordenadas paralelas.

Fonte: (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011)

³ Imagem obtida de: <https://www.citisystems.com.br/tipos-de-robos/>

c) Robôs SCARA

O robô SCARA, Figura 2.27, apresenta duas juntas de rotação dispostas em paralelo para se ter movimento num plano e uma junta prismática perpendicular a este plano (PRR), apresentando, portanto, uma translação e duas rotações. Esta configuração torna o robô simples e barato, permitindo ainda grande precisão de posicionamento. Amplamente utilizado na indústria eletrônica para a montagem automática de componentes em placas de circuito impresso (Ferreira Romano & Suell Dutra, 2016).



Figura 2.27 - Robô SCARA.

Fonte: (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011)

2.2.5. Especificações do robô industrial

Existe uma série de características que devem ser tidos em consideração, para além das características construtivas básicas apresentados anteriormente. Algumas destas características são:

Espaço de trabalho - é o espaço formado pela região que o punho, órgão terminal do robô, consegue alcançar, sendo esta definida pelos limites de movimentos de seus elementos. Define-se como alcance horizontal a maior distância que o robô pode alcançar, em relação ao centro da sua base. Na Figura 2.28 está representado o espaço de trabalho do robô *Motoman MH6-S*

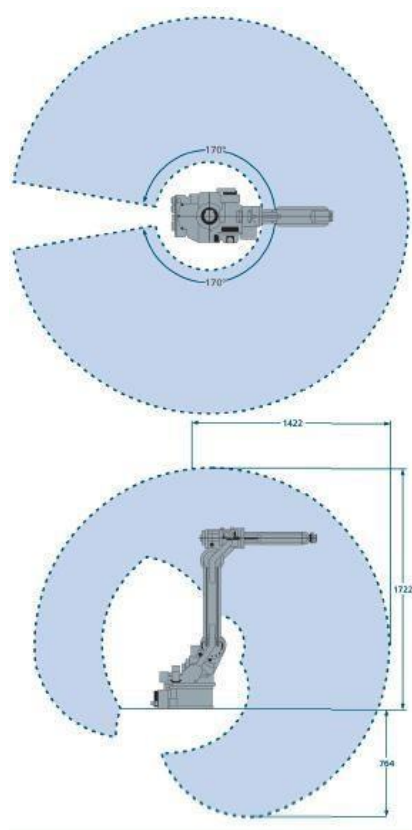


Figura 2.28 - Espaço de trabalho do robô *Motoman* MH6-S.

Fonte: CTISM, adaptado de www.motoman.com – catálogo do produto

Precisão – esta característica é especificada pela repetibilidade do robô. Expressa a diferença máxima com que o robô consegue repetir uma posição da garra ou ferramenta. Por exemplo, um robô com repetibilidade de 0.1 mm consegue posicionar uma peça em qualquer local de seu espaço de trabalho com uma variação de posição máxima de 0.1 mm entre cada movimento.

Velocidade – designada pela velocidade angular máxima dos eixos do robô, em graus por segundo e reflete a velocidade com que o robô consegue mover as peças.

Capacidade de carga – este parâmetro refere-se a carga máxima que o robô consegue manipular, devendo para isso considerar o peso do atuador (garra) mais o peso da peça. A que ter em conta não apenas a força disponível, mas também a rigidez do robô e as acelerações que ocorrem durante os movimentos. Na Figura 2.29, está ilustrado um robô industrial da *Fanuc* com capacidade de carga de 1.200 kg e alcance horizontal de 4.6 m.



Figura 2.29 - Robô industrial com capacidade de carga de 1.200 kg e alcance horizontal de 4,6 m⁴.

2.2.6. Tipos de programação

Os robôs industriais possuem como grande vantagem a facilidade de serem programados para realizar as mais diversas tarefas, no entanto, esta programação implica custos que devem ser minimizados.

A forma de programação para um robô é constituída basicamente por uma sequência de pontos no espaço onde o robô deve mover, formando assim a trajetória do robô para uma determinada tarefa. Nessa trajetória pode haver pontos, onde pode haver paragens, onde o atuador deve ser ligado ou desligado (garra, ferramenta de soldadura, ...) e também pode possuir uma lógica que interaja com outros elementos da instalação através das interfaces disponíveis do robô, como por exemplo, sensores ou sistemas de visão. www.fanurobotics.com

Existem 3 tipos diferentes para efetuar a programação de robô:

Programação *online* – este tipo de programação é feito diretamente no robô e foi o primeiro sistema de programação utilizado e ainda hoje é muito usado por ser mais simples. O robô é movimentado manualmente através da sua interface enquanto é feita a memorização dos pontos e ações.

Neste tipo de programação é utilizado o *teach pendant* possibilitando o acompanhamento dos movimentos ao mesmo tempo que se memoriza os pontos e as ações.

Tem a vantagem de ser facilmente acessível, observando *in loco* das ações do robô, e pode ser realizado pelo próprio operador.

⁴ Obtida de: www.fanurobotics.com

A grande desvantagem desta forma de programação é que exige a paragem da produção, além disso é uma forma muito lenta de programar, uma vez que, por questão de segurança o robô tem de trabalhar em velocidades baixas durante a programação, e além disso, os erros do programador pode causar danos no robô e por vezes as operações de lógica e cálculos são mais difíceis de serem implementadas.

Programação *offline* – o desenvolvimento de ferramentas de auxílio para programação de robôs, como por exemplo, editores de texto com verificação de sintaxe, os simuladores em 3 dimensões para robôs, permitiu o desenvolvimento deste tipo de programação, que é mais utilizada. A programação *offline* é feita fora do controlador do robô.

Este tipo de programação possui como vantagens o facto de não necessitar de parar a produção para a elaboração do programa, e tem um custo independente da hora de produção. Permite uma fácil verificação do programa através das ferramentas de simulação e existem bibliotecas para criar automaticamente trajetórias de corte, solda, por exemplo.

Como desvantagens: investimento em *softwares* de programação *offline*, necessita de programadores especializados, necessita de um modelo completo da célula de produção, bem como a necessidade de ajustar os pontos simulados com os pontos reais.

Programação híbrida *offline/online* – Permite a otimização do processo de programação, aproveitando as vantagens dos dois tipos apresentados anteriormente. O programa é concebido *offline* com o cuidado de permitir que os pontos possam ser adquiridos e/ou ajustados *online*, permitindo deste modo uma grande flexibilidade para ajustar o programa.

2.3. Redes industriais

2.3.1. Introdução

O comum dos sistemas de automação é possuir elementos como, sensores, controladores, atuadores, interfaces homem-máquina e mesmo sistemas de supervisão permitindo a comunicação entre os operadores e o sistema. Essa comunicação torna-se essencial para atingir os objetivos das empresas. Os diversos protocolos que viabilizam essa comunicação designam-se por redes de comunicação e consoante associação dos elementos principais que compõem a rede industrial, esta está dividida em diferentes níveis tendo como finalidade organizar a organização na rede (SMAR, 2020).

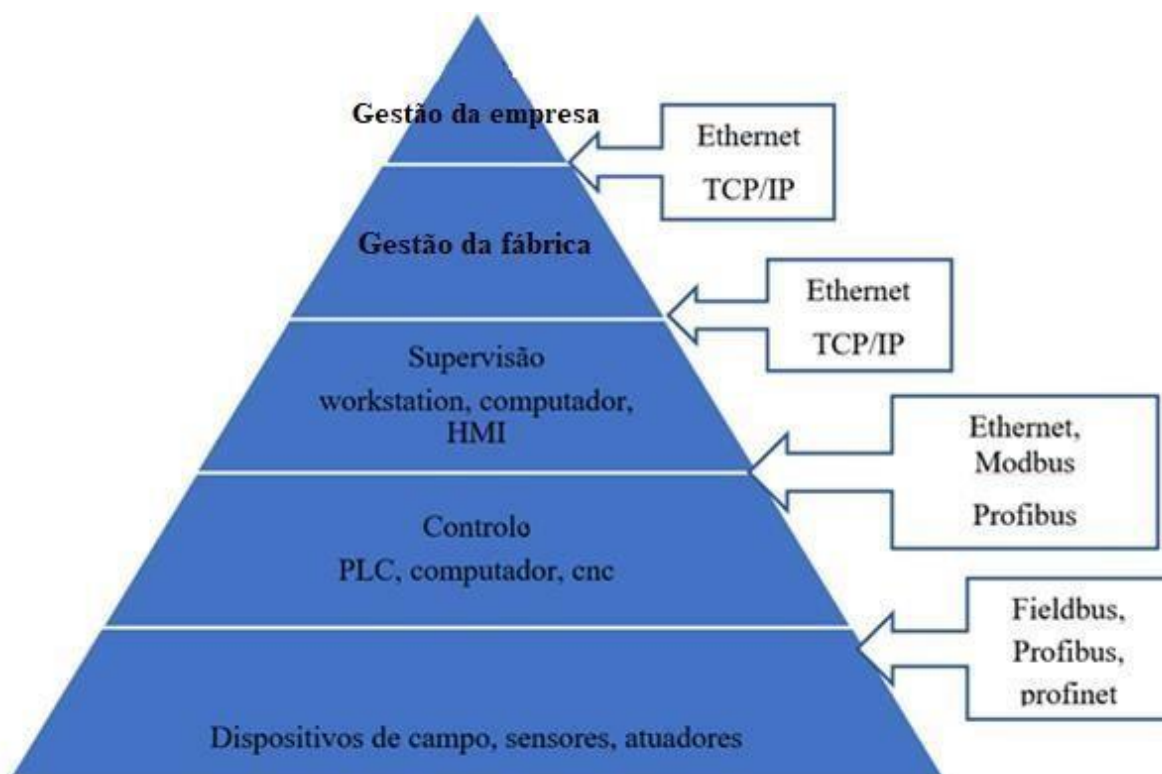


Figura 2.30 - Níveis e protocolos das redes industriais

Gestão da empresa— este nível tem como função a administração dos recursos da empresa e neste nível encontram-se *softwares* de gestão de vendas e financeiras.

Gestão de fábrica – este é o nível responsável pela programação e pelo planeamento no que diz respeito ao produto, sendo responsável por toda a logística em volta do produto.

Supervisão, Workspace, computador HMI – este nível permite a supervisão e otimização de processos graças ao banco de dados com informações relativas ao processo.

Controlo, PLC, computador – nível onde se encontram os equipamentos que executam o controlo automático centralizado ou não das atividades na fábrica. Aqui encontram-se as ligações entre elementos como os PLCs e interfaces homem-máquina (HMI).

Dispositivos de campo, sensores, atuadores – este é o nível de chão-de-fábrica, máquinas e componentes da fábrica. Este é o nível onde se encontram os dispositivos que executam o controlo automático distribuído.

No nível de campo, encontram-se os módulos de Entrada/Saída (E/S), transdutores, acionamentos (*drives*), válvulas, painéis de operação entre outros. Estes dispositivos comunicam-se com o sistema de automação via um sistema de comunicação em tempo real (PROFIBUS-DP ou PA, PROFINET). A transmissão de dados do processo e diagnóstico é

efetuado ciclicamente, enquanto alarmes, parâmetros e também diagnósticos são transmitidos aciclicamente, somente quando necessário (SMAR, 2020).

A comunicação entre controladores programáveis e os computadores requerem grandes pacotes de dados e um número elevado de funções poderosas de comunicação. A integração eficiente aos sistemas de comunicação corporativos, tais como, intranet, internet e Ethernet é um requisito absolutamente obrigatório (SMAR, 2020).

Na Tabela 2.2 está representado a classificação geral das redes industriais.

Tabela 2.2 - Classificação geral das redes industriais.

Classificação geral das redes industriais.	
Topologia física	<ul style="list-style-type: none"> • Barramento • Anel • Estrela • Árvore • Mista
Modelos de Redes	<ul style="list-style-type: none"> • Origem-destino • Produtor-consumidor
Método de troca de dados	<ul style="list-style-type: none"> • Pooling • Cíclica • Mudança de estado
Tipo de conexão	<ul style="list-style-type: none"> • Ponto a ponto • Múltiplos pontos
Modo de transmissão	<ul style="list-style-type: none"> • Série • Paralela
Incroneização de bits	<ul style="list-style-type: none"> • Síncrona • Assíncrona
Modo de Operação	<ul style="list-style-type: none"> • Simplex • Half Duplex • Full Duplex
Tipo de comutação	<ul style="list-style-type: none"> • Comutação de circuitos • Comutação de pacotes

2.3.2. Protocolos de comunicação

Este tipo de protocolo estabelece as regras de como o processo de comunicação deve ocorrer para viabilizar de forma organizada a comunicação entre diferentes elementos da rede. Os protocolos são responsáveis por definir os tipos de cabos de ligação, o comprimento dos cabos, tipos de conectores, métodos de acesso ao meio, tamanho de pacotes de informação,

encaminhamento, detecção e correção de erros, retransmissões compatibilidade entre sistemas, entre outros.

Dependendo da característica da rede de comunicação assim será o tipo de protocolo a ser adotado, existindo diversos protocolos e muitos deles trabalham em conjunto.

Existem diversos protocolos que podem ser utilizados, no entanto foram explicados apenas os protocolos utilizados durante o estágio, que são a PROFINET, PROFIBUS e EtherCAT, existindo outros, como por exemplo, o Modbus ou o ASI (*Actuator-Sensor Interface*).

2.3.2.1. PROFIBUS

PROFIBUS (*Process Field Bus*) é um protocolo desenvolvido pela Siemens, que utiliza cartões de controlo, para ligar o PLCs, computadores e outros dispositivos ao barramento de sensores e atuadores. É um protocolo padrão aberto de rede, isto é, é livre e independente de fabricantes, podendo ser utilizado por todos. Desta forma tem sido amplamente utilizado na automação industrial (De Paula Peres, 2012).

O PROFIBUS foi definido entre os anos de 1991 e 1993 na norma DIN19245, movida para EN50170 no ano de 1996, desde o ano de 1999 está incluído nas normas IEC61158/IEC 61784. As normas EN50170 e EN50254 asseguram a padronização, possibilitando a sua interface com qualquer produto que utiliza essa tecnologia, sem a necessidade de dispositivos adicionais.

O primeiro passo, foi a especificação do protocolo de comunicações complexas PROFIBUS FMS (*Fieldbus Message Specification*), que foi preparado para exigências de tarefas de comunicação. E no ano de 1993 surge a variante do PROFIBUS, que é mais simples e com comunicação mais rápida que é a PROFIBUS-DP (*Decentralized Periphery*, ou Periferia Descentralizada).

Ao nível da célula, os PLCs e os computadores comunicam-se entre si, através da transmissão de grandes pacotes utilizando para isso inúmeras e poderosas funções de comunicação. Além disso, a integração eficiente aos sistemas de comunicação corporativos, como por exemplo, Intranet, Internet e Ethernet são requisitos absolutamente obrigatórios. Essa necessidade é suprida pelos protocolos PROFIBUS FMS e PROFINet (De Paula Peres, 2012).

A topologia da rede PROFIBUS está representada na Figura 2.31 um exemplo de uma rede industrial utilizando o protocolo PROFIBUS.

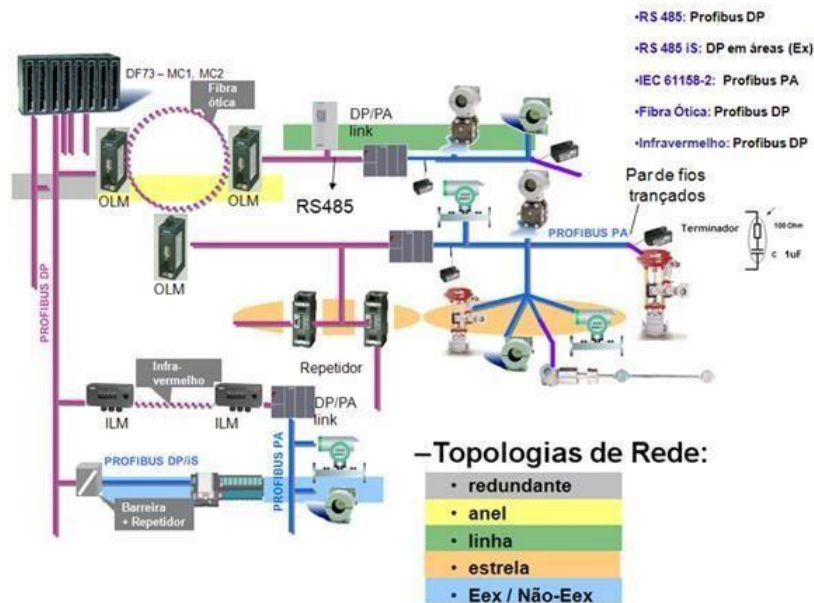


Figura 2.31 – Exemplo de uma rede industrial utilizando o protocolo PROFIBUS.

Fonte: (De Paula Peres, 2012)

Os protocolos mais comuns no PROFIBUS são o PROFIBUS-DP, PROFIBUS-FMS e PROFIBUS-PA e utilizam como meio de transmissão na sua maioria os padrões RS-485 (Figura 2.32), IEC61158 (Figura 2.33) e em alguns casos específicos, a fibra ótica.



Figura 2.32⁵ - Exemplo de ligações RS485, fêmea e macho



Figura 2.33 - Modelo de cabo e conector padrão IEC-61158-2

PROFIBUS-DP

O PROFIBUS-DP é o protocolo de aplicação mais utilizado e tem como função a integração do nível de campo ou processo o qual é formado por sensores e atuadores. Possibilita uma alta velocidade de transmissão e um baixo custo de instalação. Este tipo

⁵ Obtida de: <https://docplayer.com.br/70191334-Redes-de-comunicacao-profibus.html>

de rede possui um ciclo de comunicação baixo para pequenos volumes de dados fazendo a união entre os componentes do sistema E/S distribuídos e outros dispositivos de campo com o nível de PLC e outros dispositivos de programação (De Paula Peres, 2012).

Por forma a possibilitar a ligação do PLC aos módulos de sensores e atuadores de um sistema através de uma rede PROFIBUS-DP é necessária uma placa processadora no *rack* do PLC.

Este protocolo é indicado para processos de manufatura e controlo no chão de fábrica.

PROFIBUS-FMS

O PROFIBUS-FMS é a evolução do PROFIBUS-DP e é empregue em comunicações ao onde se encontram os PLCs, permitindo troca de informações entre eles. É um perfil de comunicação universal para tarefas de comunicação complexas, sendo também poderoso o suficiente para suportar comunicações entre sistemas de automação, podendo chegar ao nível gestão, apesar de não ser indicado. Atualmente, devido a utilizações de Ethernet tem caído em desuso.

PROFIBUS-PA

É a versão mais recente do PROFIBUS e a mais difundida atualmente. É a solução para ligação e comunicação com equipamentos de campo e chão de fábrica.

Tem como grande vantagem a confiabilidade da transmissão das informações e também as inúmeras possibilidades, como o acompanhamento da situação de cada componente, desativação ou substituição de um componente por outro sem que haja paragem completa do sistema, dispositivos que fornecem o próprio diagnóstico, e principalmente a versatilidade, por poder ser utilizado em qualquer segmento de automação e controlo.

Normalmente a medição e controlo através deste protocolo são feitos através de um par de fios simples, de preferência trançado, uma vez que esse tipo de cabo diminui a incidência de correntes de autoindução.

A PROFIBUS-PA acaba também por ser bastante seguro, podendo ser utilizado em áreas intrinsecamente seguras, como por exemplo, áreas com potencial explosivo.

2.3.2.2. PROFINET

O PROFINET (*Process Field Net*) é uma rede padronizada pelo PROFIBUS *International* de acordo com a IEC 61158-5 e a IEC 61158-6. Basicamente, existem dois tipos de redes PROFINET: PROFINET IO e PROFINET CBA (*Component Based Automation*). O PROFINET IO é utilizado em aplicações em tempo real (rápidas) e o PROFINET CBA é utilizado em aplicações onde o tempo não é crítico.

A PROFINET está dividida em três canais de comunicação, diferenciados, sobretudo a nível de performance para os diferentes tipos de processos industriais automatizados, que podem ser generalizados por: Automação de Processos, Manufatura e Controlo de Eixos. Cada nível de processo apresenta diferentes tempos de sincronização, que regem o nível de performance da rede (de Souza Lima Oliveira, 2016).

- NRT (*Non Real Time*): Para aplicações onde o tempo de ciclo não é crítico ($\geq 100\text{ms}$), como na Automação de Processos, PROFINET utiliza o padrão TCP/IP para transmissão dos pacotes de dados.
- RT (*Real Time*): Em processos com maior necessidade de precisão, como na maioria dos processos de manufatura, utiliza-se o PROFINET RT para transmissão de dados em alto desempenho, e possui tempos de ciclo mais rápidos ($100 \geq t \geq 10\text{ms}$). Por isso também é utilizado para programação de alarmes e de outros elementos mais críticos do processo.
- IRT (*Isochronous Real Time*): Para comunicação sincronizada por *clock*, ou seja, processos onde o tempo de ciclo é extremamente crítico ($\leq 1\text{ms}$). Em geral nas aplicações de controlo de eixo, utiliza-se o canal IRT.

Para aplicações, define-se três tipos de dispositivos diferentes:

- IO-*Controllers* são PLCs. São os Mestres da rede, ou seja, os responsáveis por estabelecer as ligações com os outros dispositivos, trocar dados e controlar o sistema como um todo.
- IO-*Device* são os dispositivos escravos, que são atribuídos à um Mestre com a finalidade de receber e enviar dados de uma parte do processo.
- IO-*Supervisor* são as estações de engenharia responsáveis pela programação, comissionamento e diagnóstico da rede e dos seus elementos.

No exemplo da Figura 2.34 pode-se observar a integração do protocolo PROFINET e o PROFIBUS e na Figura 2.35 a estrutura de um dispositivo PROFINET.

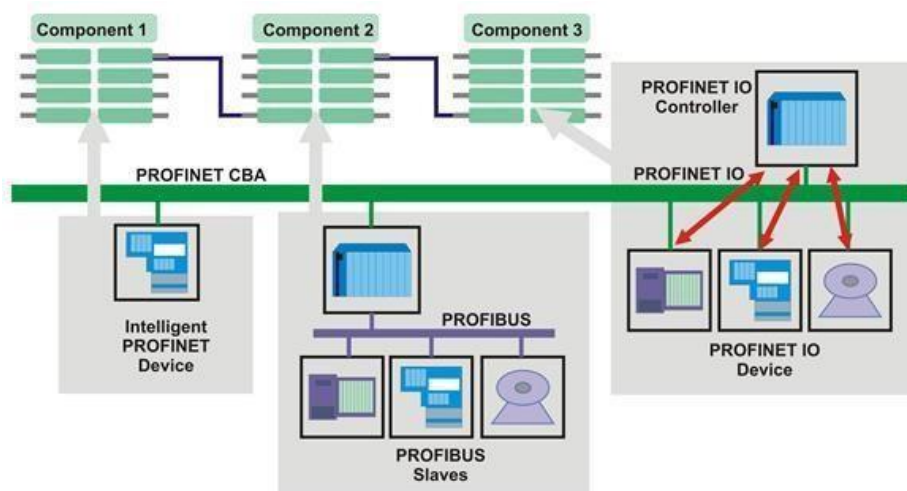


Figura 2.34 - Integração PROFINET e PROFIBUS.

Fonte: (SMAR, 2020)

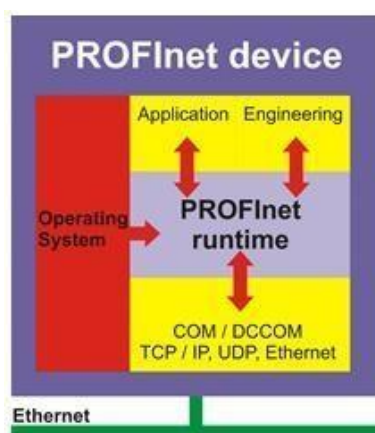


Figura 2.35 - Estrutura de um dispositivo PROFINET.

Fonte: (SMAR, 2020)

O PROFINET foi desenvolvido em seu modelamento de forma a proporcionar o acesso às informações de dados via serviços padrões de *WEB*.

2.3.2.3. ETHERCAT

A EtherCAT (*Ethernet Control Automation Technology*), desenvolvida em 2013 pela Beckhoff, é um protocolo industrial para a comunicação de tempo real baseada na *Ethernet* e integrada à norma IEC 61158 em 2007. No entanto, a *EtherCAT Technology Group* (ETG) faz a promoção da tecnologia EtherCAT e é responsável pelo seu desenvolvimento contínuo.

A rede EtherCAT é composta por um mestre EtherCAT e até 65535 escravos, conectados com cabo padrão *Ethernet* sem qualquer restrição de topologia, sendo linha, árvore, anel, estrela, ou qualquer combinação destas, permitindo que dois dispositivos estejam distantes em até 100m entre si. Para isso utiliza o meio físico *Ethernet 100Base-TX* (*Fast Ethernet*, T = Cobre de par

trançado), com o tráfego de dados à taxa nominal de 100 Mbit/s, contra a taxa de transmissão de 10 Mbit/s da *Ethernet* original.

Para a ligação, a rede EtherCAT os dispositivos da rede utilizam duas entradas RJ45:

- *XC1 (IN)*: utilizado para a ligação com o segmento que vem do lado do mestre.
- *XC2 (OUT)*: utilizado para ligação com o segmento que leva aos demais escravos (ou desconectado, caso seja o último elemento da rede).

No exemplo da Figura 2.36 está esboçado a topologia de uma rede EtherCAT onde estão presentes um mestre e 4 escravos da rede.

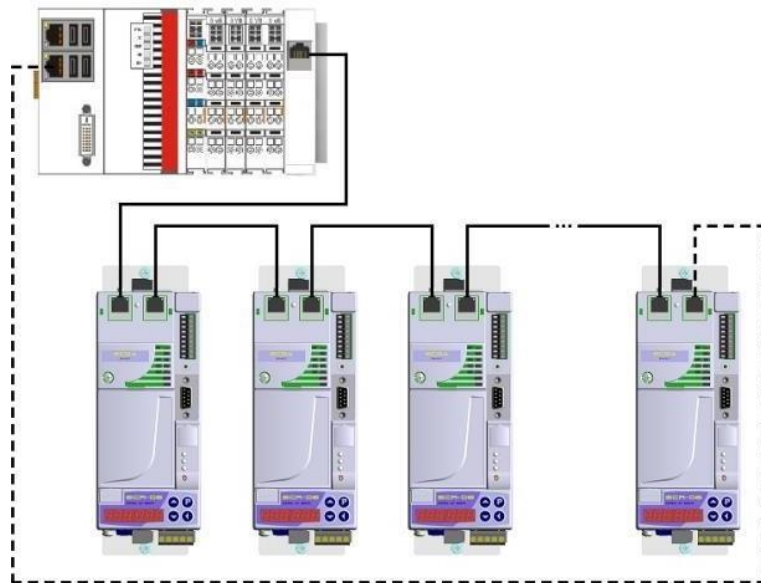


Figura 2.36 - Topologia da rede EtherCAT.

2.4. Supervisão

Este ponto contempla um elemento importante das redes industriais que é a supervisão e mais concretamente da supervisão do tipo SCADA.

2.4.1. Introdução

A grande quantidade de informação produzida pelos sistemas de automação industriais conduziu a necessidade de centralizar tais informações de forma a existir o máximo de informação no menor tempo possível. Embora a centralização tenha cobrido as necessidades, muitas vezes a sala de controlo possui grandes extensões, havendo grande necessidade de equipamentos e de operadores.

O sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) “são os sistemas de supervisão e controlo de processos industriais que coletam dados do processo remotamente,

principalmente PLCs, formatam esses dados, e os apresentam ao operador em uma multiplicidade de formas” (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011).

O objetivo passa por propiciar uma interface de alto nível do operador com o processo, informando-o em tempo real todos os eventos de importância, permitindo ao operador atuar e monitorizar o processo (Bayer, Eckhardt, & Machado, 2011).

2.4.2. Software de supervisão do tipo SCADA

O *software* SCADA está localizado no nível de controlo do processo de redes de comunicação e é o responsável por adquirir dados diretamente dos PLCs para os computadores, assim como pela sua organização, utilização e gestão dos dados.

A configuração individual de cada ponto supervisionado permite ao utilizador definir limites para alarmes, condições e texto para cada estado diferente de um ponto. O *software* tem de estar desenhado para permitir o desenvolvimento de estratégias de controlo utilizando funções avançadas, através de módulos destinados a implementação, por exemplo, de funções matemáticas e booleanas. Permitindo, deste modo, o controlo de funções do processo através destes módulos.

Os dados adquiridos por este sistema podem ser manipulados por forma a gerarem parâmetros de controlo. Para isso a que haver a padronização dos dados e o seu armazenamento em arquivos por forma a estarem sempre acessíveis, por exemplo para a realização de cálculos ou alteração de parâmetros.

Os dados referentes aos pontos são individuais e abrangem os “*tags*” que são variáveis de entrada/saída (E/S), as descrições e taxa de ciclo. A alteração dos “*tags*” pode ser realizada *online*, sendo o *software* responsável por gerenciar os cálculos, e operações realizadas, e o estado dos pontos e de toda a informação dos bancos de dados.

A supervisão do tipo SCADA está dotada de ecrãs que permitem aos operadores, controlar e supervisionar os processos por completo. Os ecrãs devem ser organizados permitindo um acesso rápido e sequencial.

2.4.3. Ecrãs de supervisão

São descritos a seguir os principais ecrãs que um *software* tipo SCADA deve conter.

2.4.3.1. Ecrãs de visão geral

Este ecrã apresenta ao operador uma visão geral do processo, onde estão presentes os dados mais significantes do processo e os objetos que representam o processo. Os objetos por norma estão dotados de características dinâmicas, apresentando o estado de equipamentos e áreas dos processos representados. Os dados nele apresentados devem procurar resumir de forma significativa os principais parâmetros a serem monitorizados do processo.

2.4.3.2. Ecrãs de grupo

Representam cada processo ou unidade, apresentando dados e objetos de uma determinada área do processo. Estes tipos de ecrãs apresentam objetos dotados de características dinâmicas representando estados ou condições dos equipamentos e valores quantitativos dos parâmetros supervisionados. Para além disso os ecrãs permitem ainda ao operador acionar equipamentos através de comando do tipo ligar/desligar ou abrir/fechar. Os operadores podem ainda alterar parâmetros, tais como, limites de alarmes, modos de controlos, entre outros.

2.4.3.3. Ecrãs de detalhe

Os ecrãs atendem aos pontos e equipamentos monitorizados individualmente. No geral são compostas por objetos dinâmicos, representando o estado do equipamento, com dados de todos os parâmetros deste ponto. Devem possibilitar ao operador alterar os parâmetros do equipamento, bem como os de configuração.

2.4.3.4. Ecrãs de tendência – histórica e real

Responsáveis por apresentarem várias variáveis simultaneamente na forma gráfica com valores coletados em tempo real, na forma de tendência real e na forma de histórico. Os dados podem ser apresentados em forma gráfica ou em forma de tabelas.

2.4.3.5. Ecrãs de manutenção

Este é o tipo de ecrã onde aparecem os erros, alarmes e dados de manutenção das diversas áreas do processo e equipamentos. As informações são do tipo histórico de erros, informações gerais dos equipamentos, programa de manutenção dos equipamentos. Pode ainda conter uma área onde é armazenada o histórico de alarmes e erros do processo.

2.4.3.6. Relatórios

Possibilita compactar as informações do processo, possibilitando ao operador escolher as variáveis e ver o seu histórico. Os dados podem ser apresentados nos ecrãs com campos de identificação para “*tags*”, data, hora e descrição.

Os relatórios podem ser solicitados manualmente pelo operador e impressos, uma vez que são armazenados em arquivos por forma a poderem ser consultados quando necessário.

3. Capítulo 3 – ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO CURRICULAR

No presente capítulo são abordadas as atividades desenvolvidas durante o estágio curricular. Está dividida em duas fases:

1. Acompanhamento de trabalhos desenvolvidos pela empresa por forma a ficar inteirado da metodologia utilizada pela empresa e dos *softwares*. Nesta fase é apresentado o acompanhamento de um projeto desenvolvido no software do TIA Portal.
2. Desenvolvidos projetos de forma autónoma. São apresentados dois projetos que foram desenvolvidos durante o estágio: serrote semiautomático e uma célula robótica.

De referir que o estágio foi desenvolvido na sua maioria por teletrabalho devido à COVID-19.

Essas duas fases passam a ser apresentados a seguir.

3.1. Fase 1 do Estágio - Acompanhamento de trabalhos desenvolvidos pela empresa

Nesta fase do estágio o principal objetivo foi dar a conhecer os trabalhos desenvolvidos pela empresa, os softwares utilizados e os métodos de trabalhos utilizados pela empresa. Infelizmente por motivos de confinamento não foi possível acompanhar os trabalhos no terreno ficando apenas pelo trabalho à distância.

Durante esta fase do trabalho não houve o desenvolvimento completo de projetos, pelo que aqui será mostrado partes de trabalho desenvolvido no software TIA Portal e todos os procedimentos para criar e desenvolver projetos no software.

3.1.1. Desenvolvimento de trabalhos no software TIA Portal

O portal de automação totalmente integrado (TIA Portal) fornece uma estrutura de engenharia para implementação de soluções de automação em todas as indústrias ao redor do mundo. Desde projeto, comissionamento, operação e manutenção até a atualização dos sistemas de automação, o Tia Portal economiza tempo, custo e esforço dos engenheiros. SIMATIC STEP 7 no TIA Portal é o *software* para a configuração, programação, teste e diagnóstico de todos os controladores SIMATIC e inclui uma variedade de funções amigáveis do utilizador. Na Figura 3.1 está representada o processo de configuração da ligação entre o *software* SIMATIC STEP 7 e o *hardware*.

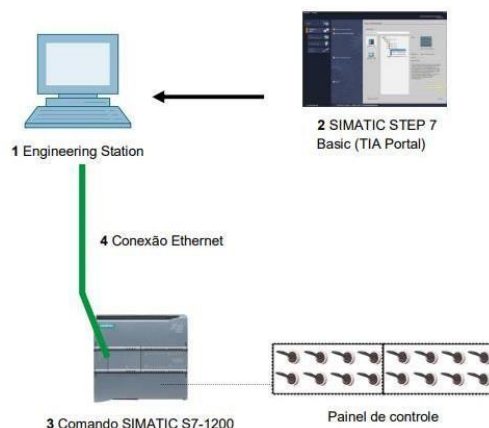


Figura 3.1 – Processo de configuração da ligação entre o *software* SIMATIC STEP 7 e o *hardware*.

3.1.1.1. Trabalhos propostos

Na indústria sequência de operações a serem executadas é bastante semelhante. Em geral, o ciclo de trabalho a ser automatizado é o seguinte:

1. Montagem das peças;
2. Posicionamento e achatamento de todas as peças;
3. Verificar se a montagem está correta;
4. Desempenho da função do posto (ex. Soldagem);
5. Abertura de ferramentas;
6. Extração da peça final e reinício do ciclo no primeiro ponto.

Para este trabalho é preciso verificar se a montagem foi realizada corretamente, utilizando detectores de presença de peça, que permitem verificar se:

- Todas as peças foram montadas.
- As peças que foram montadas estão corretas.
- Se foram montadas na posição correta.

A automação do ciclo será complementada com as seguintes funções:

- Garantir a segurança da instalação e do operador, onde serão utilizados sistemas de segurança, paragens de emergência e geração de alarmes e alertas.
- Serão utilizados contadores para contar o número de peças feitas
- Controlo e gestão dos diversos modos de funcionamento.
- Gestão de controlo e diagnóstico de avisos e falhas.

3.1.1.2. Criando um projeto no TIA Portal

Ao abrir o Tia Portal, aparecem algumas opções, dentre elas as opções de abrir um projeto existente e criar um novo. Na Figura 3.2 pode-se observar essas opções.

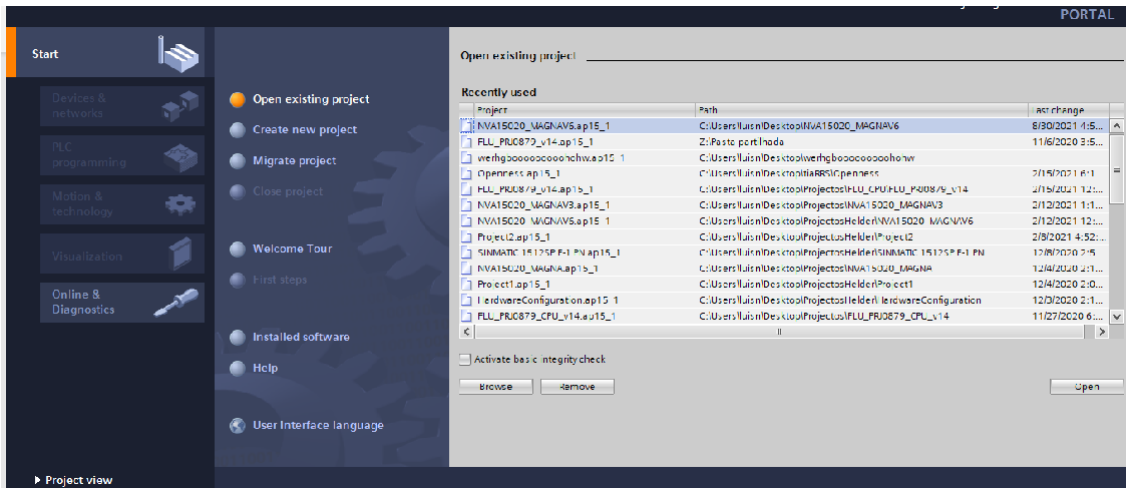


Figura 3.2 - Página inicial do TIA Portal.

Selecionando *Create New Project* uma janela com dados do novo projeto se abre e alguns campos aparecem. A Figura 3.3 ilustra esses campos.

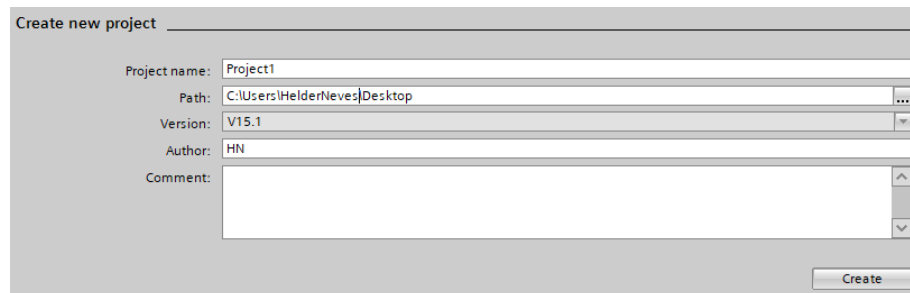


Figura 3.3 - Dados do projeto.

Ao preencher os dados e clicar em *Create*, o projeto será criado e uma nova janela aparecerá, como se pode observar na Figura 3.4. Entre as opções disponíveis deve-se clicar em *Project View* para ter acesso ao ambiente do projeto.

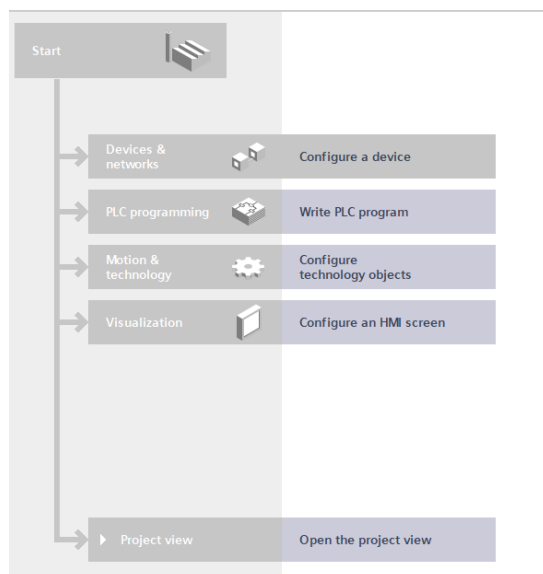


Figura 3.4 - Aceder ao ambiente do projeto.

3.1.1.3. Adicionar dispositivos ao projeto

Com o projeto criado, o próximo passo é adicionar os dispositivos necessários para o projeto. Neste ponto pode-se adicionar PLCs, HMIs e PCs. Os outros dispositivos como *drive* e periféricos são adicionados no próprio ambiente do projeto. Na Figura 3.5 é possível observar este passo.

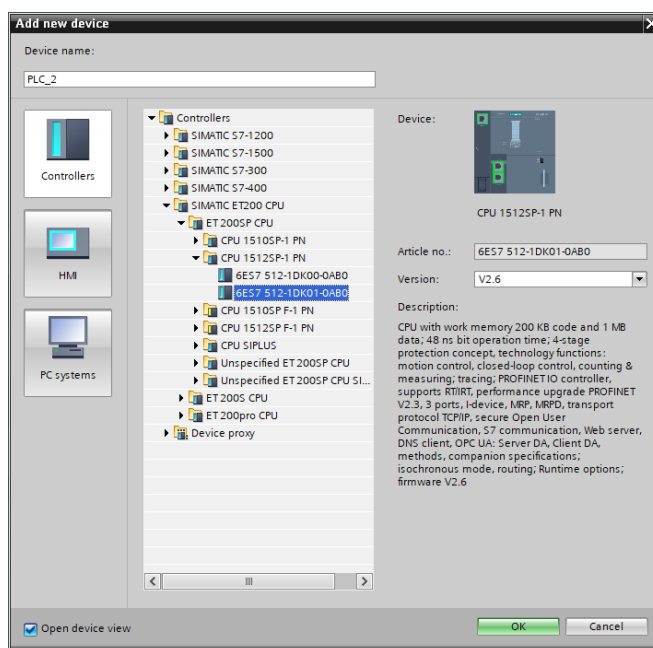


Figura 3.5 - Adicionando dispositivos.

No presente projeto utilizou-se um CPU 1512SP F-1 como PLC, um HMI KT900 Basic PNP e uma *Acess Point* (EX600-SPN). Com a referência exata da CPU, procura-se entre os

dispositivos disponíveis, selecionar a versão de *firmware* instalado e segue-se clicando em OK. É ainda possível escolher o a versão dos dispositivos a ser utilizado.

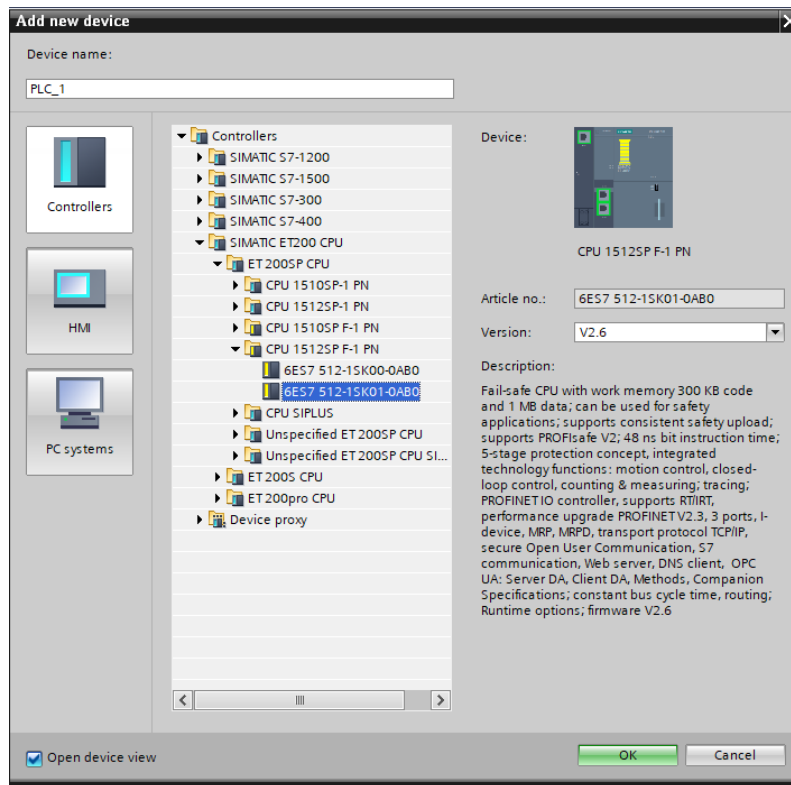


Figura 3.6 - Adicionar controladores.

Com os dispositivos adicionados, pode-se aceder aos *Devices & networks* e a tela de projeto fica como a Figura 3.7.

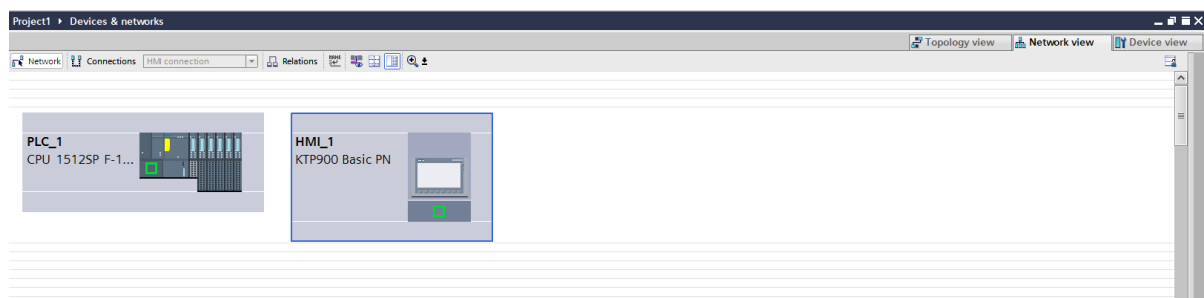


Figura 3.7 - *Network View* dos dispositivos criados.

3.1.1.4. Configuração da comunicação entre os dispositivos

O próximo passo passa por criar a ligação entre os dispositivos. O protocolo de comunicação escolhido para este caso é o PROFINET. Isso pode ser obtido carregando nos pontos de entradas

representados na Figura 3.8 e arrastando até ao ponto de ligação do próximo dispositivo a que se quer ligar. A Figura 3.9 mostra a representação da ligação entre os dispositivos.

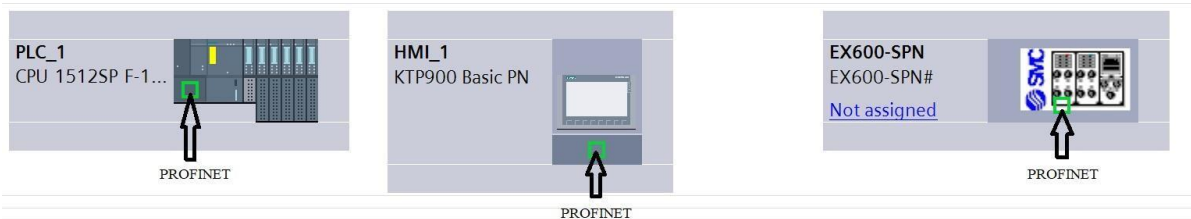


Figura 3.8 - Pontos de ligação dos dispositivos.

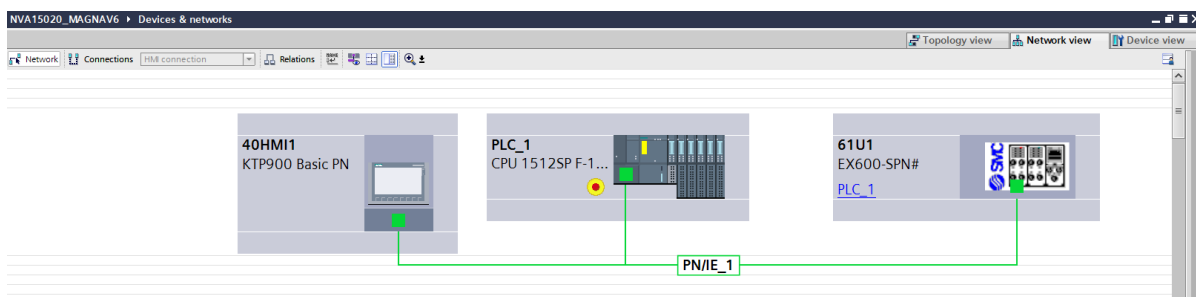


Figura 3.9 - Ligação PROFINET entre dispositivos.

Em “*Topology View*” encontram-se as ligações da forma mais detalhada possível, isto é, as ligações físicas de cada porta de comunicação dos PLCs e outros dispositivos. Em “*Network View*” tem-se um panorama dos diferentes tipos de redes estabelecidas e como cada PLC participa dessas redes. Em “*Device View*” é possível observar cada dispositivo de forma detalhada: seus cartões de entrada e saída, cartões de comunicação, fontes de alimentação, etc.

3.1.1.5. Configuração do PLC

Ao PLC foram adicionados módulos de entrada e saída como se pode observar na Figura 3.10, com o objetivo de aumentar o número de entradas e saídas. Estes módulos são obtidos através do “*Hardware catalog*”, podendo adicionar módulos de entrada, de saída digitais ou analógicos.

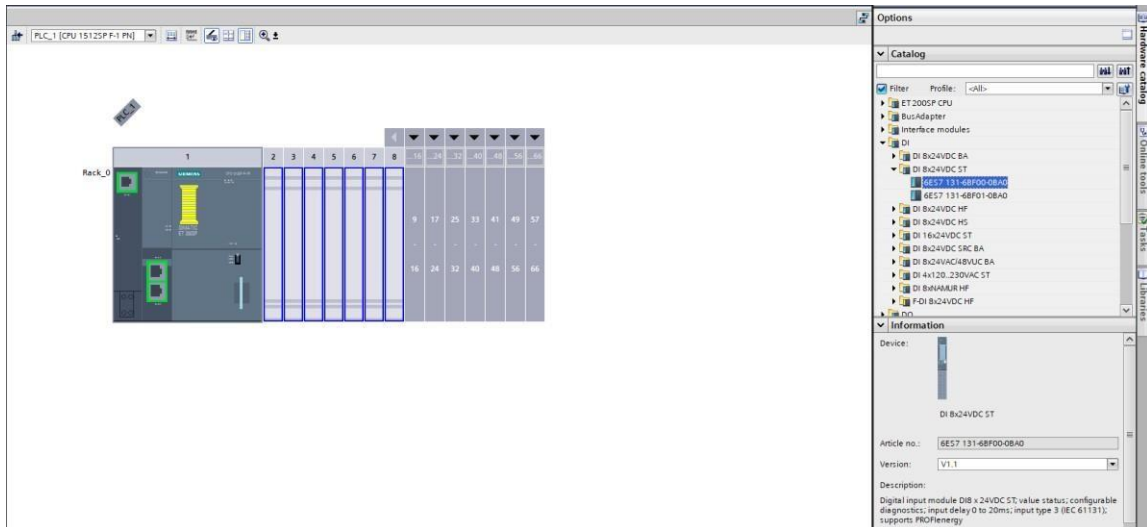


Figura 3.10 - Adicionando módulos de entrada e saída.

Com os módulos adicionados o PLC fica com o aspeto ilustrado na Figura 3.11.

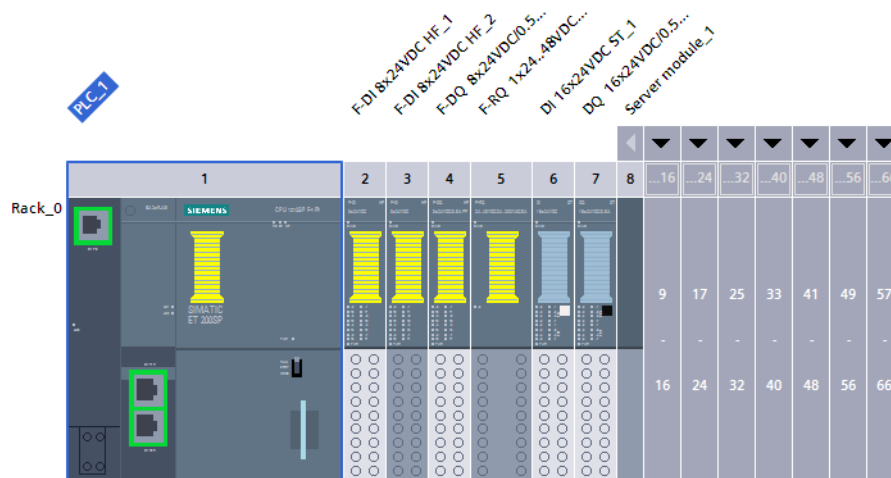


Figura 3.11 - Hardware do PLC.

Com a adição do PLC, no ecrã de visualização do projeto é possível adicionar Tags ao PLC ou efetuar a sua programação no “*Program Block*”. Este passo é possível com duplo clique no PLC. Este passo pode ser observado na Figura 3.12.

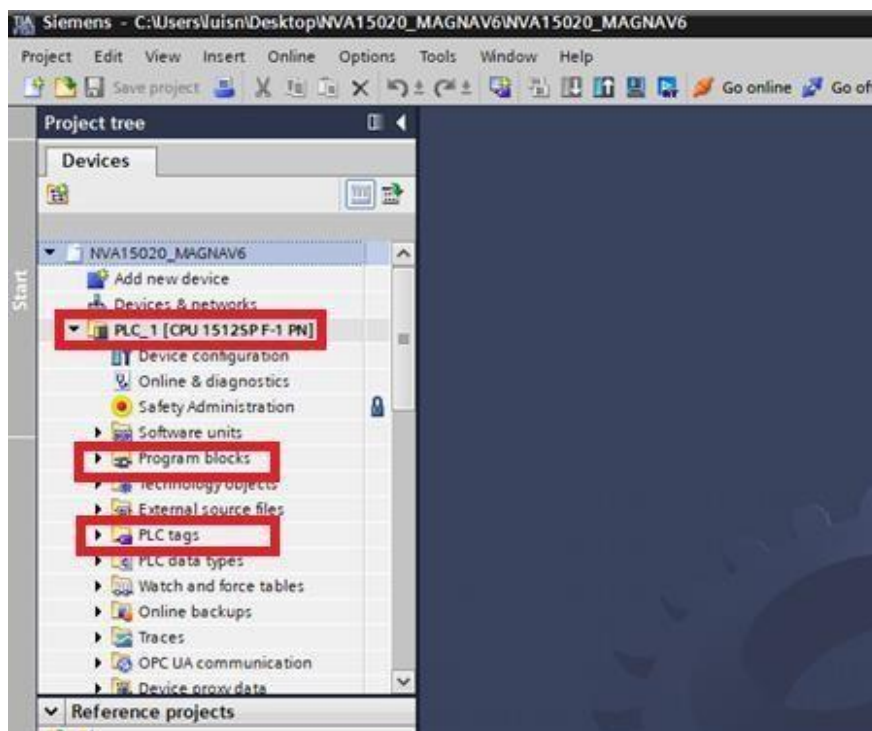


Figura 3.12 - Ecrã depois de adicionar PLC.

3.1.1.6. Criar tabela de variáveis

Na área de visualização do projeto seleciona-se o *PLC tags* e cria-se uma nova tabela de variáveis, selecionando neste caso “*Add new tag table*”. Este passo permite criar a tabela de variáveis para utilizar no PLC. Este passo está representado Figura 3.13 - Criar *tag table* no TIA Portal.

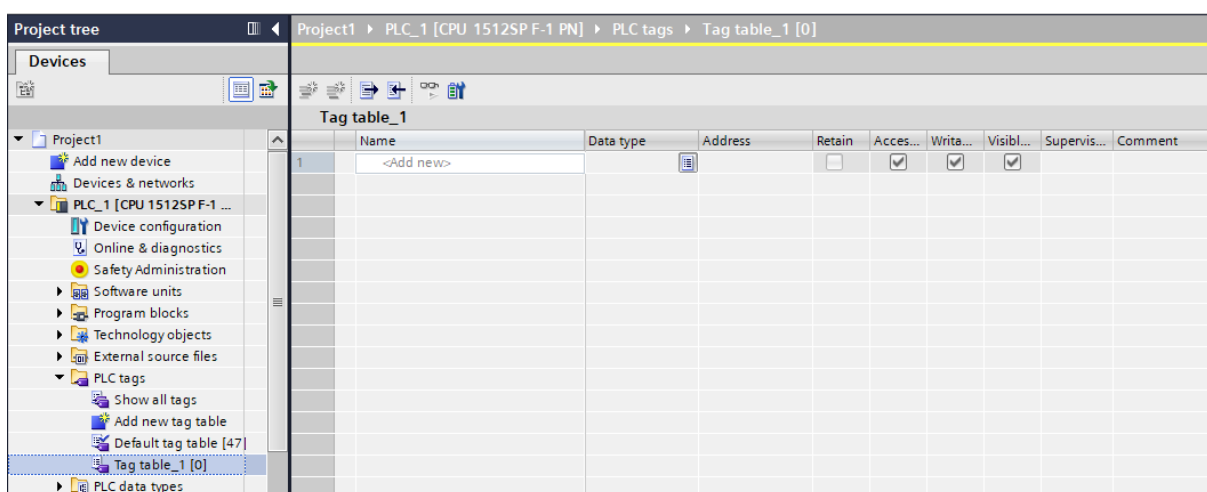


Figura 3.13 - Criar *tag table* no TIA Portal.

Adicionando o nome de uma *tag*, o TIA Portal assume automaticamente como sendo um dado do tipo “*Bool*” e o endereço %I0.0, ou seja, como sendo uma entrada. No entanto, todos esses dados podem ser alterados de acordo com o pretendido, sendo ainda possível a adição de

comentários tornando mais perceptível para terceiros perceberem o programa. Este passo está representado na Figura 3.14.

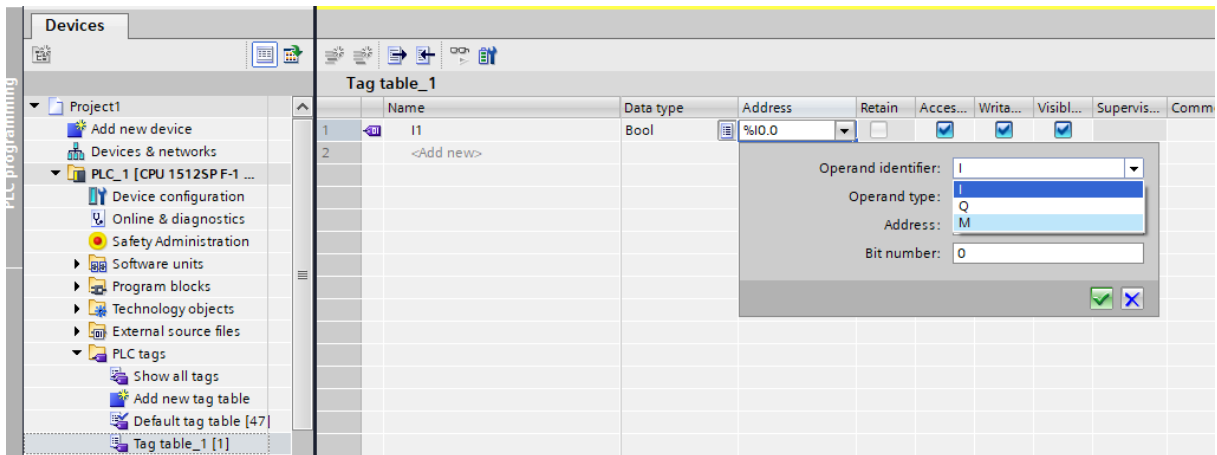


Figura 3.14 - Adicionar tags a tabela.

Existe a possibilidade de inserir uma tabela de símbolos existentes. Para isso clique com o botão direito do mouse sobre um espaço vazio aplicada. No menu de contexto, selecione "Import file" (Arquivo de importação). Selecione a tabela de símbolo desejada (por exemplo, no formato .Xlsx) e confirme a seleção com "Open" (Abrir).

Na Figura 3.15 está estão representadas as "Tag tables" criados para o projeto e as tags criadas para as etapas do projeto.

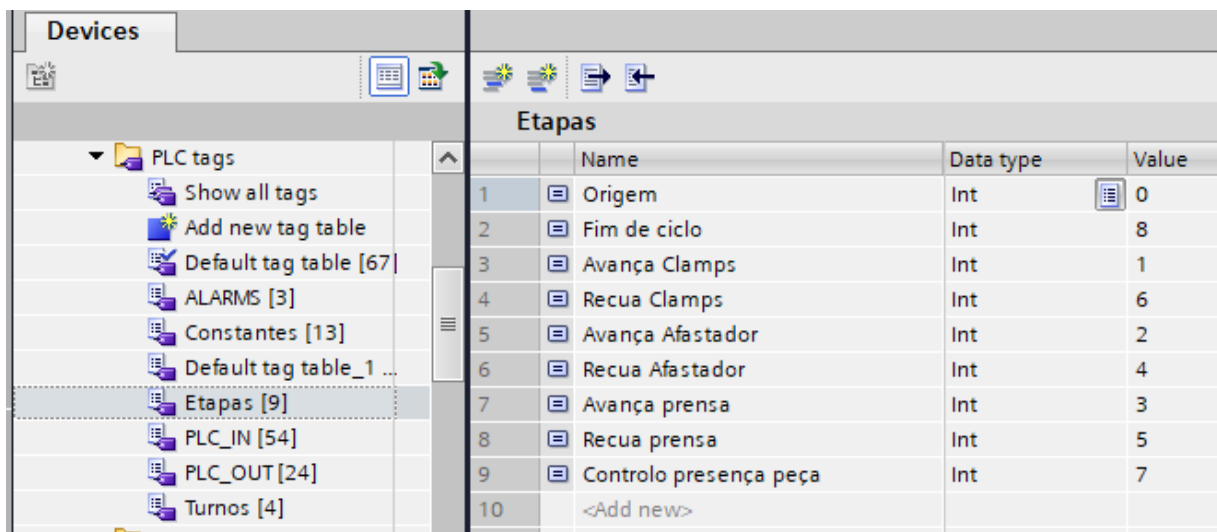


Figura 3.15 - Lista de tag tables do projeto.

3.1.1.7. Adicionar Blocos

Para desenvolver o programa do PLC recorre-se ao “*Program Block*” onde podem ser adicionados blocos de funções com de pode observar na Figura 3.16. Existem quatro tipos de blocos lógicos que podem ser adicionados, explicados brevemente a seguir:

Blocos de organização (OB)

Um OB responde a um evento específico na CPU e pode interromper a execução do programa. O bloco predeterminado para a execução cíclica do programa (OB 1) suporta a estrutura básica e é o único bloco lógico que se requer para o programa. No caso de haver outros OBs no programa, estes interrompem a execução da OB1. Os outros OBs executam funções específicas, como por exemplo, tarefas de inicialização, processamento de alarmes e manipulação de erros ou para a execução de um código de programa específico num determinado intervalo de tempo.

Blocos de Funções (FB)

Os blocos de funções são sub-rotinas que são executadas quando chamadas desde outro bloco de código (OB, FB ou FC). O bloco chamado passa parâmetros para o FB e também identifica um bloco de dados específico (DB) que armazena os dados para a chamada específica ou instância do respetivo FB. Alterando o DB de instância permite ao FB genérica controlar a operação de um conjunto de dispositivos. Por exemplo, um FB pode controlar várias bombas e válvulas, com diferentes instâncias de DBs que contém os parâmetros operacionais específicos para cada bomba ou válvula.

Funções (FC)

Entende-se por função (FC) uma sub-rotina que é executada quando chamada a partir de outro bloco de código (OB, FB ou FC). Este tipo de função não tem associado um DB de instância. O bloco que efetua a paragem passa parâmetros para o FC. Os dados temporários não são guardados e para que seja possível armazenar os dados permanentes há que atribuir o valor de saída em um endereço de memória global, como por exemplo a memória M ou um DB global. As funções (FC) simplificam a programação de tarefas recorrentes, uma vez que podem ser chamadas várias vezes em diferentes pontos de um programa.

Funções de dados (DB)

Os DB são utilizados no programa para armazenar dados dos blocos lógicos, ou seja, são utilizados para disponibilizar memória para as variáveis de dados. Existem dois tipos de blocos de dados que são:

DB globais – em que qualquer OB, FB ou FC pode acessar aos seus dados, podendo ler os dados armazenados ou gravar dados no DB.

DB de instância – que armazena dados de um FB específico.

De uma forma geral pode-se dizer que um DB é uma estrutura de dados.

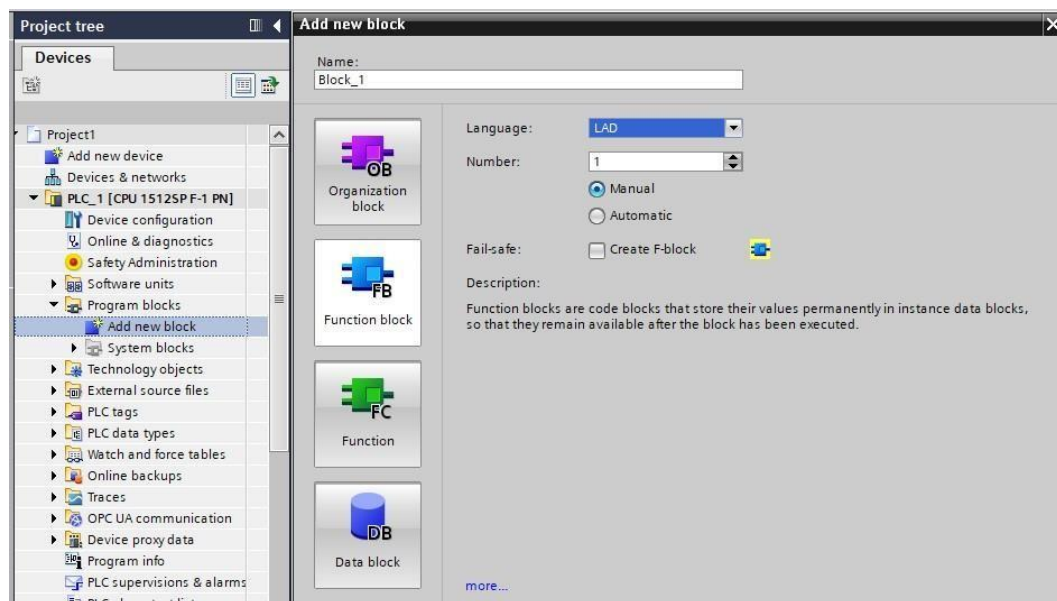


Figura 3.16 - Adicionar blocos ao programa.

Neste ponto o Tia Portal oferece a possibilidade de escolha entre 3 tipos de linguagem:

LAD (Ladder) – lógica *Ladder* baseada numa linguagem gráfica de símbolos. É a linguagem mais utilizada na programação de PLCs.

FBD (Diagrama de blocos funcionais) – definida por ser uma linguagem gráfica e muito utilizada na representação de sistemas industriais, apresentando um conjunto de símbolos e convenções.

SCL (Structured control Language) – linguagem de controlo estruturada de alto nível.

O Tia Portal fornece ainda a opção de atribuir a enumeração de forma automática ou ser controlada de forma manual.

Na Figura 3.17 é possível observar os blocos criados para o programa.

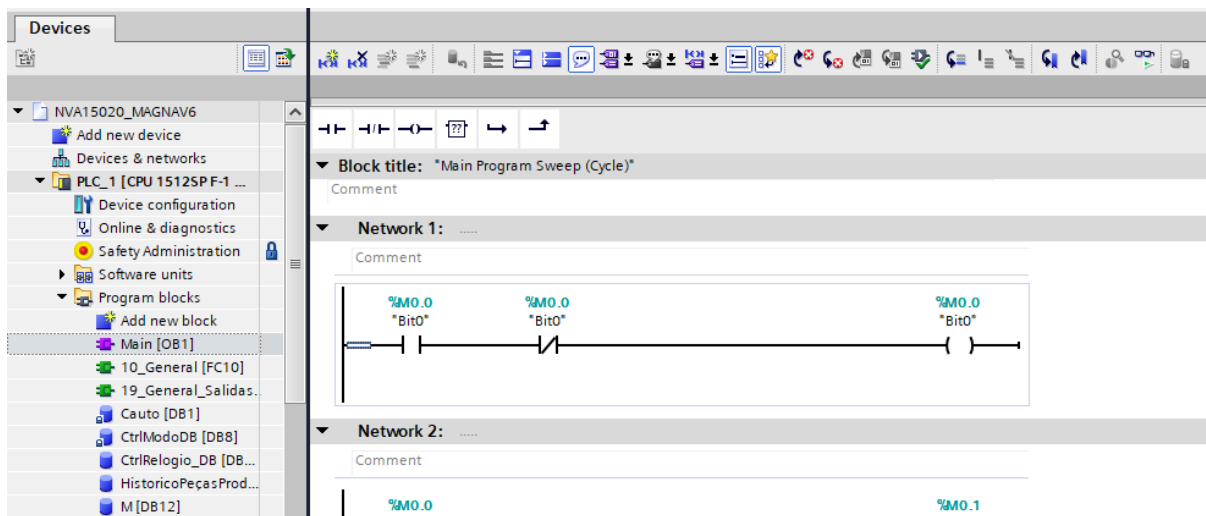


Figura 3.17 - Blocos criados para o programa.

Todos os programas desenvolvidos no Tia Portal possuem um bloco principal responsável por executar o programa de forma cíclica que neste caso é a “Main [OB1]”. Foi criada dois FC e alguns DB para armazenamento de dados.

Na Figura 3.18, temos o exemplo de uma network de uma FC onde é possível observar a chamada de um bloco FB. Na FC são passadas variáveis para o FB que contém funções dentro que fazem o tratamento dos dados passados pelas variáveis de entrada e são devolvidas saídas.

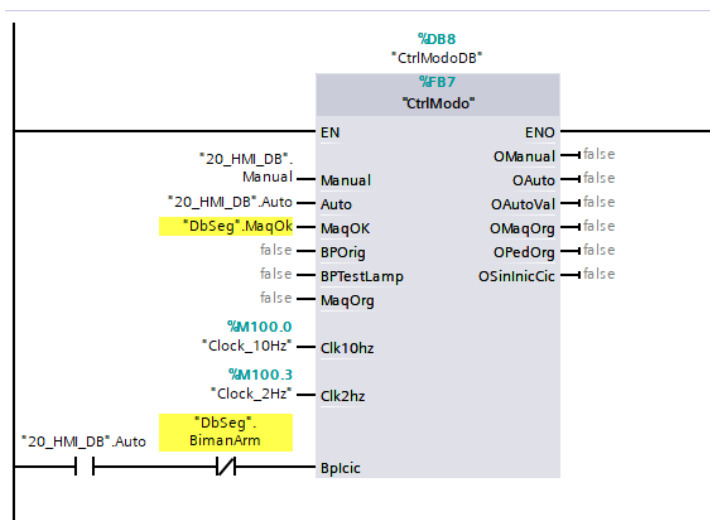


Figura 3.18 - FB chamado dentro de um FC.

Podem ser utilizados diversos tipos de sinais para habilitar o bloco, podendo por exemplo utilizar um evento ou um acionamento de um botão, para chamar o bloco. Mas, de uma forma geral são utilizados *clocks* de memória para esta tarefa, reservando um espaço na memória para isso. Neste exemplo, escolheu-se um *byte* e seus 8 *bits* para que correspondam a diferentes frequências de *clock*, porém devem ser habilitadas. A habilitação do *clock* é feita através das configurações do PLC, recorrendo ao *System and clock memory*, a opção *Enable the use of memory byte*. A configuração pode ser observada na Figura 3.19.

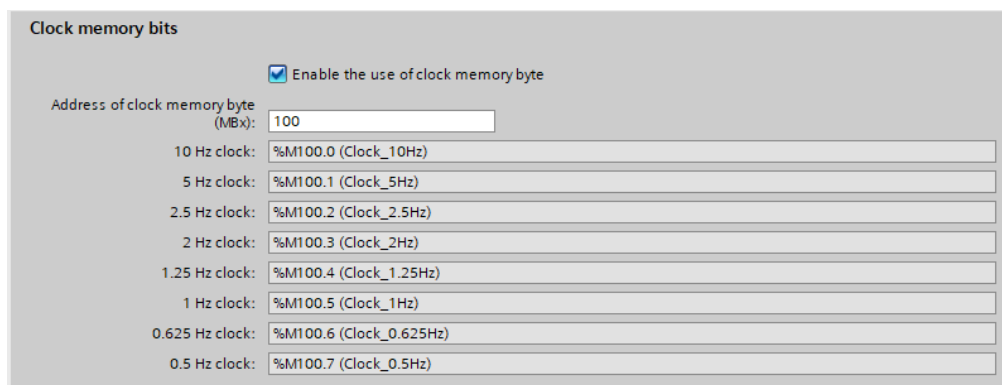


Figura 3.19 - Configuração da memória do clock.

A este FB está associado uma DB responsável por armazenar os dados da FB, que no caso é o “CtrlModoDB”, que está representado na Figura 3.20.

CtrlModoDB										
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervis...	Comment
1	Input									
2	Manual	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3	Auto	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
4	MaqOK	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
5	BPOrig	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
6	BPTestLamp	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
7	MaqOrg	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
8	Clk10hz	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
9	Clk2hz	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
10	Bplcic	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
11	Output									
12	inOut									
13	Static									

Figura 3.20 - DB de uma FB específica.

Dependendo do tipo de dados que pretende guardar assim será a escolha no “Data type”. No exemplo utilizou-se variáveis do tipo *booleana*, porque o objetivo foi a obtenção de um valor de um sinal de entrada digital.

3.1.1.8. Adicionar um dispositivo HMI ao projeto

Uma das grandes vantagens do TIA Portal é a possibilidade de utilizar dispositivos HMI que possibilitam visualizar o processo. Para adicionar dispositivos HMI ao projeto segue-se os mesmos passos para adicionar um PLC, escolhendo o “Devices & Networks” e “Add new device”. Posteriormente, aparecerão no ecrã todas as opções de dispositivos HMI, escolhe-se um dispositivo específico da lista e finalmente escolhe-se a opção “Add”. Só que neste caso escolhe-se o HMI em vez de PLC como mostra a Figura 3.21.

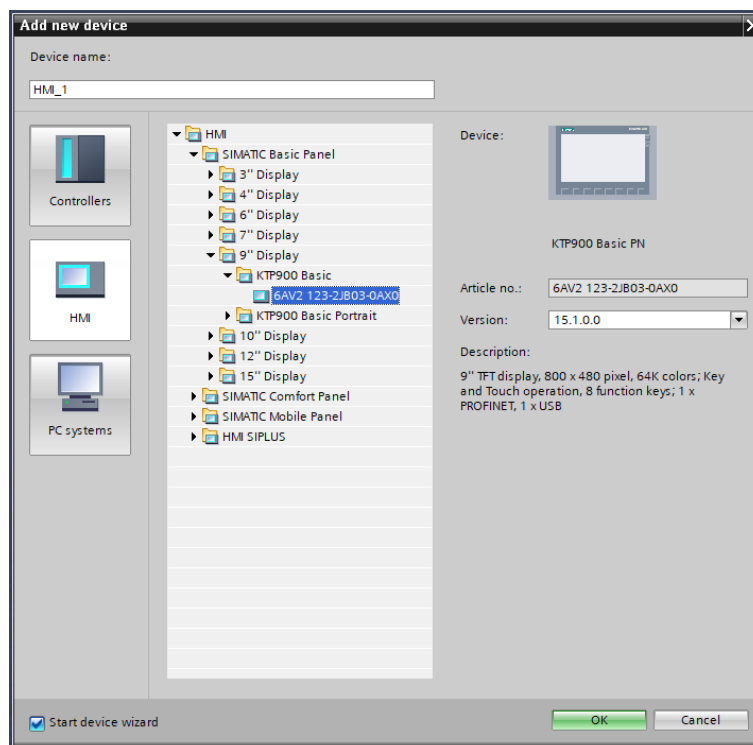


Figura 3.21 - Adicionar HMI ao projeto.

Ao clicar em “OK” abre-se uma nova janela representada na Figura 3.22, onde podem ser estabelecer as ligações com o PLC pretendido, fazer o layout dos ecrãs, adicionar alarmes ou adicionar um ecrã como página inicial.

Neste caso foi adicionado um *HMI SIMATIC Basic Panel* de 9 polegadas com possibilidade de ligação PROFINET e USB.

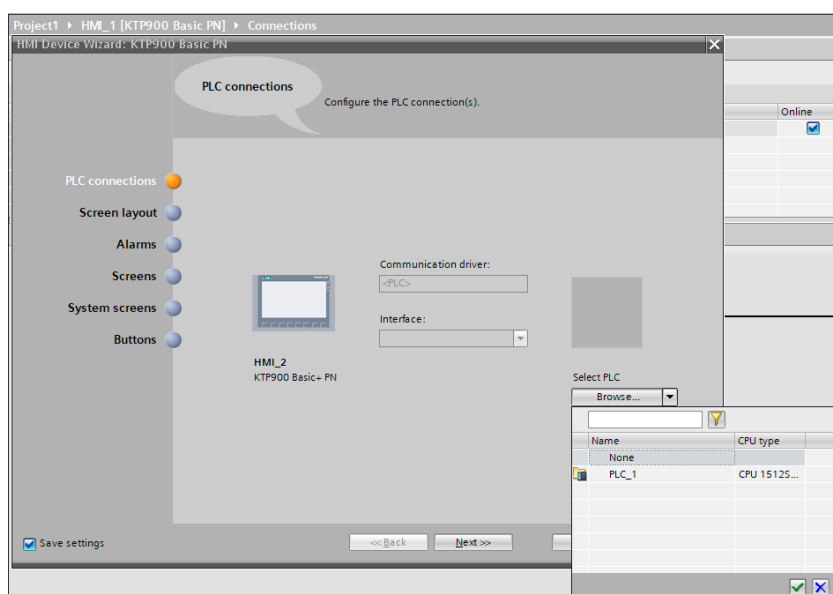


Figura 3.22 - Configuração do HMI

Neste ponto existe a possibilidade de seleccionar o PLC a que se pretende ligar, sendo que o próprio programa cria um link para os PLCs existentes no projeto. Ao seleccionar o PLC cria-se

ligação entre o HMI e o PLC SIMATIC S7 1500 através de ligação através da PROFINET. Na imagem da Figura 3.23 está representada a ligação PROFINET entre o PLC e o HMI.

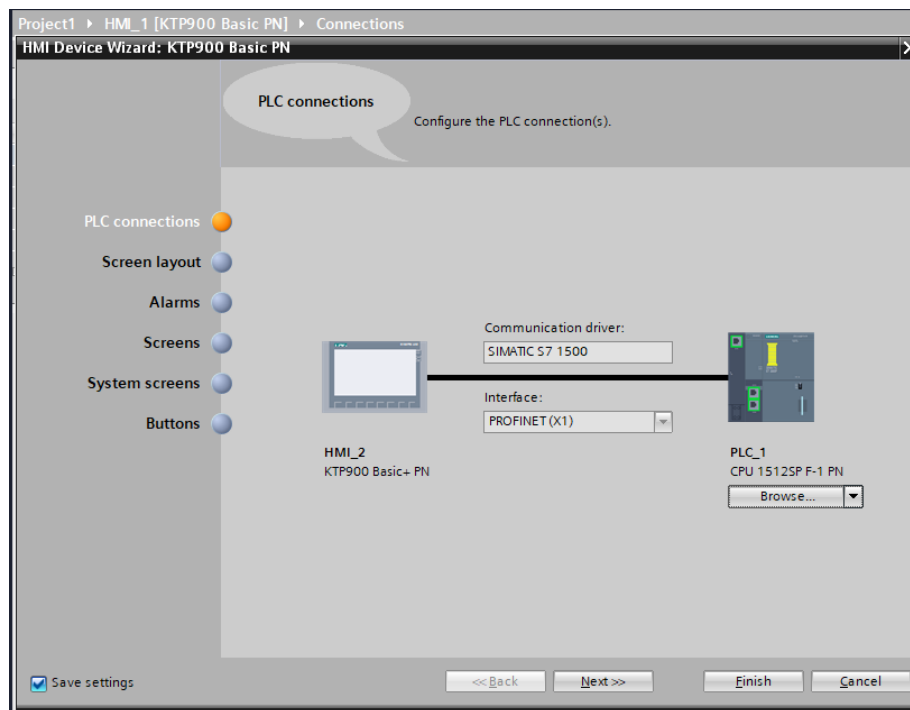


Figura 3.23 - Ligação entre o HMI e o PLC.

Em termos físicos a que programar o IP do HMI e do PLC para que possa haver comunicação entre os dois. Depois de terminado este processo é possível visualizar o ecrã representado na Figura 3.24

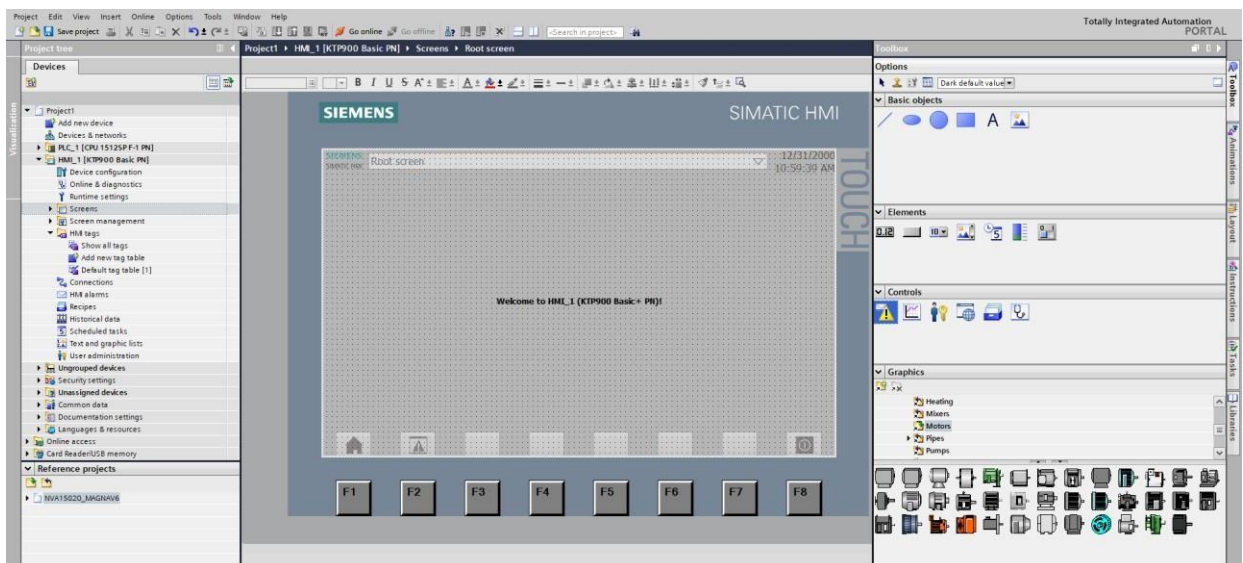


Figura 3.24 - HMI adicionado ao projeto.

Com o HMI adicionado, e clicando sobre o nome do HMI existe um conjunto de ações que podem ser efetuadas, desde adicionar ecrãs, adicionar tags para serem usadas no HMI ou então efetuar ligação com um PLC que esteja no projeto, como se pode verificar na Figura 3.25.

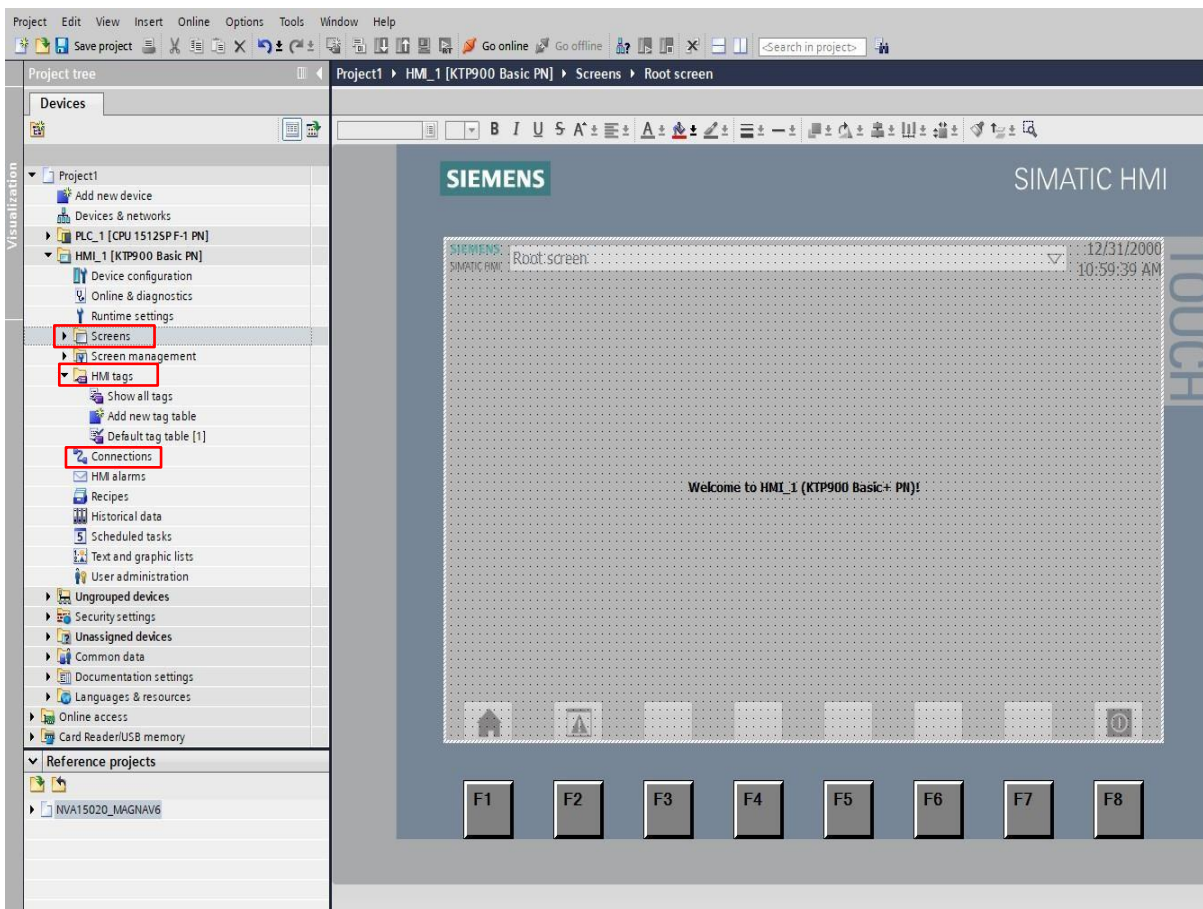


Figura 3.25 - HMI adicionado ao projeto.

Após a finalização deste processo constrói-se o HMI de acordo com as funções pretendidas para este. Através do *Toolbox* (Figura 3.26) adiciona-se ecrãs, botões, gráficos, entre outros objetos possíveis.

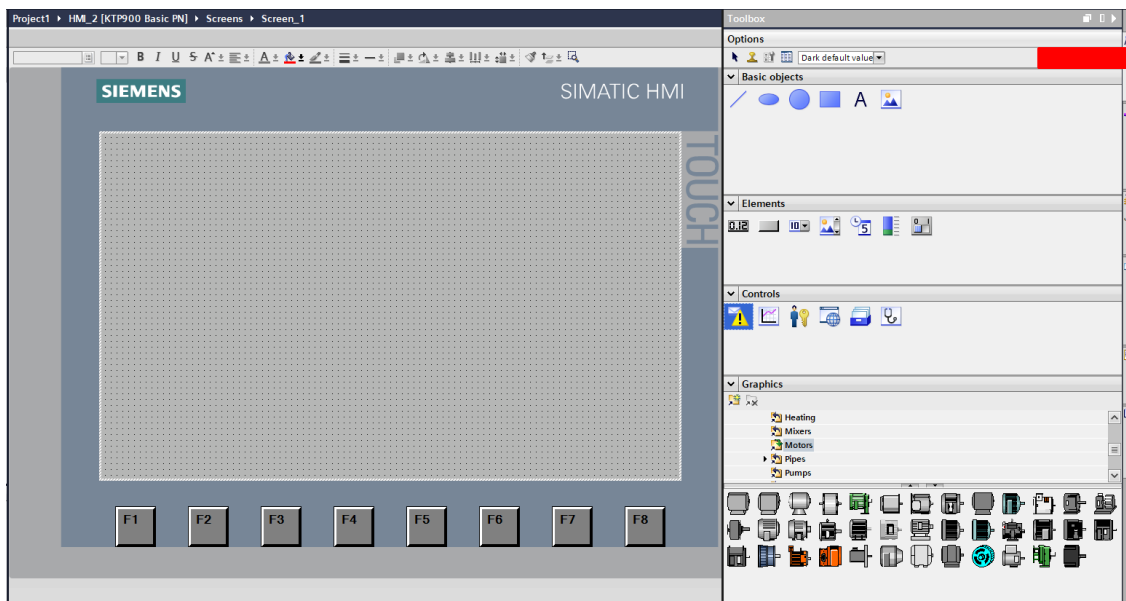


Figura 3.26 - Adicionar objetos ao HMI.

Os botões ou campos para receber valores criados no HMI são conectadas as respetivas *tags* no PLC, seguindo o exemplo da Figura 3.27. Cria-se por exemplo um botão e recorrendo as propriedades do botão escolhe-se um evento, que no caso foi *SetBit* e pata *tag* (Saída/Entrada) escolhe-se a *tag* do PLC a que se quer ligar.

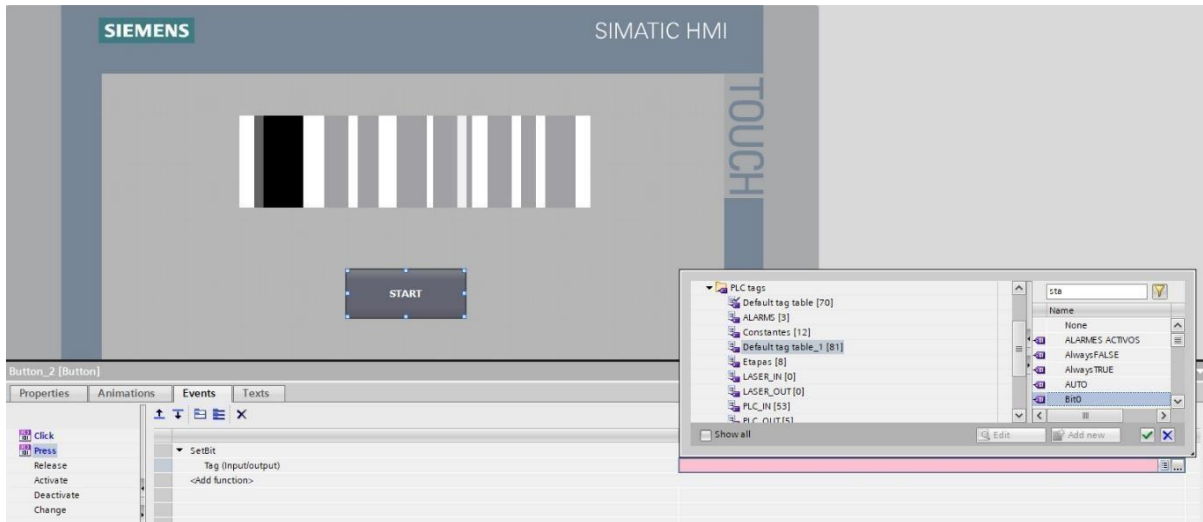


Figura 3.27 – Fazer a ligação entre as *tags* do HMI as do PLC.

Com o programa e o HMI pronto e todas as ligações estabelecidas o passo final é descarregar o programa para o PLC para ver o programa funcionando na prática e efetuar correções caso seja necessário.

Na Figura 3.28 estão representados exemplos de ecrãs criadas para o processo, onde estão presentes o menu geral, a produção e um ecrã de alarmes.

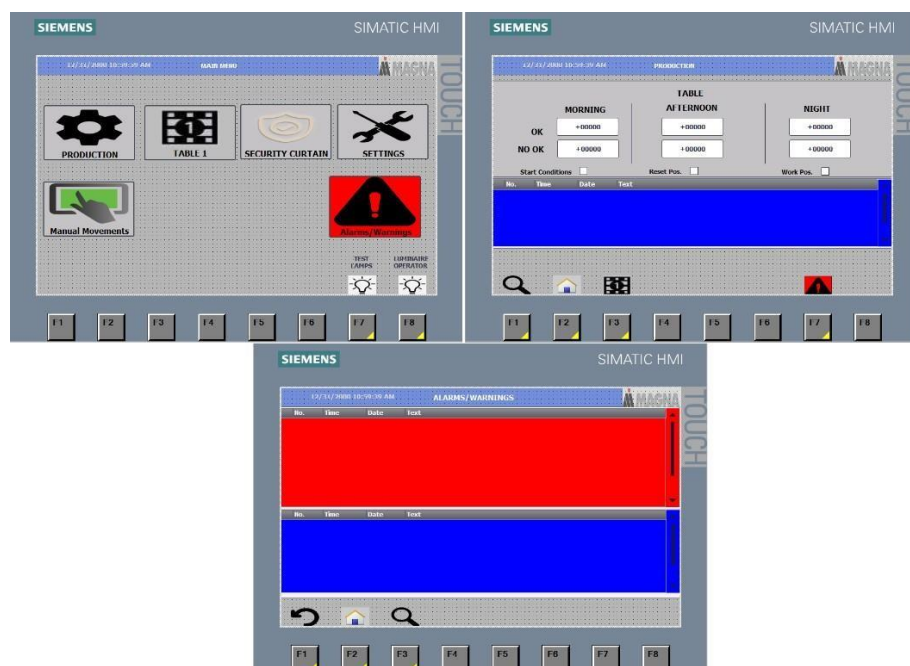


Figura 3.28 - Ecrãs de HMI desenvolvidas no TIA Portal

3.2. Fase 2 – Desenvolvimento de projetos

Nesta fase procedeu-se ao desenvolver projetos de forma autônoma e colocar em prática todo o conhecimento adquirido durante as fases anterior.

3.2.1. Projeto do serrote semiautomático de duas colunas

Neste projeto o objetivo passou pelo desenvolvimento da programação de um serrote semiautomático e pretende-se fazer a ligação entre as funções desempenhadas pelo serrote e o HMI, e conseqüente o desenvolvimento de ecrãs para o HMI. Na Figura 3.29 está representada o serrote bem como as suas dimensões na Figura 3.30.



Figura 3.29 - Serrote semiautomático duas colunas S2C 650 DG.

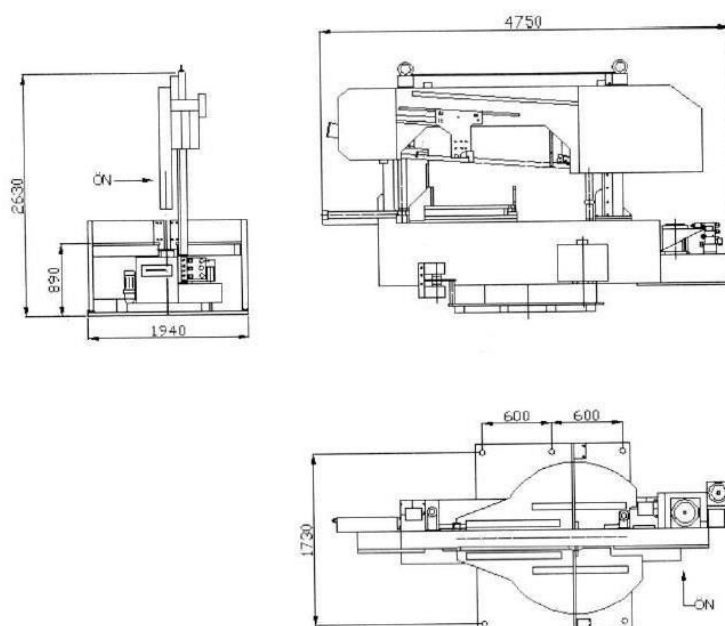


Figura 3.30 - Dimensões do serrote semiautomático.

O serrote automático foi desenvolvido para ser principalmente utilizada por indústrias de aço estrutural leve e médio. Foi criada para o corte de material ferroso e não ferroso e outros materiais sólidos, formatos furados e transversais.

3.2.1.1. Sistema elétrico do serrote semiautomático

O painel de controlo do sistema está montado no painel elétrico que está ligado à fonte de energia. As ligações estão feitas a partir dos terminais 13 (L1), 14(L2) e 15(L3). O relé de controlo das fases MKC-04 no painel controla o principal de energia, protegendo a máquina e não permite que trabalhe se uma das fases não estiver correta ou se a tensão não for adequada.

Os motores trifásicos facilitam a troca dos polos nos cabos de ligação no caso de trocas da direção da rotação.

Todos os circuitos do serrote semiautomático podem ser consultados no ANEXO A.

3.2.1.2. Sensores do serrote semiautomático

Descrição dos sensores presentes no serrote semiautomático a utilizar para cumprir o especificado no caderno de encargos:

- **Interruptor limite superior:** Depois do corte, o arco sobe até ao ajuste do ponto do interruptor limite superior. Este interruptor é ajustado na direção vertical.
- **Interruptor limite inferior:** Este interruptor limite para o motor principal e inicia o movimento de subida do arco.
NOTA: o local deste ajuste é efetuado pelo fabricante, não alterar se não for absolutamente necessário.
- **Interruptor de controlo:** Interruptor traseiro do arco para voltar ao último ponto quando já acabou o material. Controla a descida do arco para cortar até ao último ponto.
- **Interruptor de pressão de quebra da fita:** Este interruptor para o motor principal quando a fita de serra parte e protege o operador e a máquina de danos que poderiam ser provocados pela quebra da fita.
- **Interruptores de proteção portas:** Este interruptor para a máquina se houver alguma porta aberta.
- **Interruptor de localização da pressão superior:** Este interruptor verifica a localização da pressão superior. Se não estiver no ponto mais alto, a máquina não se coloca no ângulo selecionado.
- **Sensor referência (interruptor de proximidade):** É este sensor que faz a máquina encontrar o ponto de referência (ponto zero).

- **Interruptores de limite de rotação:** Estes interruptores de limite param a rotação da máquina quando chega aos pontos limite.
- **Sensor erro na rotação da fita (interruptor de proximidade):** Este interruptor para a operação de corte quando a fita de serra fica presa no material ou sai das polias.
- **Fotocélulas:** Este interruptor inicia o motor principal quando a fita de serra se aproxima do material, cerca de 30mm depois do arco começar a descer quando o botão de arranque está pressionado. No modo manual, este interruptor para o motor antes do arco bater contra o material quando o arco está a descer.

3.2.1.3. Ajuste da pressão de corte

A pressão de corte deve ser ajustada de acordo com o tipo e características do material. A fita pode ficar gasta devido ao tempo e pressão de corte. Quando a fita de serra ficar completamente gasta de ser substituída.

3.2.1.4. Velocidades de corte

A máquina tem duas velocidades de corte pré-definidas de 35 e 70 m/s. As velocidades de corte devem ser selecionadas de acordo com o grau e dimensões do material. Se ocorrer alguma vibração / ruído a partir da fita de serra, trocar a velocidade. A tabela com as recomendações de corte estão no ANEXO C.

3.2.1.5. Configuração do variador de velocidade

O serrote estava equipado com um inversor de frequência GD20, representado na Figura 3.31, responsável pelo controlo do motor da fita de corte.



Figura 3.31 – Inversor de frequência GD20⁶.

Os parâmetros do variador estão configurados por defeito. Dependendo do motor a ser controlado e das respetivas funções a serem desempenhadas alguns dos parâmetros devem ser alterados. Existe uma variedade de parâmetros que podem ser configurados, no entanto para este projeto em questão foi feito apenas o controlo da velocidade.

Na Tabela 3.1, estão apresentados os parâmetros configurados para este caso, sendo o grupo P00 para as funções básicas e o grupo P02 os parâmetros do motor. No caso do motor os parâmetros mudam de acordo com as características do próprio motor.

Tabela 3.1- Configuração do variador de frequência.

Grupo		Parâmetro	Descrição
P00	P00.00	2	Control Space vector pulse width modulation (SVPWM). Controlo em malha aberta
	P00.01	0	Executar o comando do teclado
	P00.03	50 Hz	Valor máximo de frequência
	P00.04	50Hz	Limite máximo de frequência
	P00.06	0 Hz	Limite mínimo de frequência
	P00.10	50 Hz	Valor inicial da frequência
	P00.11	11 s	Tempo de aceleração
	P00.12	11 s	Tempo de desaceleração
	P00.13	0	Direção padrão, inicia na direção para frente
P02	P02.01	2.2	Potência do motor
	P02.03	1450 Hz	Velocidade nominal do motor
	P02.04	400 V	Tensão nominal do motor
	P02.05	4 A	Corrente nominal do motor

⁶ Manual do inversor pode ser consultado em: <http://www.espacemoteurs.com/catalogue/V-MANUEL-GD20.pdf>

A velocidade do motor é controlada por um potenciômetro externo localizado na zona de controlo em vez do potenciômetro localizado no próprio inversor.

3.2.1.6. Dispositivos utilizados

Para este projeto o hardware e o software a ser utilizado encontrava-se instalado e limitou-se a trabalhar com o sistema existente.

CPU S7-200

O CPU S7-200 conjuga um microprocessador, uma fonte de alimentação integrada, circuitos de entrada e circuitos de saída em uma caixa compacta. Apesar de haver modelos de PLCs mais recentes, o S7-200 oferece um excelente comportamento em tempo real, eficiência e confiabilidade aos processos. Estão disponíveis uma vasta gama de módulos de expansão para diversas funções, possibilitando a sua expansão conforme as necessidades.

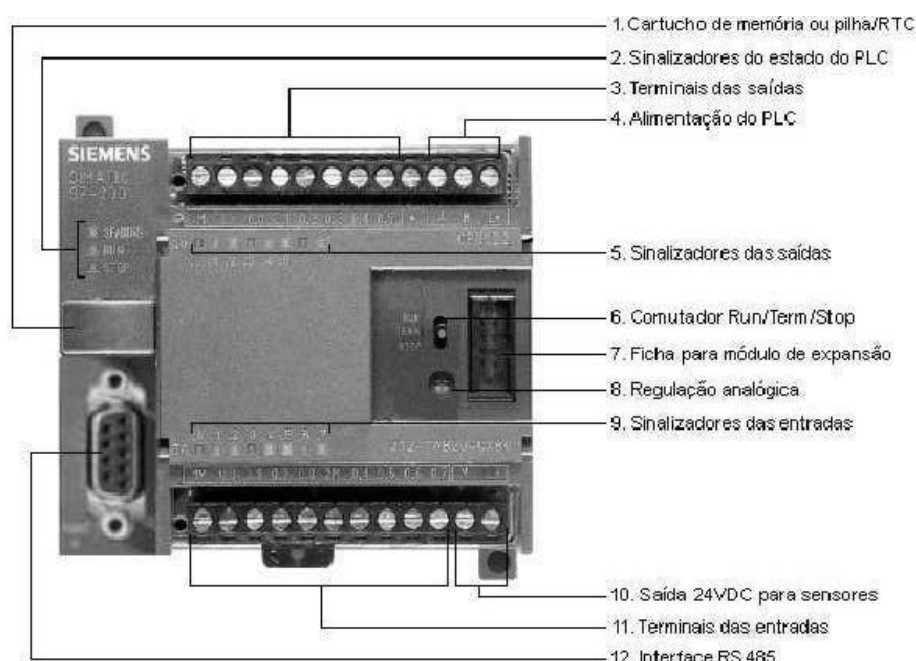


Figura 3.32 - CPU S7-200⁷.

A Siemens fornece diferentes modelos de CPU S7-200 com uma diversidade de recursos e capacidades que o ajudam a criar soluções eficazes para suas diversas aplicações.

Para este projeto foi utilizado o PLC S7-224, cujas características podem ser consultadas no ANEXO B, e 3 módulos EM223, EM222 e EM235 como mostra os esquemas do ANEXO A.

⁷ Imagem obtida de: <https://pt.scribd.com/document/57288765/Siemens-S7-200>

HMI SIMATIC OP 170B

Para o controlo do processo foi utilizado o HMI SIMATIC OP 170B com as vistas representadas nas imagens Figura 3.33, Figura 3.34 e Figura 3.35.

Este HMI é feito sob medida para aplicações com SIMATIC S7-200 Micro PLC e fornecem funções de operação e monitorização para máquinas e plantas de pequena escala. Tempos de configuração e comissionamento curtos e sua configuração em *WinCC flexível* são os destaques desses painéis. Além disso, esses painéis suportam até 32 idiomas de configuração e cinco idiomas online, incluindo os conjuntos de caracteres asiáticos e cirílicos.

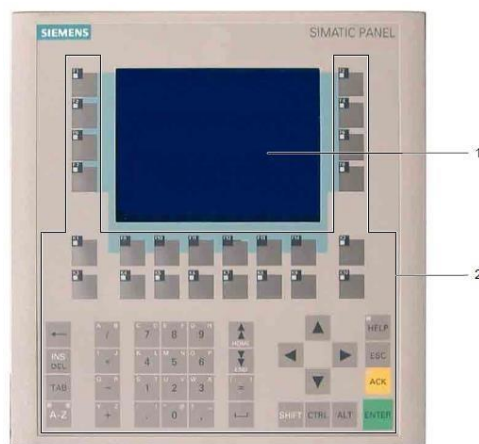


Figura 3.33 - Vista frontal do HMI SIMATIC OP 170B.

1 – Display.

2 – Teclado.

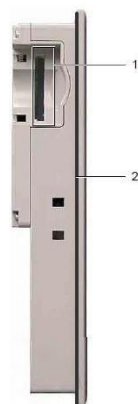


Figura 3.34 - Vista lateral do HMI SIMATIC OP 170B.

1 – Slot para cartão de memória para cartões *Compact Flash*.

2 – Selo de instalação.

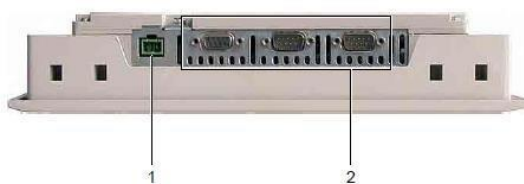


Figura 3.35 - Vista de baixo do HMI SIMATIC OP 170B.

1 – Ligação para a fonte de alimentação.

2 – Interfaces de dados.

Ligação do HMI SIMATIC OP 170B ao PLC

A ligação é efetuada através de um cabo RS 485 e o protocolo utilizado é o PROFIBUS DP.

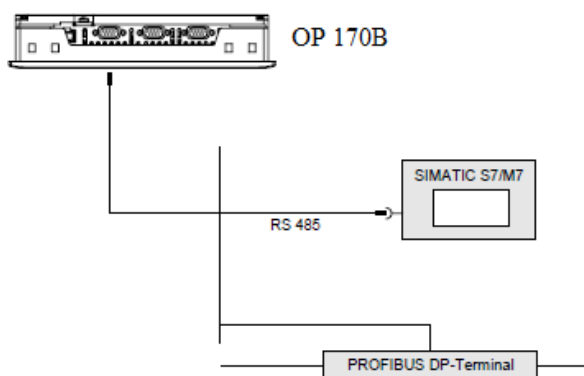


Figura 3.36 - Ligação do HMI SIMATIC OP 170B ao PLC.

A interface RS 485 pode ser configurada alterando as configurações da chave na parte de baixo do HMI. Por defeito, as chaves já estão configuradas para o PLC SIMATIC S7.



Figura 3.37 - Posição da chave para o OP 170B.

1 – Tampa do painel traseiro

2 – Ilustração das posições do interruptor

3 – *Switch*

Ligação entre o HMI SIMATIC OP 170B e o PC

A Figura 3.38 mostra a ligação entre o dispositivo HMI e o computador para a transferência de imagem, projetos e outros dados de projeto.

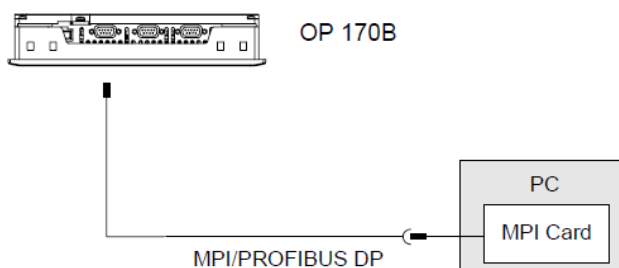


Figura 3.38 - Ligação do HMI SIMATIC OP 170B ao PC.

A Siemens oferece duas opções de programação para conectar o PC ao S7-200: uma conexão direta com um cabo PPI *Multi-Master* ou uma placa de processador de comunicações (CP) com um cabo MPI. Neste caso foi utilizado um Adaptador MPI/PPI igual ao que está representada na Figura 3.39.



Figura 3.39 - Cabo De Programação 6ES7972-0CB20-0XA0 para S7-200/300/400 Adaptador Profibus/Mpi/ppi⁸.

O cabo de programação PPI *Multi-Master* é o método mais comum e econômico de conectar o PC ao S7-200. Este cabo conecta a porta de comunicação do S7-200 às comunicações série do PC. O cabo de programação PPI *Multi-Master* também pode ser usado para conectar outros dispositivos de comunicação ao S7-200.

3.2.1.7. Software utilizado

STEP 7 – Micro/WIN

O STEP 7 – Micro/WIN oferece um ambiente “*user friendly*” para desenvolver, editar e monitorizar a lógica necessária para controlar as aplicações desenvolvidas. O STEP 7 – MicroWin fornece três editores de programa para eficiência no desenvolvimento do programa de controle para sua aplicação. Na Figura 3.40 está representada o software STEP 7 – Micro/WIN.

⁸ Imagem obtida de: <https://www.ebay.com/itm/174768439716?hash=item28b102c1a4:g:xMwAAOSwRdxg99ep>

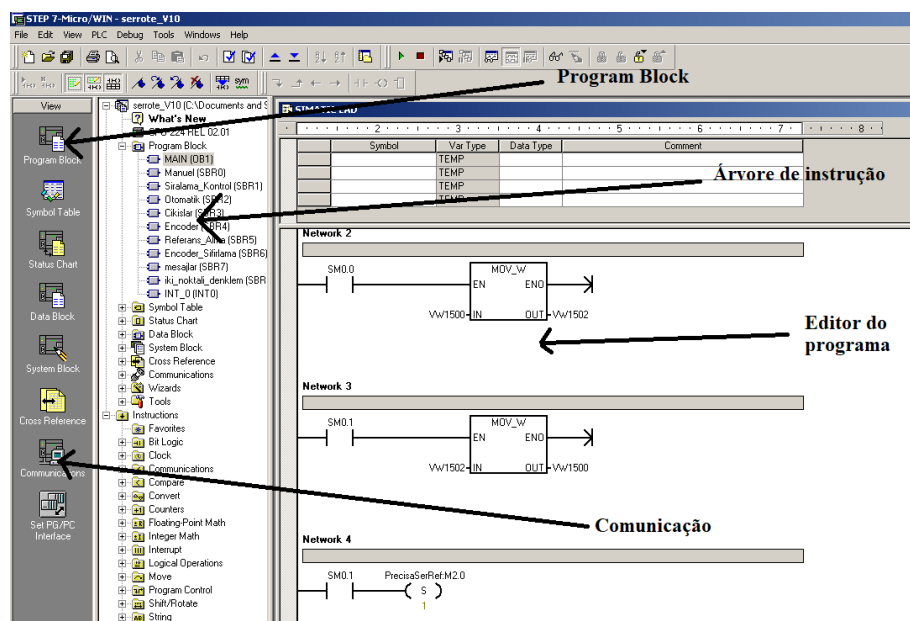


Figura 3.40 - STEP 7 - Micro/WIN.

Verificar os parâmetros de comunicação do STEP7 – Micro/WIN

Este projeto utilizou o adaptador PPI/MPI. Para verificar as configurações, definiu-se o endereço do cabo PC/PPI no ícone “Communications” para “2”, depois verificou-se se a interface do parâmetro de rede estava configurada para cabo PC/PPI (COM1) e por fim verificou-se se a taxa de transmissão estava definida para 9600 bps. Este processo pode ser visualizado na Figura 3.41 onde está representada a interface de comunicação do STEP 7 – Micro/WIN.

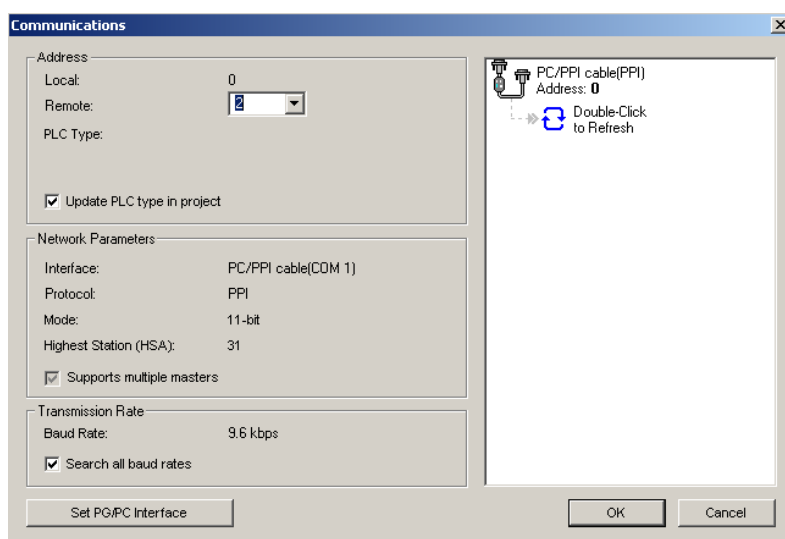


Figura 3.41 - Interface de comunicação do STEP 7 – Micro/WIN.

O S7-200 é compatível com rede mestre-escravo e pode funcionar como mestre ou escravo em uma rede PROFIBUS, enquanto o STEP 7 - Micro / WIN é sempre mestre. Para esta rede o S7-

200 funciona como escravo. Como um dispositivo escravo, o S7-200 responde às solicitações de um dispositivo mestre de rede, como neste caso em que será o HMI ou STEP 7 - Micro / WIN.

3.2.1.8. Desenvolvimento do fluxograma do processo de corte

Como explicado anteriormente o objetivo deste projeto é o desenvolvimento da programação do serrote semiautomático por forma a ser controlado pelo HMI SIMATIC OP 170B para a execução do corte de metais para qualquer ângulo predeterminado.

Na Figura 3.42 estão representados o sistema de controlo e o serrote semiautomático. No sistema de controlo está o PLC S7-200 e toda a ligação elétrica para o seu funcionamento e possui o HMI embutido na estrutura assim como um botão de emergência de fácil acesso. A figura mostra a estrutura geral de suporte para o corte de metal do serrote semiautomático.



- 1 – Portas
- 2 – Serra de corte
- 3 – Coluna principal
- 4 – Área de Corte
- 5 – HMI
- 6 – Botão de emergência
- 7 – Botão para regular velocidade de corte

Figura 3.42 – Estrutura do serrote semiautomático.

O processo é todo ele controlado pelo HMI. A velocidade de corte poderia ser controlada pelo inversor, no entanto optou-se por um controlo externo, que neste caso é o botão anexo a estrutura.

A Figura 3.43 mostra o sistema do serrote semiautomático de uma forma mais pormenorizada onde é possível observar uma vista de frente e outra de trás do serrote.

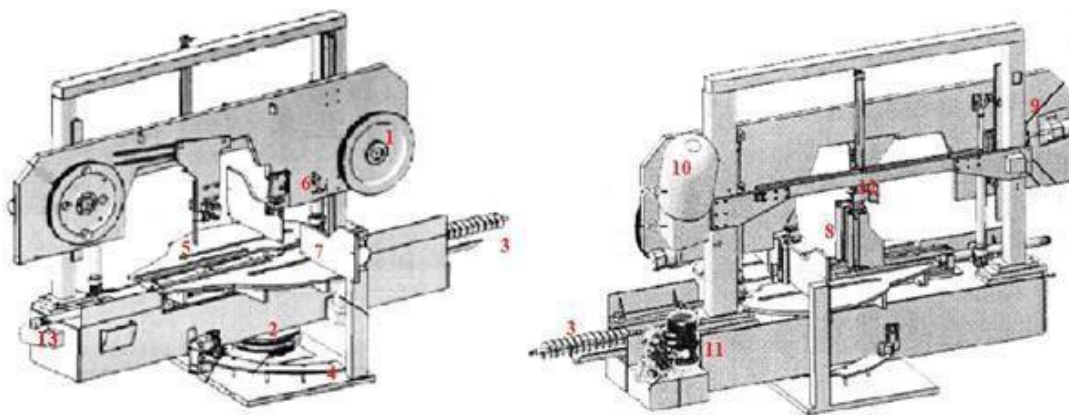


Figura 3.43 - Estrutura pormenorizado do serrote semiautomático.

- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 – Rodas para a serra | 8 – Torno |
| 2 – Coluna de rotação | 9 – Fim de curso vertical |
| 3 – Limpeza de limalhas | 10 – Motor da serra |
| 4 – Fim de curso para a rotação | 11 – Motor hidráulico |
| 5 – Suporte horizontal de corte | 12 – Cilindro vertical |
| 6 – Escova de limpeza da serra | 13 – Motor do extrator de limalhas |
| 7 – Suporte vertical de corte | |

Como mencionado anteriormente o objetivo é que o processo de corte seja efetuado pelo operador através dos comandos do HMI. O operador define o ângulo do corte, controla a velocidade de corte da serra e visualiza as mensagens de emergência no ecrã do HMI. No fluxograma da Figura 3.44 está presente o processo de corte a ser implementado pelo programa e a sequência de corte a seguir pelo operador.

De realçar que a peça não é colocada na zona de corte automaticamente, este é um processo feito de forma manual.

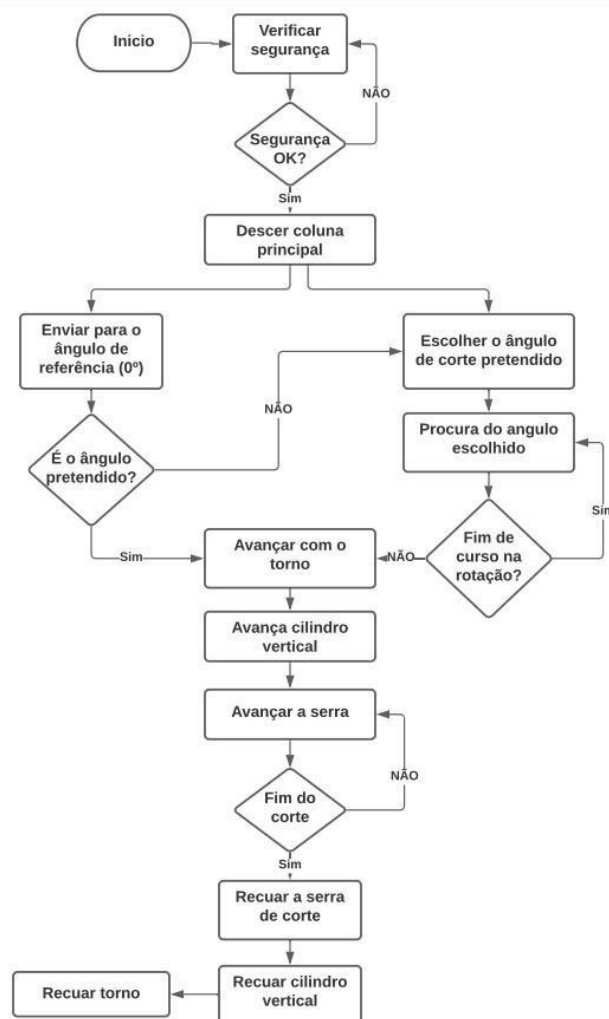


Figura 3.44 - Fluxograma do processo de corte.

Inicialmente, a coluna principal do serrote está na posição mais acima e desce quando se inicia o processo. A programação industrial começa sempre pela segurança da máquina e do operador. Para este caso em específico o programa teria de garantir que as portas de proteção não estariam abertas, que o botão de emergência não tivesse sido apertado ou que o relé de fases não estivesse acionado para que a máquina entrasse em funcionamento. O bloco de código para garantir a segurança pode ser observado na Figura 3.45.

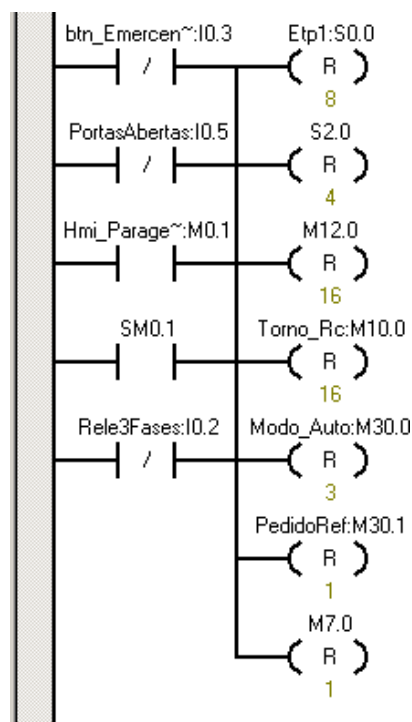


Figura 3.45 - Código para segurança da operação da máquina e do operador.

Com a segurança assegurada começa o processo de corte. O operador é quem controla a velocidade de corte e escolhe o ângulo de corte pretendido através do HMI. Existe a possibilidade de enviar o sistema de corte para a posição de referência por forma a verificar a calibração ou escolher diretamente o ângulo de corte. Estando o sistema de corte na posição de referência pode-se, posteriormente, escolher o ângulo de corte ou iniciar o corte caso o ângulo de corte for de 0°. O ângulo em que se encontra o sistema de corte aparecerá no ecrã do HMI.

Existe um sensor de fim de curso que assinala o fim da rotação tanto num sentido como noutro. Caso for detetado o fim da rotação o sistema de corte reposiciona-se de modo a continuar a procurar o ângulo. Quando o ângulo de corte pretendido é encontrado inicia-se o processo de corte.

O torno avança e prende o metal contra o suporte vertical de corte (ver Figura 3.43) e o cilindro vertical serve para prender o metal contra a mesa.

Com o metal preso inicia-se o corte, com a descida da serra e o corte do metal, quando a serra corta a totalidade do metal é acionado um sensor que indica o final de curso da serra e esta é recuada. Posteriormente recua-se o torno, o cilindro vertical e recolhe-se a peça cortada.

3.2.1.9. Desenvolvimento dos ecrãs para o HMI

Para o desenvolvimento dos ecrãs do HMI utilizou-se o *software WinCC flexible Advanced* (Figura 3.46).

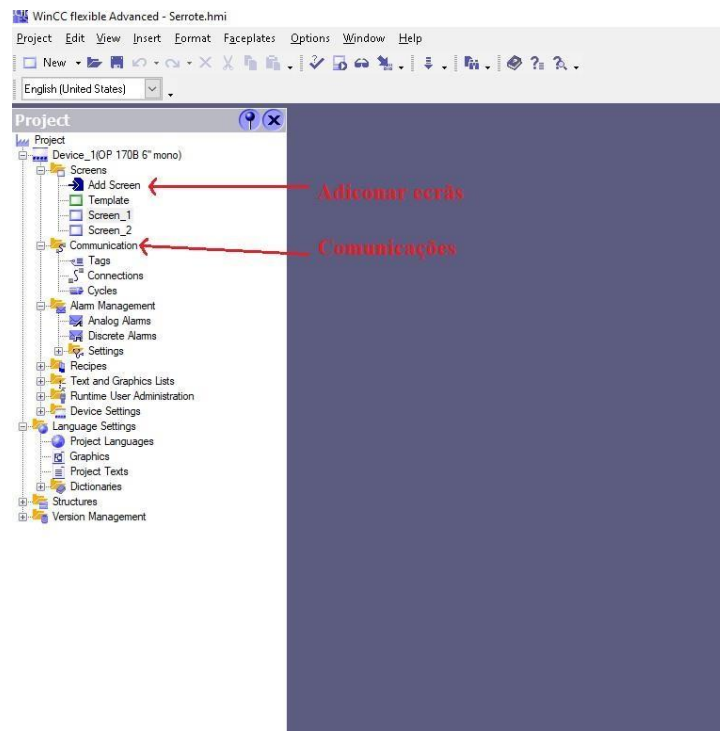


Figura 3.46 – Software WinCC flexible.

O *WinCC flexible* acaba, portanto, por ser muito flexível como o nome diz e com uma interface muito intuitiva.

Um passo importante é a comunicação entre o HMI e os outros dispositivos como o PLC. A Figura 3.47 mostra a configuração da comunicação entre o HMI SIMATIC OP 170B e o PLC S7 – 200, onde são especificados a *baudrate* de 9600 bps, o tipo de ligação, os endereços dos dois dispositivos ou o número de mestres da rede.

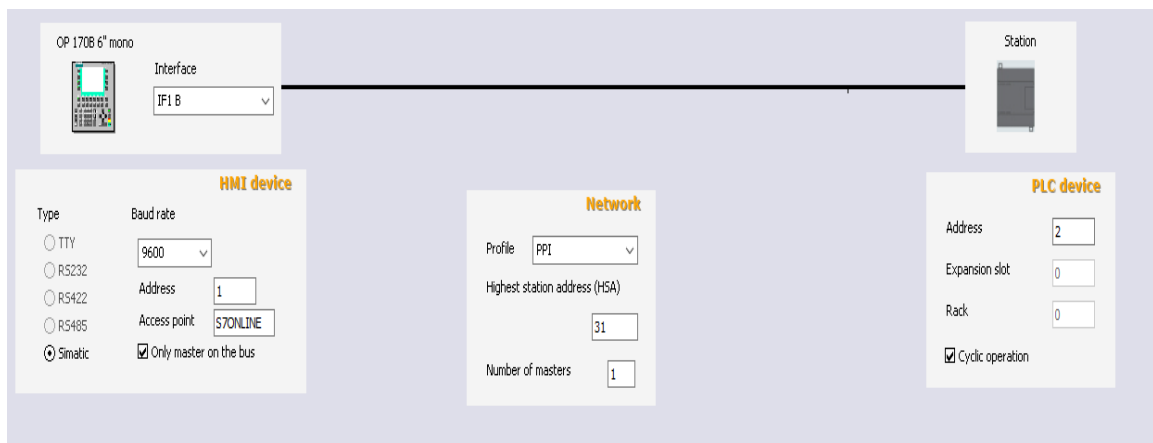


Figura 3.47 - Comunicação entre o HMI e o PLC.

Depois da configuração da comunicação entre o HMI e o PLC, o passo seguinte foi o desenvolvimento dos ecrãs para o HMI.

Os ecrãs para o HMI foram desenvolvidos pensando no conceito de “*user friendly*”, com funcionalidades para a interação Homem-máquina. No ecrã principal da Figura 3.48 operador escolhe o ângulo de corte pretendido e ao mesmo tempo visualizar o ângulo de corte atual, tem

a opção de enviar o serrote para o ângulo de referência, ir para o painel de controlo, aceder ao ecrã dos alarmes ou aceder ao ecrã de informação.

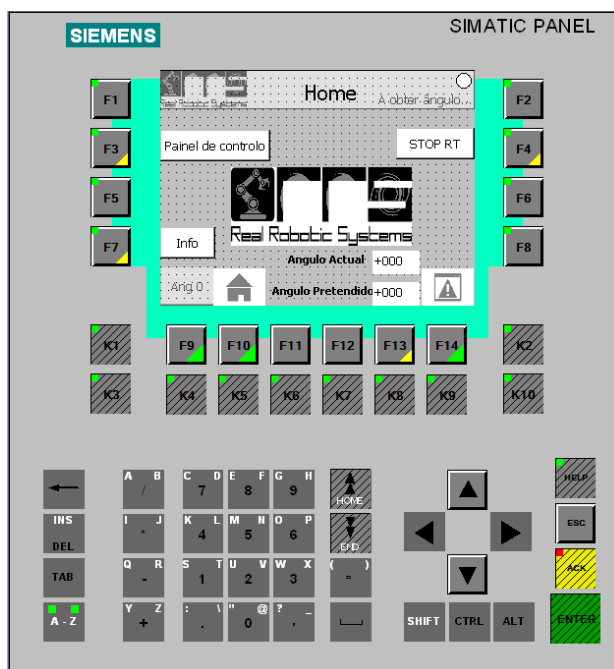


Figura 3.48 - Ecrã principal.

Ao aceder ao painel de controlo, o utilizador acederá ao ecrã representado na Figura 3.49, onde é possível ver as configurações e acompanhar o funcionamento do serrote, uma vez que neste ecrã consegue observar o que está em funcionamento ou não.

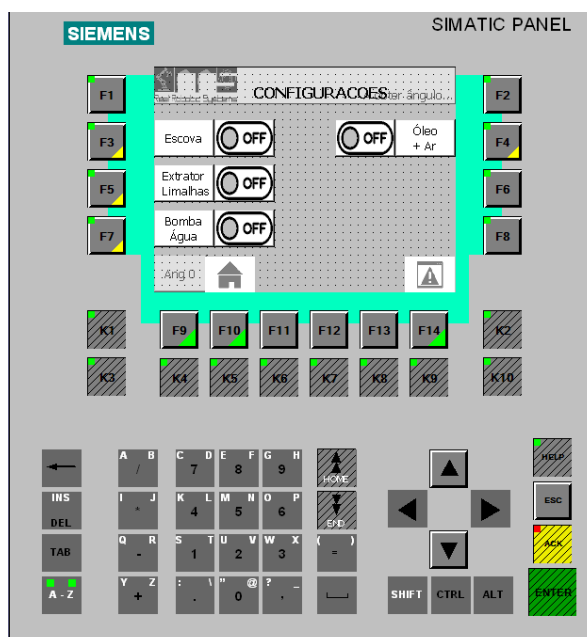


Figura 3.49 - Ecrã de configurações.

Como referido anteriormente, um dos principais objetivos foi facilitar a tarefa do operador e foi com esta finalidade que se desenvolveu dois ecrãs apenas com o objetivo de informar ao

operador das funcionalidades possíveis e dos botões a serem utilizados para cada uma das funcionalidades. Os ecrãs com essa funcionalidade estão representados na Figura 3.50.

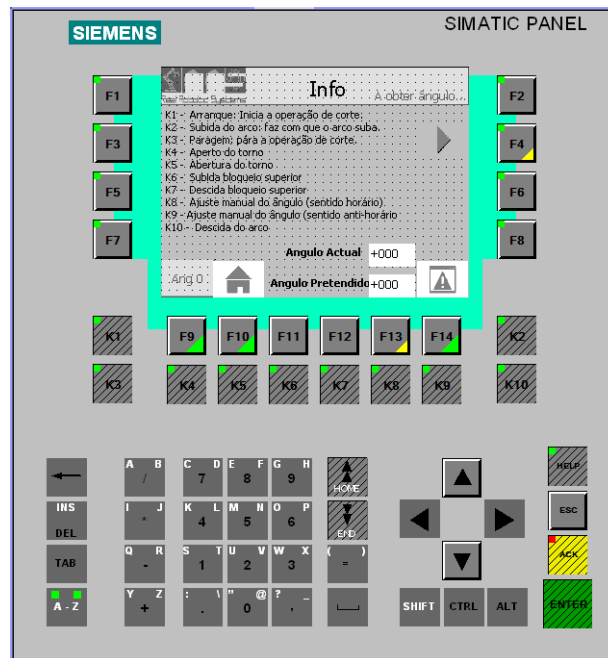


Figura 3.50 - Ecrãs com a informação das funcionalidades

Na Figura 3.51 pode ser consultado a lista de funcionalidades introduzidas para o controlo para o processo de corte, possibilitante a consulta por parte do operador em caso de dúvida.

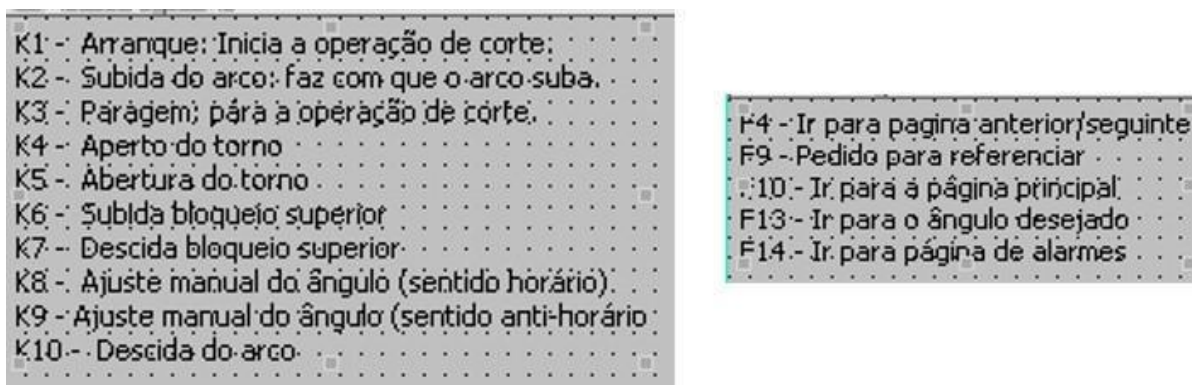


Figura 3.51 - Lista de funcionalidades.

Além deste, também foi desenvolvido um ecrã para dos alarmes por forma a possibilitar ao operador a visualização a ocorrência de problemas com o processo de corte. No caso de haver algum problema no funcionamento do serrote é emitido um alerta luminoso e o operador consegue observar a descrição do problema no ecrã dos alarmes representado na Figura 3.52.

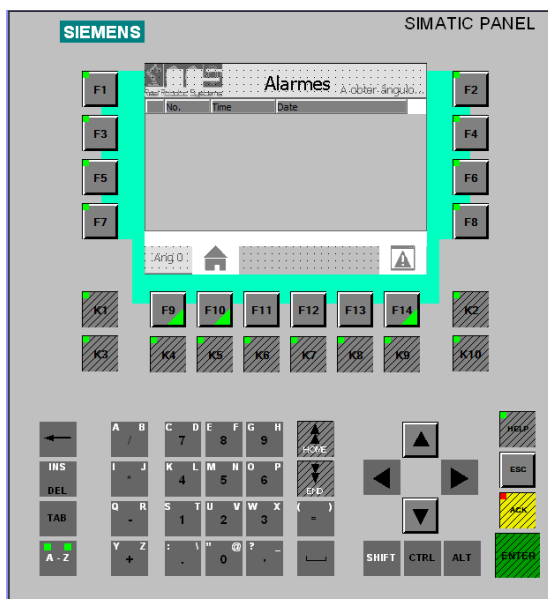


Figura 3.52 - Ecrã dos alarmes.

Na Figura 3.53 é possível observar a lista de alarmes a classe a que pertencem (*Errors* ou *Warnings*) as *tags* no HMI e as respetivas *tags* a que estão associados no PLC.

Text	Number	Class	Trigger Tag	Trigger bit	Trigger address
Botão de paragem de emergência foi pressionado!	1	Errors	Alm1	0	V 1001.0
Erro da Fita de Serra!	2	Errors	Alm1	1	V 1001.1
Cobertura da Polia esta Aberta ou Mal Fechada!	3	Errors	Alm1	2	V 1001.2
Processo de corte Terminado!	4	Warnings	Alm4	0	V 1234.0
Erro no Inverter do motor principal!	5	Errors	<No tag>	<No bit number>	
Erro de Inverter do motor de rotacao!	6	Errors	alm3	3	V 1003.3
Termico do motor hidraulico activado!	7	Errors	Alm1	6	V 1001.6
Termico do motor de refrigeracao activado!	8	Errors	<No tag>	<No bit number>	
Termico do motor de limpeza das limalhas activado!	9	Errors	Alm0	0	V 1000.0
Termico do motor de tabuleiro de limalhas activado!	10	Errors	Alm1	7	V 1001.7
Torno Apertado! Desapertar o torno...	11	Errors	Alm0	2	V 1000.2
Ir para a referencia!	12	Warnings	Alm0	3	V 1000.3
Torno nao Apertado!	13	Errors	Alm4	2	V 1234.2
Ir ao ponto Zero! Processo de corte interrompido	14	Warnings	Alm4	1	V 1234.1
Ir ao angulo desejado! Processo de corte interrompido!	15	Warnings	IRAnguloDesejado	0	M 7.0
Material na ponta! O arco nao desce!	16	Errors	<No tag>	<No bit number>	
Subir o arco!	17	Errors	<No tag>	<No bit number>	
Subir a pressao superior!	18	Errors	alm3	1	V 1003.1
Falha na voltagem principal!	19	Errors	alm3	2	V 1003.2
Material na ponta! O arco nao faz o angulo!	20	Errors	<No tag>	<No bit number>	

Figura 3.53 - Lista de alarmes referentes ao caderno de encargo do sistema desenvolvido

Este projeto foi concluído com sucesso e a empresa usufrui neste momento do serrote semiautomático não registando até ao momento nenhuma falha. Processo este que foi concluído no mês de maio de 2021.

O HMI desenvolvido mostrou ser muito útil para os operadores do serrote e a inclusão de ecrãs de ajuda ao operador revelou ser de extrema importância para o bom funcionamento das operações da fábrica e para o aumento da produção.

3.2.2. Projeto de robótica de uma célula de produção

Foi proposto o desenvolvimento da programação de uma parte de uma célula de produção. Uma célula robotizada de produção é descrita como sendo uma área de trabalho devidamente estudada com um objetivo de produção comum, onde existem distribuições de tarefas, recorrendo a interligação de equipamentos, na qual existe um ou mais robôs, permitindo a otimização e realização da(s) operação(ões).

Por motivos de confidencialidade, não será possível mostrar a linha real nem as peças produzidas no processo. Assim sendo, aqui será mostrada a parte ilustrativa da linha recorrendo ao software da KUKA Sim Pro.

Na Figura 3.54 está representada a célula de produção montada no KUKA Sim Pro.

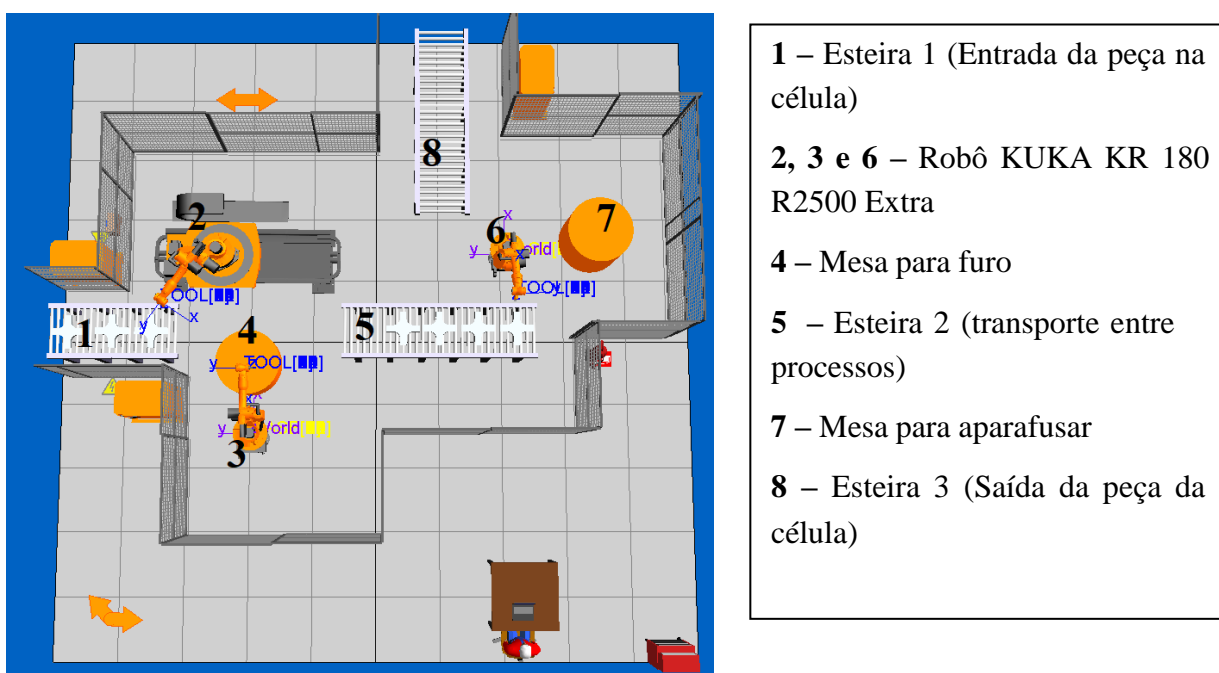


Figura 3.54 – *Layout* da célula produção no KUKA Sim Pro.

O desenvolvimento da aplicação consiste na programação de 3 robôs industriais. Os 3 robôs são KUKA KR 180 R2500 Extra, Figura 3.55, que se caracteriza por ser muito flexível e versátil, com altos padrões de precisão, desempenho e eficiência energética. Para além destas características, este robô é robusto, mas compacto e aerodinâmico, oferecendo uma carga útil de 180 kg e alcance de 2.500 mm e é emparelhado com o controlador KR C4.



Figura 3.55 - Robô KUKA KR 180 R2500 Extra⁹.

Na Tabela 3.2, estão apresentadas as especificações do robô KUKA KR 180 R2500 Extra.

Tabela 3.2 - Especificações do robô KUKA KR 180 R2500 Extra.

Especificação do robô		Velocidade de movimento do robô		Amplitude de movimento do robô
Juntas	6	J1	123 °/s (2.15 rad/s)	J1 ±185°
Carga útil	180 kg	J2	115 °/s (2.01 rad/s)	J2 ±140° -5°
Altura de alcance	2496 mm	J3	120 °/s (2.09 rad/s)	J3 ±120° -155°
Repetibilidade	+/-0.06 mm	J4	179 °/s (3.12 rad/s)	J4 ±350°
Massa do robô	1059 kg	J5	172 °/s (3 rad/s)	J5 ±125°
Estrutura	Articulada	J6	2.19 °/s (2.82 rad/s)	J6 ±350°
Montagem	Chão, invertido			

Programação do sistema

A programação dos robôs foi desenvolvida utilizando o modo *Teach*, disponibilizado pelo *Teach Pendant* (Figura 3.56) da KUKA, por forma a guardar os pontos pretendidos para a execução da tarefa por parte dos robôs.

⁹ Imagem obtida de:
<https://www.robots.com/robots/kuka-kr-180-r2500-extra>



Figura 3.56 - *Teach Pendant* da KUKA¹⁰.

Para desenvolver o programa e especificar os pontos foi utilizado o sistema de coordenadas das juntas do robô em que cada eixo do robô pode ser movido individualmente na direção positiva ou negativa do eixo. Isso pode ser feito utilizando as teclas de deslocamento ou o *Space Mouse* presente no *Teach Pendant*, permitindo que os 6 eixos sejam movidos simultaneamente. O robô possui um total de seis eixos como padrão, que são definidos como mostra a Figura 3.57.

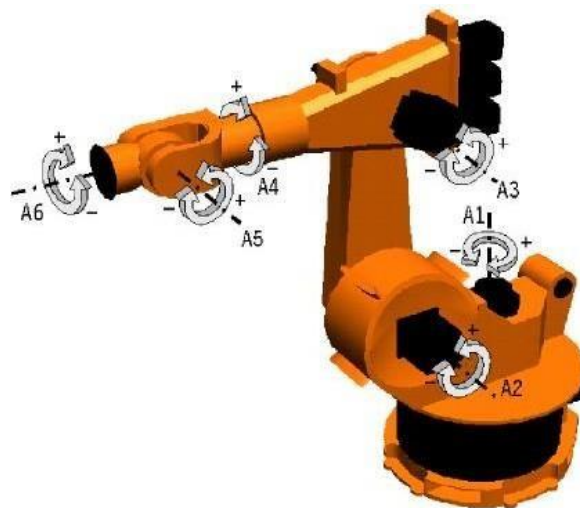


Figura 3.57 – Representação dos 6 eixos do robô.

As seguintes teclas / movimentos de deslocamento do *Space Mouse* permitem que cada eixo seja movido individualmente:

¹⁰ Imagem obtida de:

https://www.researchgate.net/figure/An-example-teach-pendant-Kuka-LWR-controller-Such-interfaces-are-ill-suited-for_fig3_282234684

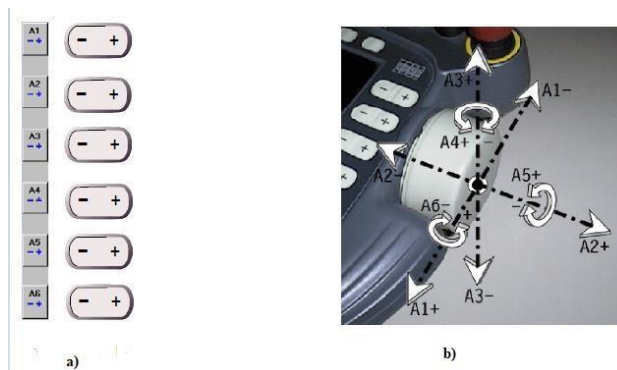


Figura 3.58 - a) Teclas de movimento - b) Space mouse

No software KUKA Sim Pro os pontos são especificados e guardados por ordem de movimento, existindo funções de fecho e abertura da garra. Existe ainda a possibilidade de escolher o movimento das juntas, translação da ferramenta ou rotação da ferramenta, como se pode observar na Figura 3.59.

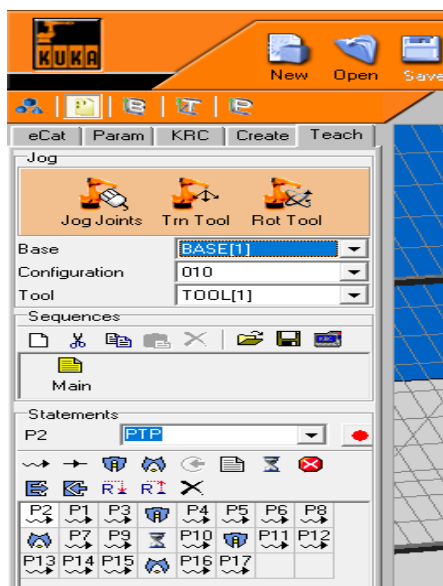


Figura 3.59 - Funcionalidade Teach do KUKA Sim Pro.

No caso utilizou-se o movimento *point-to-point* (PTP) com posicionamentos exatos em vez por exemplo de movimentos lineares (LIN). A programação do robô KUKA oferece dois tipos de movimentos PTP:

Movimento PTP com posicionamento exato

Neste caso o robô para exatamente no ponto de destino, como se pode observar na Figura 3.60.

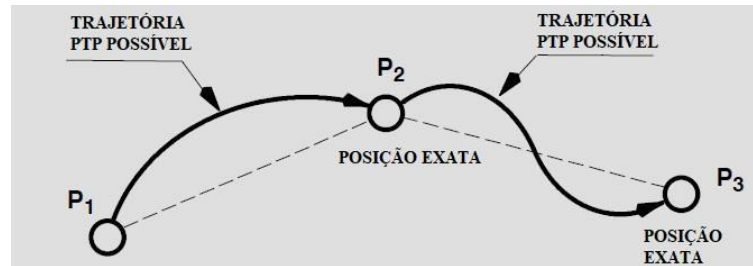


Figura 3.60 - Movimento PTP com posicionamento exato.

No exemplo acima o P1 é o ponto de partida, depois vai exatamente ao P2 e de seguida ao P3. Este foi o tipo de movimento utilizado nos movimentos com maior distância dos objetos.

Movimento PTP com posições de aproximação

Durante o movimento PTP com posição de aproximação, existem pontos intermédios antes do ponto de destino, que no exemplo da Figura 3.61 é o ponto P2. Fazendo a aproximação ao ponto P2, sem parar, o robô prossegue em direção ao ponto de destino. Este movimento é utilizado, por exemplo, no Robô 2 quando tem de aproximar dos pontos para os furos.

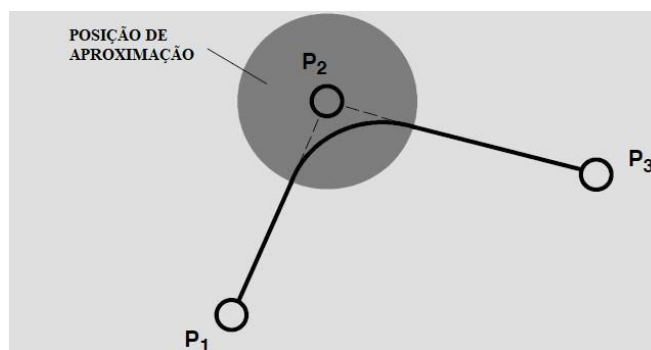


Figura 3.61 - Movimento PTP com posição de aproximação.

Utilizando o software do KUKA Sim Pro fez-se a programação das tarefas de cada um dos robôs.

Tarefas desempenhadas pelo Robô 1 e Robô 2

O Robô 1 e o Robô 2 partilham o mesmo espaço, ou seja, como partilham o mesmo espaço têm de comunicar entre si por forma a evitar colisões, Figura 3.62.

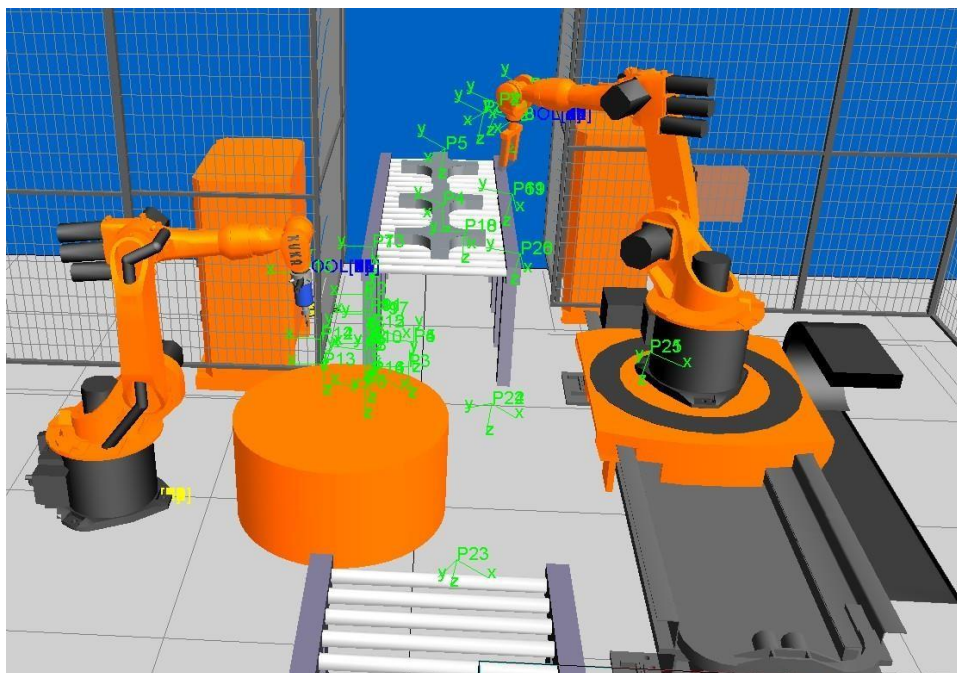


Figura 3.62 - Robô 1 e Robô 2

O robô 1 tem a capacidade de se movimentar na dentro da célula, entre a esteira de entrada da peça na célula, o posto de trabalho do Robô 2 e a esteira que transporta a peça para outro processo. Têm a função de “*pick-and-place*” e retirada da peça da célula, executando as seguintes tarefas:

1. Transporta a peça desde a Esteira 1, mediante comunicação que existe uma peça por parte da Esteira 1, até ao posto de trabalho do Robô 2.
2. Comunica com o Robô 2 para que este saiba que a peça está no seu posto de trabalho.
3. Aguarda que o Robô 2 comunique que já terminou a sua tarefa.
4. Agarra novamente na peça e coloca na Esteira 2 que faz o seu transporte até o outro processo.

Na Figura 3.63 estão as posições do Robô 1 para a execução das tarefas.

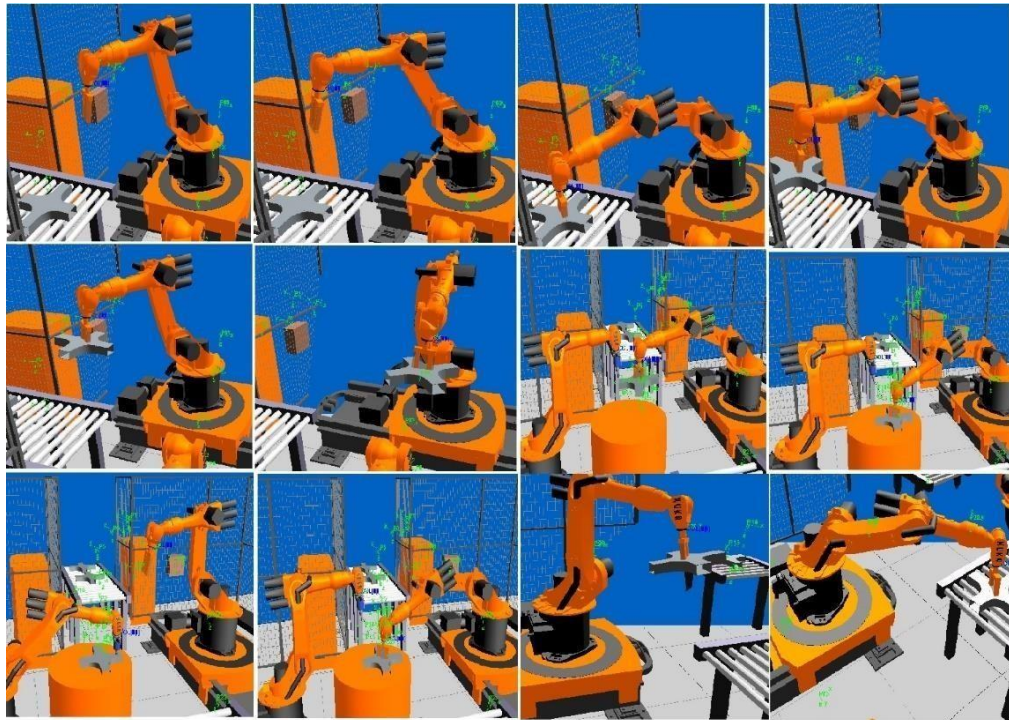


Figura 3.63 – Tarefas executadas pelo robô 1

O Robô 2, Figura 3.64, é um robô fixo com uma ferramenta de furo. Quando o recebe a comunicação por parte do Robô 1 que tem a peça no seu posto de trabalho:

1. A ferramenta deste robô efetua 4 furos na peça, uma em cada extremidade da peça.
2. Comunica com o Robô 1 que terminou a sua tarefa.
3. Fica a espera que o Robô 1 volte a comunicar que existe peça no seu posto de trabalho.

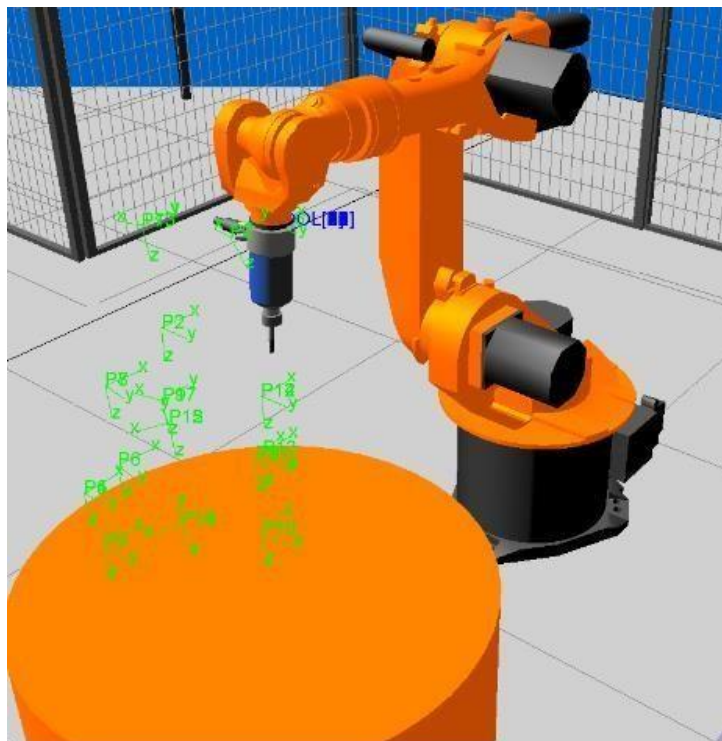


Figura 3.64 – Robô com ferramenta de furo

As tarefas executadas pelo Robô 2 estão representados na Figura 3.65.

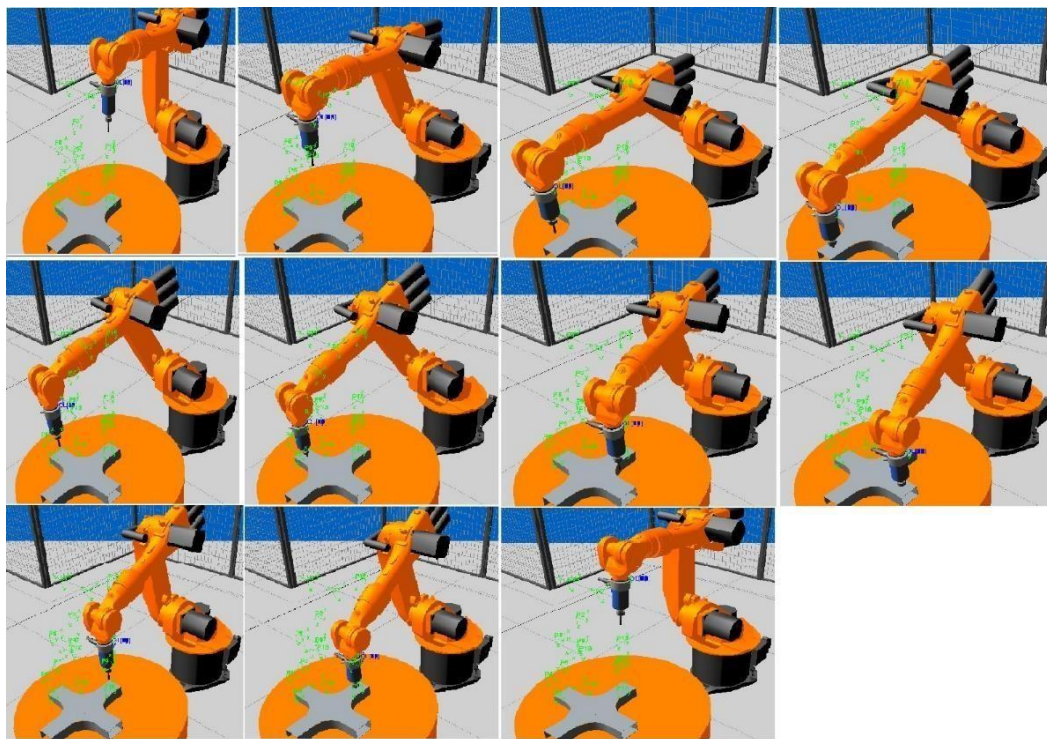


Figura 3.65 – Tarefas executadas pelo Robô 2

Tarefas desempenhadas pelo Robô 3

O Robô 3, representada na Figura 3.66, é um robô e tal como o Robô tem a função de “*pick-and-place*” e é um robô estático que possui as seguintes tarefas:

1. Esperar que haja peça na Esteira 2.
2. Colocar a peça no sistema de aparafusar.
3. Esperar que o sistema de aparafusar termine suas tarefas.
4. Depois de concluída essa tarefa o Robô 3 termina o processo colocando a peça na Esteira 3 que serve de saída da célula.

As tarefas executadas pelo Robô 3 estão representadas na Figura 3.66.

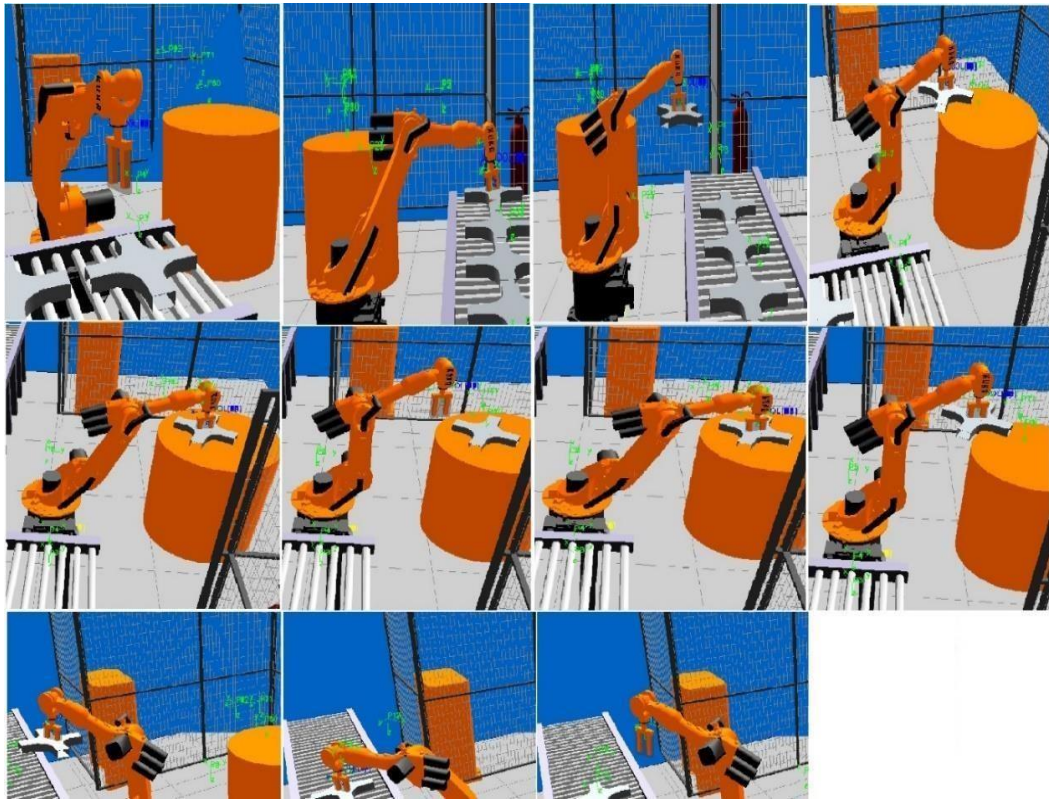


Figura 3.66 – Tarefas executadas pelo Robô 3

4. CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO

O estágio realizado na Real Robotic Systems marcou o início de um novo ciclo, pois os conhecimentos adquiridos serão, uma mais-valia para enfrentar outros desafios com mais confiança e determinação.

Qualquer experiência em contexto de trabalho é sempre enriquecedora, tanto em termos de complemento da formação académica, como de crescimento pessoal, uma vez que permite a aquisição e consolidação de todo um conjunto de competências que serão fundamentais no exercício de uma profissão.

Com efeito, a resolução de problemas em situação real, permite conciliar as aprendizagens adquiridas no estágio, com o suporte teórico obtido ao longo do percurso académico, conjugando, deste modo, as duas vertentes.

Além da experiência adquirida para a resolução de problemas, o trabalho em equipa foi uma maior motivação para enfrentar os obstáculos, contribuindo, assim, para uma formação mais sólida.

Sem dúvida que esta experiência de estágio foi enriquecedora, quer ao nível da aquisição de conhecimentos técnicos, quer da filosofia de trabalho subjacente a uma empresa deste tipo, sobretudo para quem, inicialmente, não sabia muito bem o que iria encontrar nem o que lhe seria exigido.

Por outro lado, a automação e a robótica industrial, vista do lado de dentro, desperta ainda mais interesse, em especial quando surgem novas tecnologias o que contribui para continuar a desenvolver determinadas capacidades no âmbito de aplicação em qualquer tipo de empresa.

Quando se está perante um projeto para ambiente indústria os aspetos económicos, a segurança dos trabalhadores e a proteção das máquinas assumem um papel de extrema importância. Há que efetuar um estudo prévio de todo o sistema.

No projeto do serrote semiautomático o estudo do manual do serrote, foi fundamental efetuar o estudo do equipamento em modo manual para poder entender todas as funcionalidades. Os objetivos foram cumpridos e o manuseamento por parte dos operários é de fácil compreensão o que aumentou a importância.

A robótica industrial tem sido e continuará sendo um recurso de extrema importância para a indústria no seu geral e cada vez apresentam uma maior versatilidade, mais robustez, mas de forma mais compacta e maior precisão nos processos.

Futuramente, existirá maior utilização de sistemas robóticos devido a utilização de inteligência artificial e na interação com ambiente e outros sistemas robóticos.

As principais dificuldades encontradas durante o estágio foi ter que desenvolver parte destes projetos a distância devido ao COVID-19.

Em suma, pode-se afirmar que este estágio foi uma etapa concluída com sucesso e que será de grande importância em termos de futuro profissional. Toda a experiência adquirida foi inegavelmente enriquecedora e bastante profícua, sob o ponto de vista das competências adquiridas, tendo em conta que foram alcançados todos os objetivos pretendidos com a execução desta vertente de estágio, tanto ao nível tecnológico, como no relacionamento com clientes, empresas e colegas no mercado de trabalho.

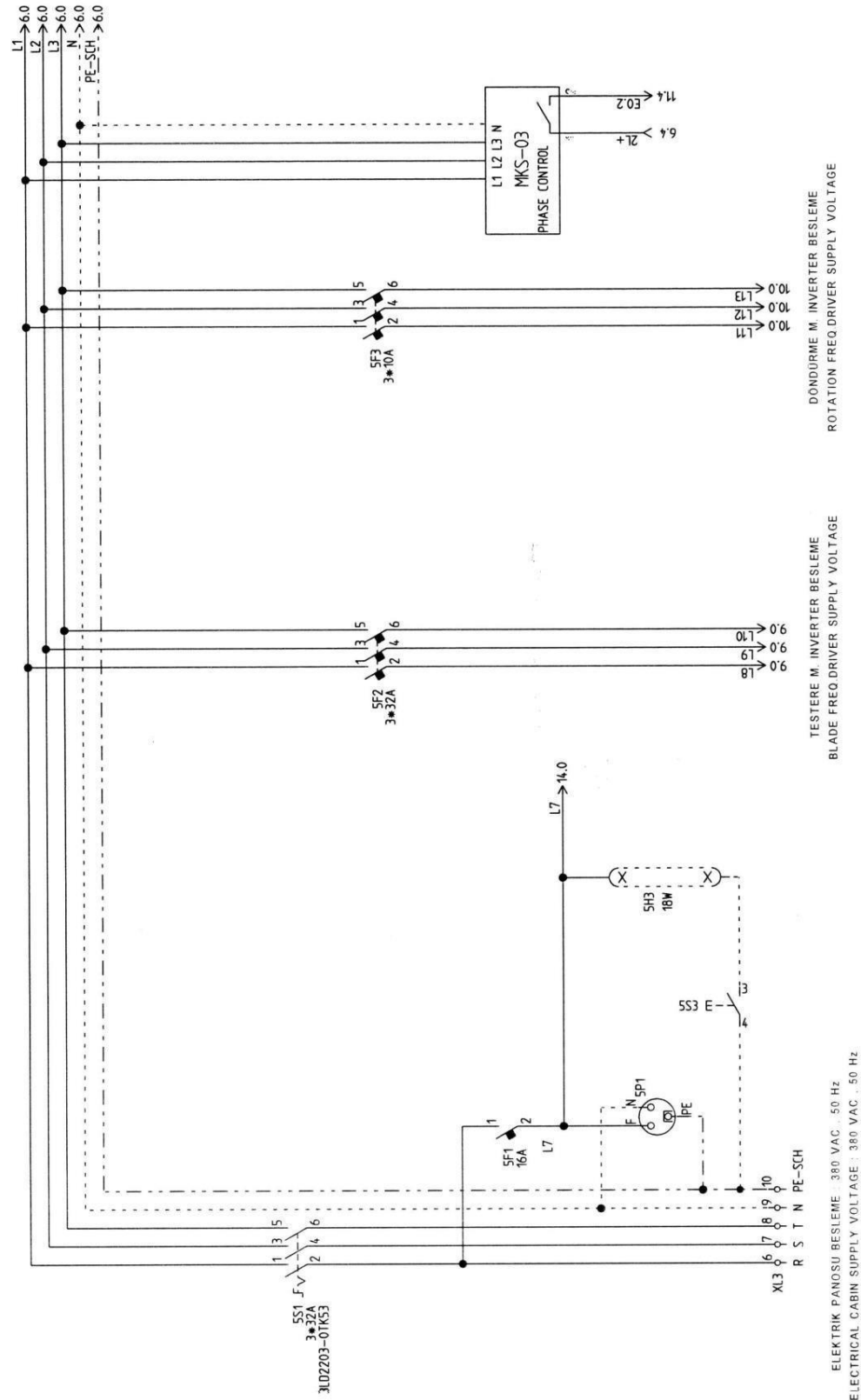
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

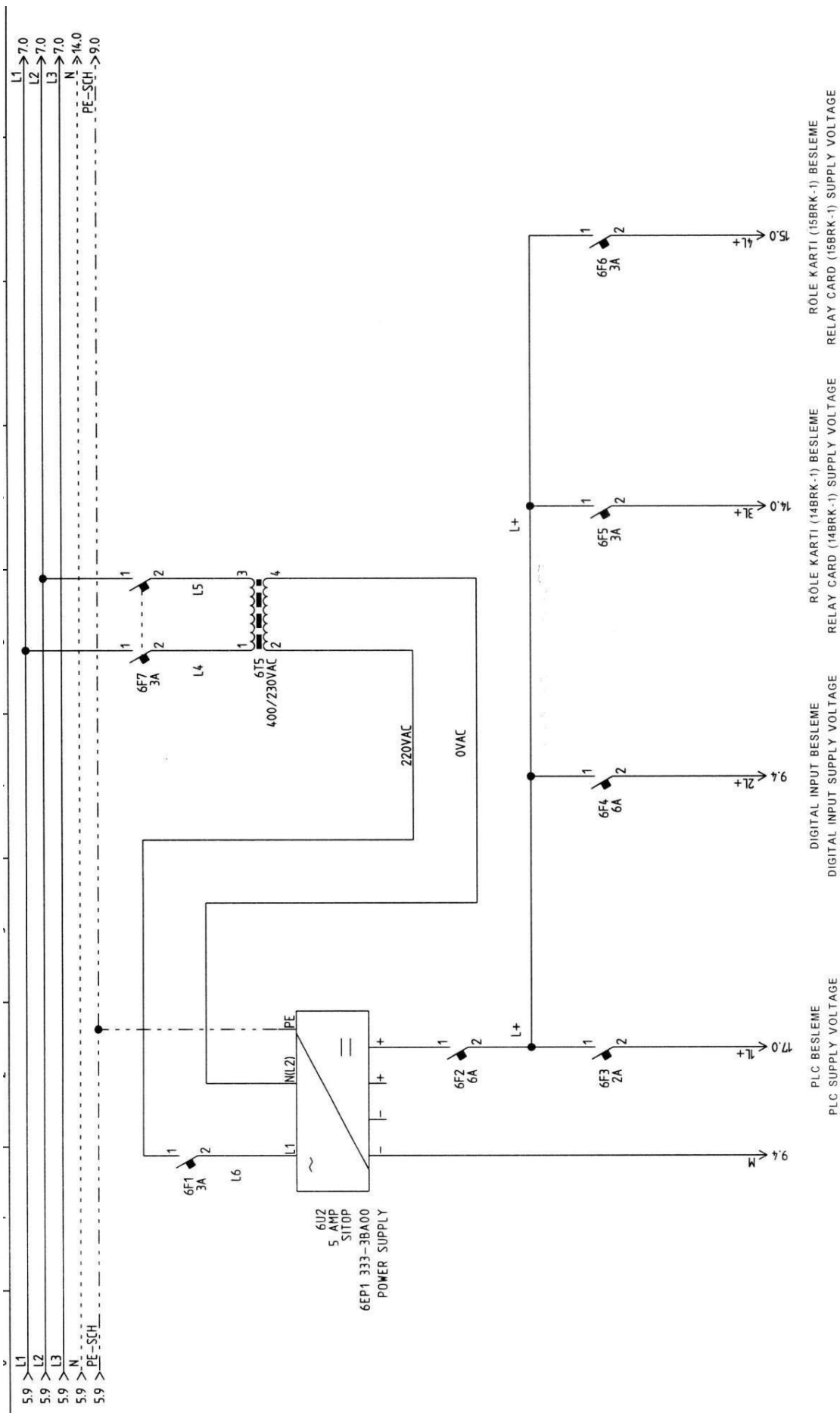
- ACCEPT, M. (24 de maio de 2019). *Mundo ACCEPT*. Obtido de <https://www.accept.pt/as-varias-fases-da-revolucao-industrial/>
- Bayer, F. M., Eckhardt, M., & Machado, R. (2011). *Automação de sistemas*. Santa Maria - RS.
- Control, I. E. (2018). *Programmable Logic Controller*.
- Fuentes, L. R. (2016). *Automação Industrial*.
- Pires, J. N. (2018). *Robótica Industrial - Industria 4.0*. Coimbra: LIDEL .
- ACCEPT, M. (2019, maio 24). *Mundo ACCEPT*. Retrieved from <https://www.accept.pt/as-varias-fases-da-revolucao-industrial/>
- Crestani Tasca, L., Pignaton de Freitas, E., & Rech Wagner, F. (2018). Enhanced Architecture for Programmable Logic Controllers Targeting Performance Improvements. *Accepted Manuscript*.
- De Paula Peres, R. (2012). *Redes de Comunicação PROFIBUS*. Itatiba.
- de Souza Lima Oliveira, V. (2016). *Protocolo de comunicação PROFINET para redes de Automação*. Ria de Janeiro.
- e-Tec.rede. (2016). *Automação Industrial*. Sanata Maria - RS.
- Ferreira Romano, V., & Suell Dutra, M. (2016). *INTRODUÇÃO À ROBÓTICA INDUSTRIAL*.
- Galin, R., & Meshcheryakov, R. (2019). Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots. *Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots*.
- KUKA. (n.d.). *Software - KRC C1 / KR C2*.
- M. F. Santos, V. (2004). *Improvements*. Aveiro: Improvements,.
- P&R. (2011, Abril 5). PRIMEIRO CONTROLE AUTOMÁTICO: JAMES WATT, REGULADOR CENTRÍFUGO. Brasil. Retrieved from <http://blog.perautomacao.com.br/primeiro-controle-automatico-james-watt-regulador-centrifugo/>
- Pazos, F. (2011). *Automação de sistemas & Robótica*. Rio de janeiro: AXCEL Books.
- Silevira, L., & Q. Lima, W. (2003, maio). Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial. *Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial*.
- SMAR. (2020, Julho). *SMAR*. Retrieved from <https://www.smar.com/brasil/artigo-tecnico/redes-industriais>
- Smith, A., & Fressoli, M. (2021, Setembro). Post-automation. *Post-automation*.

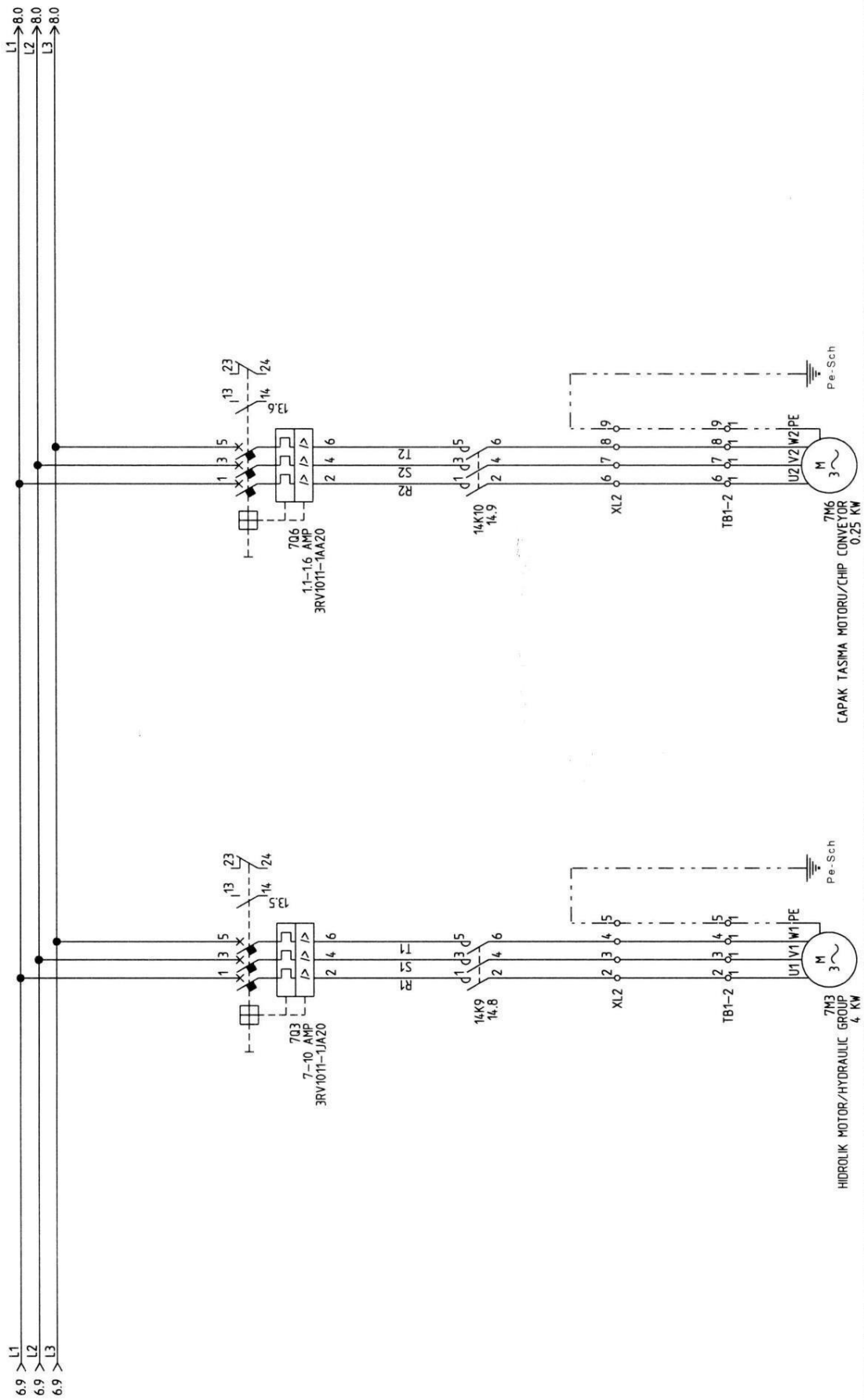
Wending, M. (2010). *Sensores. Improvements.*

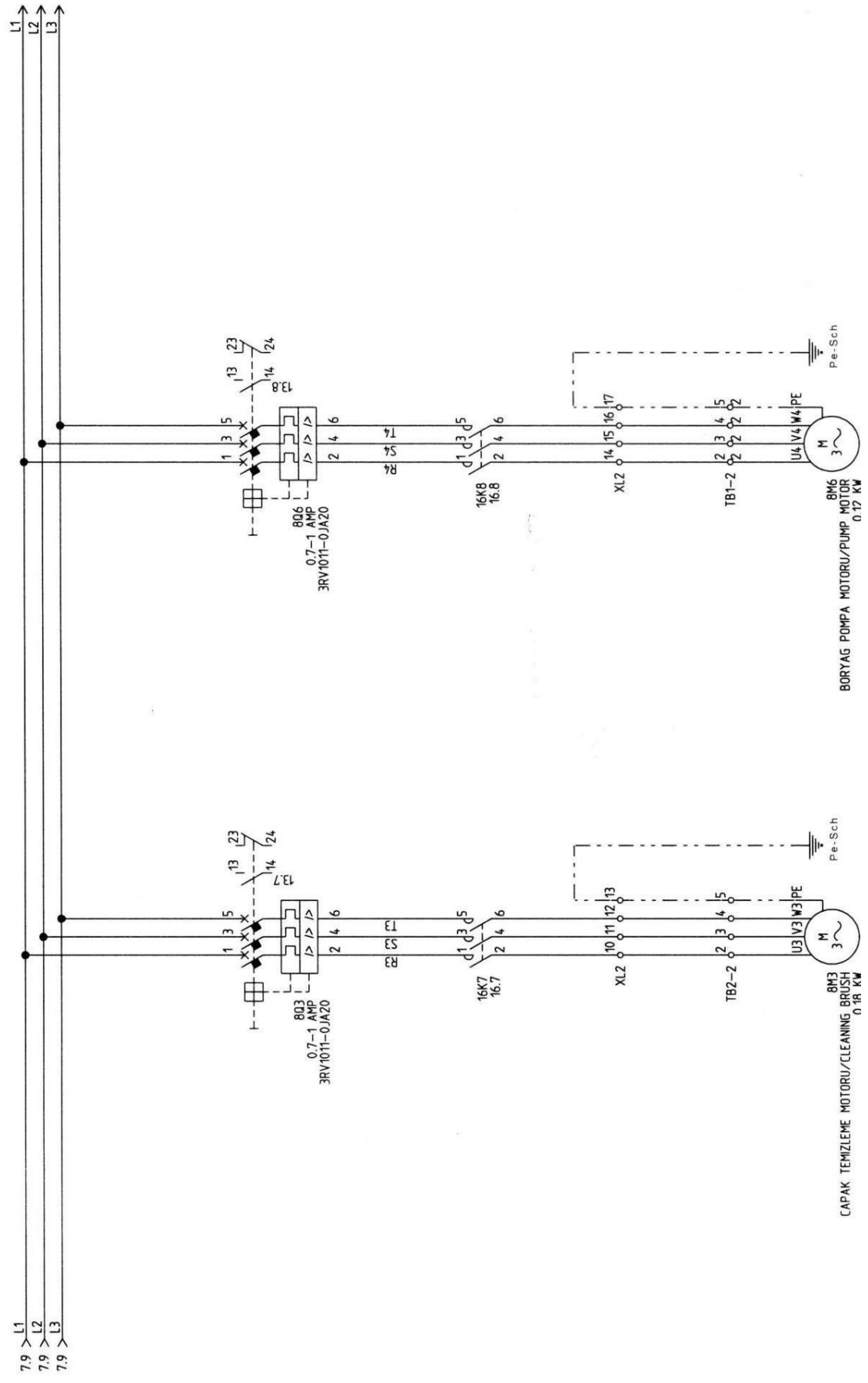
ANEXOS

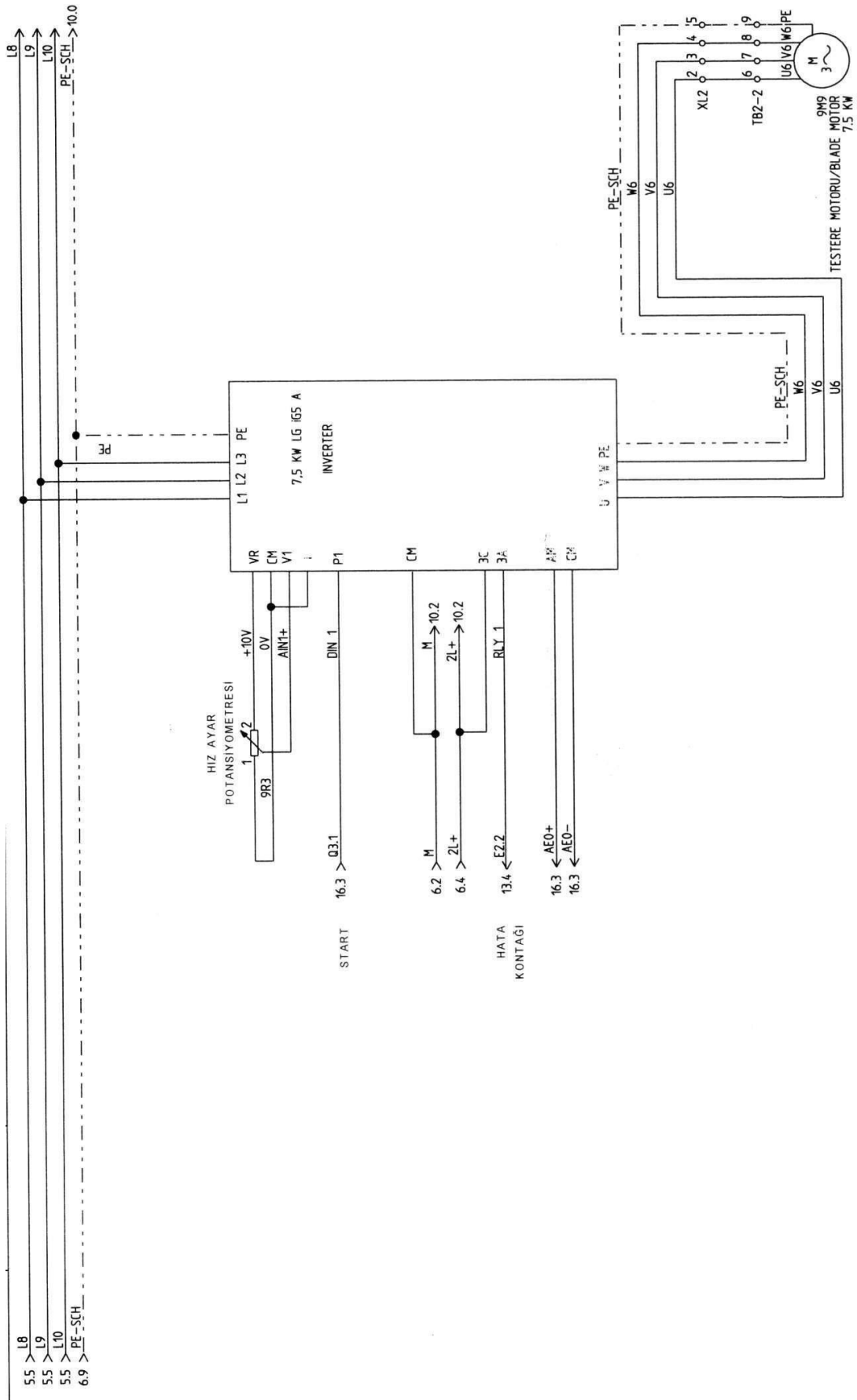
ANEXO A - Circuitos do serrote semiautomático

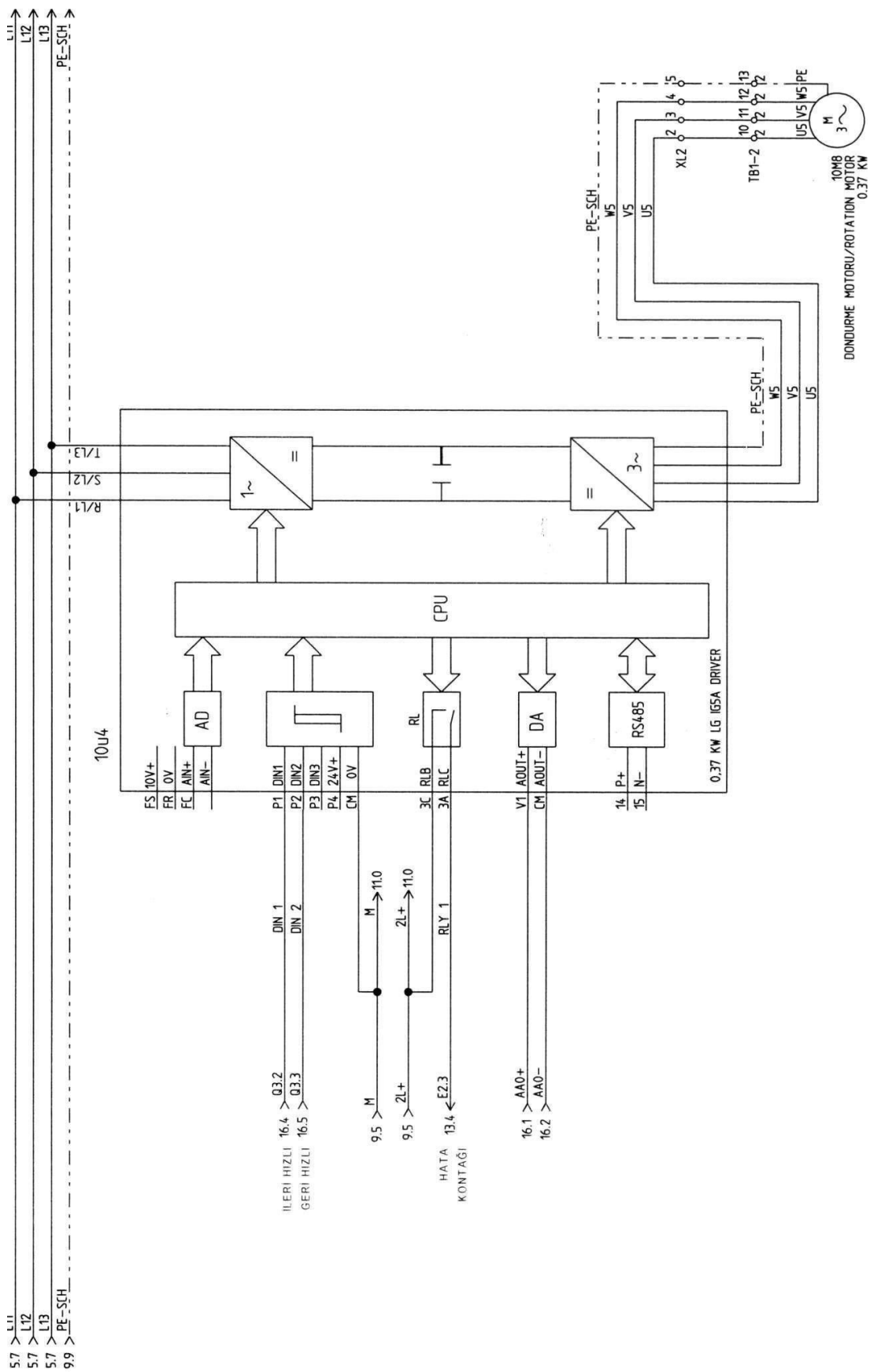


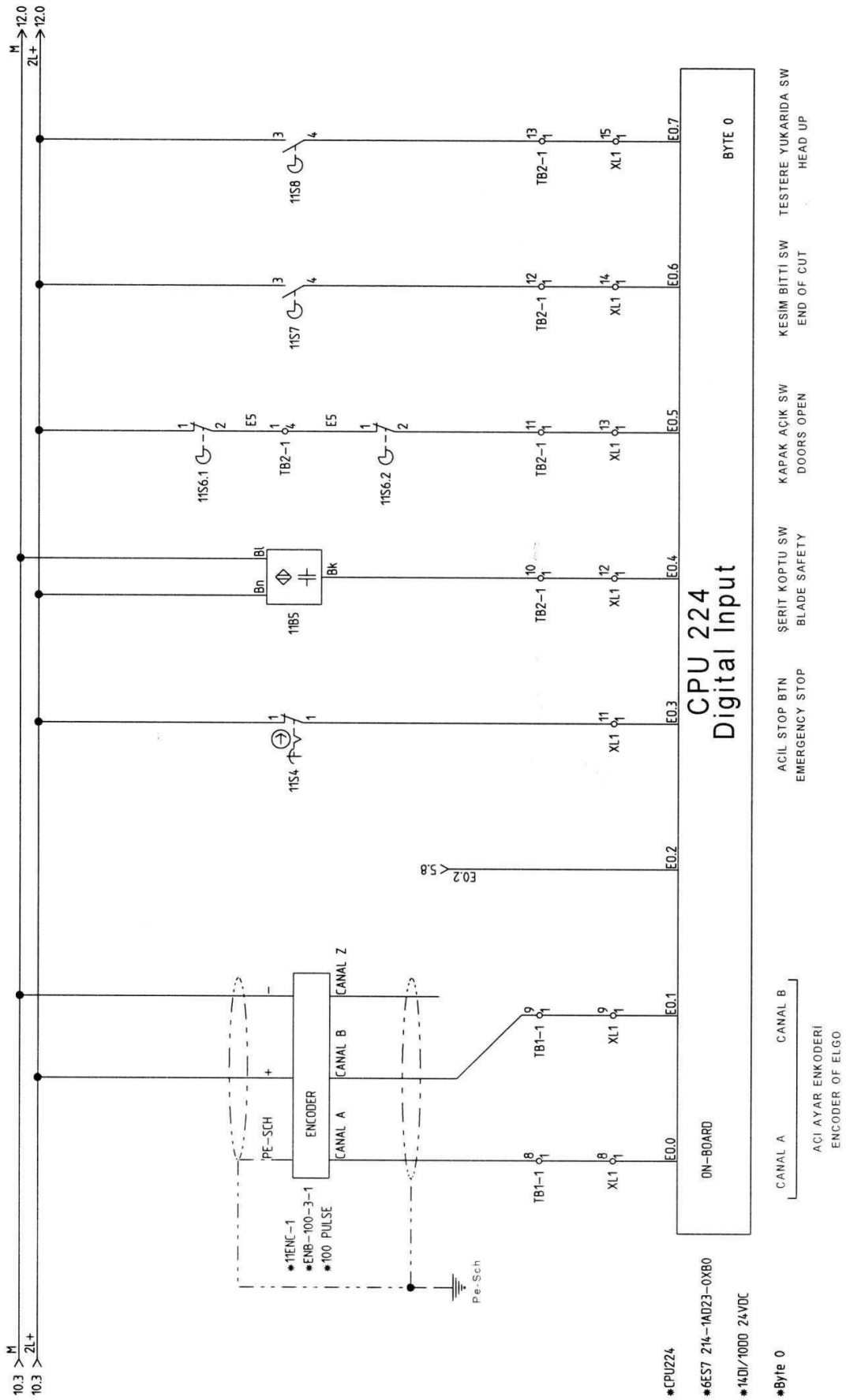


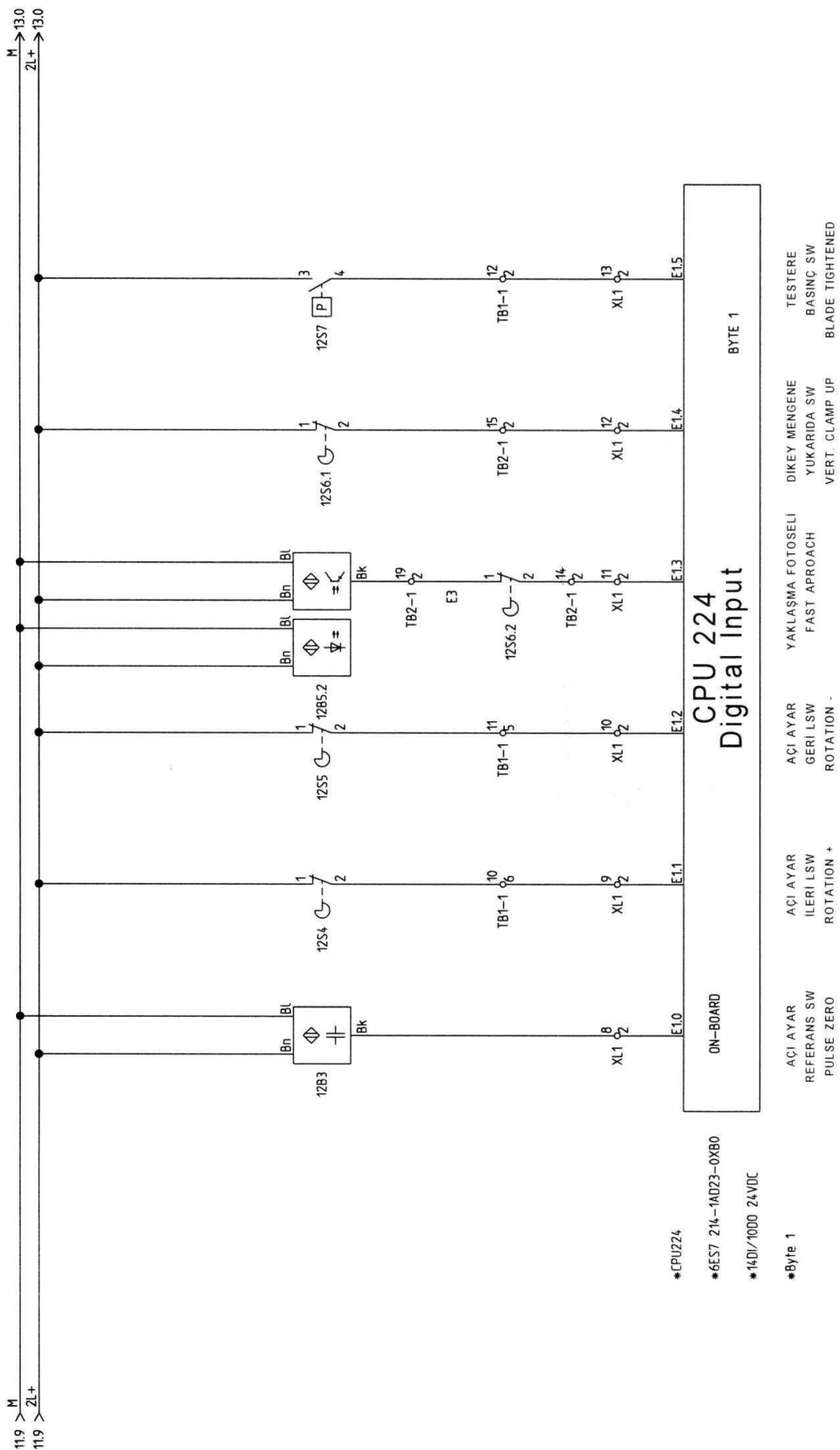


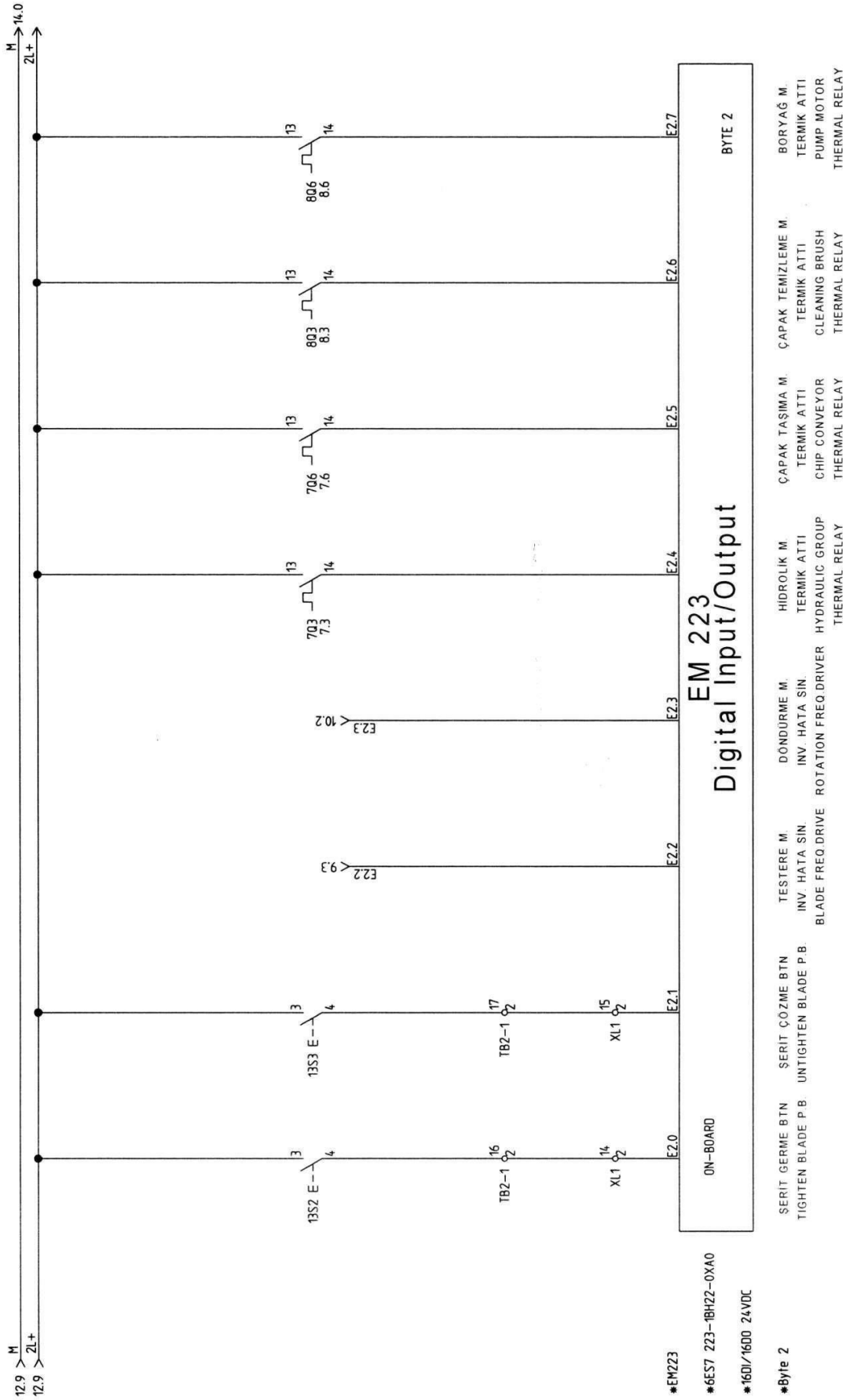


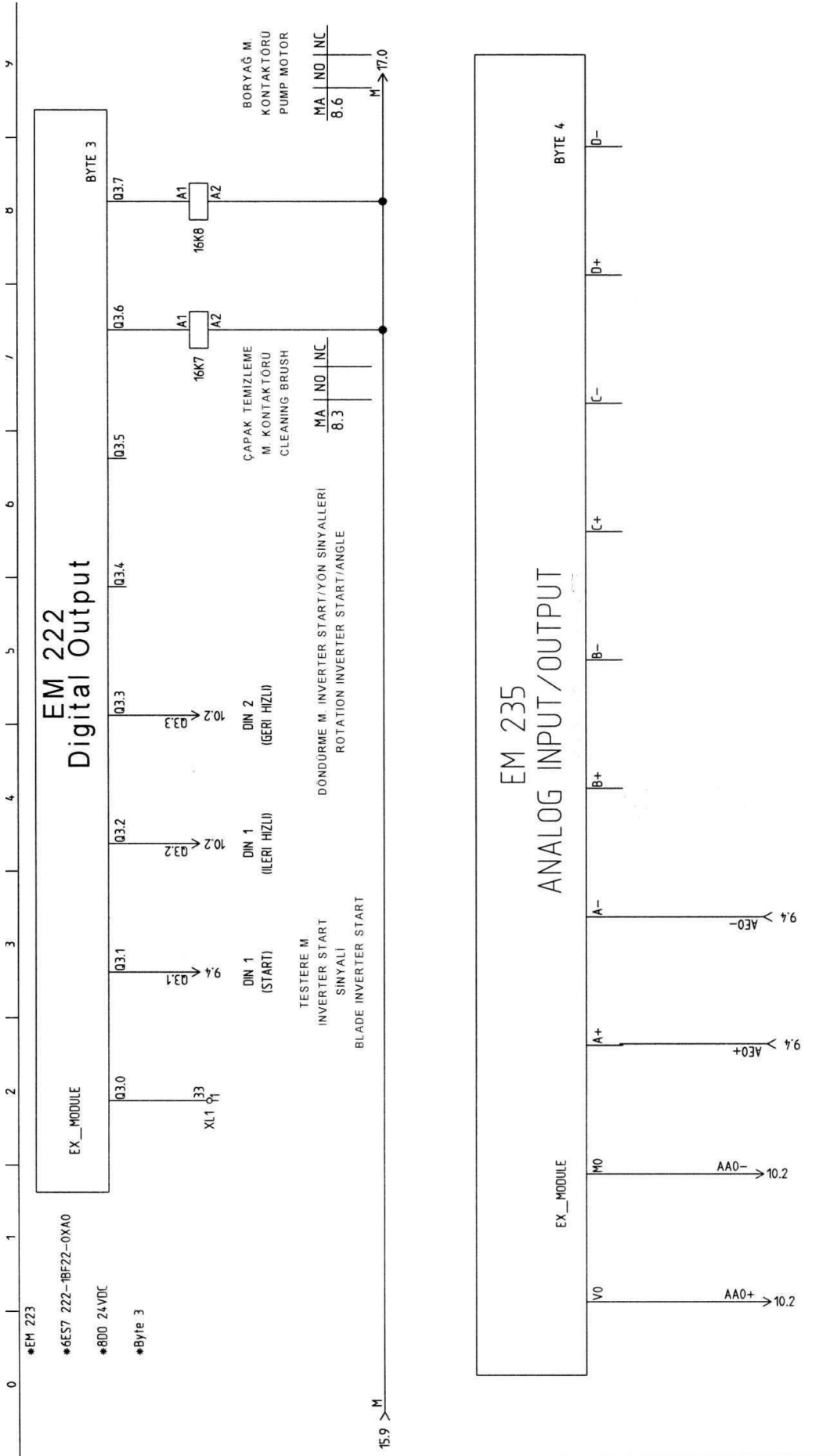












ANEXO B – Comparação entre os modelos S7-200

Feature	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP CPU 224XPsi	CPU 226
Physical size (mm)	90 x 80 x 62	90 x 80 x 62	120.5 x 80 x 62	140 x 80 x 62	190 x 80 x 62
Program memory: with run mode edit without run mode edit	4096 bytes 4096 bytes	4096 bytes 4096 bytes	8192 bytes 12288 bytes	12288 bytes 16384 bytes	16384 bytes 24576 bytes
Data memory	2048 bytes	2048 bytes	8192 bytes	10240 bytes	10240 bytes
Memory backup	50 hours typical	50 hours typical	100 hours typical	100 hours typical	100 hours typical
Local on-board I/O Digital Analog	6 In/4 Out -	8 In/6 Out -	14 In/10 Out -	14 In/10 Out 2 In/1 Out	24 In/16 Out -
Expansion modules	0 modules	2 modules ¹	7 modules ¹	7 modules ¹	7 modules ¹
High-speed counters Single phase Two phase	4 at 30 kHz 2 at 20 kHz	4 at 30 kHz 2 at 20 kHz	6 at 30 kHz 4 at 20 kHz	4 at 30 kHz 2 at 200 kHz 3 at 20 kHz 1 at 100 kHz	6 at 30 kHz 4 at 20 kHz
Pulse outputs (DC)	2 at 20 kHz	2 at 20 kHz	2 at 20 kHz	2 at 100 kHz	2 at 20 kHz
Analog adjustments	1	1	2	2	2
Real-time clock	Cartridge	Cartridge	Built-in	Built-in	Built-in
Communications ports	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485
Floating-point math	Yes				
Digital I/O image size	256 (128 in, 128 out)				
Boolean execution speed	0.22 microseconds/instruction				

ANEXO C - Recomendações de corte do serrote semiautomático

Material	Material No	Special	Bi-Metal			
		LG-Super				
	St 35 - St 42	1.0308-0077	40 - 55	60 - 80	1:10	x
	St 50 - St 70	1.0052-0070	30 - 45	50 - 70	1:20	x
	C 10 - C 16	1.0301-0401	45 - 65	60 - 90	1:10	x
	14 NiCr 14	1.5752	30 - 40	40 - 50	1:10	x
	21 NiCrMo 2	1.6523	30 - 45	45 - 55	1:10	x
	16 MnCr 5	1.7131	30 - 45	50 - 65	1:10	x
	34 CrAl 6	1.8504	-	20 - 35	1:20	x
	34 Cr Al Ni 7	1.8550	-	20 - 35	1:20	x
	9 S 20	1.0711	45 - 65	70 - 120	1:10	x
	C 35 C 45	1.0501-0503	35 - 55	55 - 75	1:20	x
	41 Cr 4	1.7035	25 - 35	40 - 60	1:20	x
	40 Mn 4	1.5038	35 - 45	50 - 65	1:20	x
	42 Crmo 4	1.7225	30 - 40	35 - 50	1:20	x
	36 Ni Cr 6	1.5710	30 - 40	50 - 60	1:20	x
	24 Ni Cr 14	1.5754	25 - 35	40 - 60	1:20	x
	100 - Cr 6	1.3505	25 - 35	50 - 65	1:30	x
	105 - Cr 4	1.3503	25 - 35	50 - 65	1:30	x
	100 - CrMo 6	1.3520	20 - 30	40 - 50	1:30	x
	65 Si 7	1.0906	30 - 40	40 - 60	1:30	x
	50 CrV 4	1.8159	30 - 40	40 - 60	1:30	x
	C 80 W 1	1.1525	25 - 35	50 - 60	1:30	x
	C125 W 1	1.1560	20 - 30	20 - 35	1:30	x
	C 105 W 2	1.1645	25 - 35	40 - 50	1:30	x
	105 Cr 5	1.2060	30 - 40	50 - 60	1:30	x
	x 210 Cr 12	1.2080	-	20 - 35	-	x
	x 40 Cr Mo V 51	1.2344	20 - 30	30 - 40	1:30	x
	x 210 Cr W 12	1.2436	-	20 - 30	-	x
	x 165 Cr Mo V 12	1.2601	-	20 - 35	1:30	x
	56 NiCrMoV 7	1.2714	25 - 30	20 - 40	1:30	x
	100 CrMo 5	1.2303	20 - 30	35 - 45	1:30	x
	x 32 CrMoV 33	1.2365	20 - 30	30 - 45	1:20	x
	S 5-6-2	1.3343	-	25 - 40	1:30	x
	S 5-6-2-5	1.3243	-	25 - 40	1:30	x
	S 18-0-1	1.3355	-	25 - 40	1:30	x
	S 18-1-2-10	1.3265	-	25 - 40	1:30	x
	x 45 CrSi 93	1.4718	-	30 - 40	1:20	x
	x 45 CrNiW 189	1.4873	-	30 - 40	1:20	x
	CrNi 2520	1.4843	-	25 - 40	1:10	x
	x 20 CrMoV 211	1.4922	-	25 - 40	1:10	x
	x5 NiCrTi 2615	1.4980	-	25 - 40	1:10	x
	x 10 CrAl 7	1.4713	-	20 - 35	1:10	x
	x 15 CrNiSi 25/20	1.4841	-	20 - 35	1:10	x
	x 10 CrSi 6	1.4712	-	20 - 35	1:10	x
	x 5 CrNi 189	1.4301	-	25 - 35	1:10	x
	x 10 CrNiMoT 1810	1.4571	-	25 - 35	1:10	x
	x 10 Cr 13	1.4006	-	25 - 35	1:10	x
	x 5 CrNiMo 1810	1.4401	-	25 - 35	1:10	x
	GS - 38		30 - 40	50 - 60	1:50	x
	GS - 60		30 - 40	50 - 60	1:50	x
	GG - 16		30 - 40	40 - 50	-	x
	GG - 30		30 - 40	40 - 50	-	x
	GTW - 40		30 - 40	40 - 50	-	x
	GTS - 65		30 - 40	40 - 50	-	x
	NiMoNic	2.4631		15 - 25	1:10	x
	Hastelloy	x 2.4972	-	15 - 25	1:10	x
	Inconel	2.4640	-	15 - 25	1:10	x
	Al 99.5	3.0255	80 - 300	100 - 700	1:10	x
	AlMg 3	3.3535	80 - 300	100 - 700	1:10	x
	CuSn 6	2.1020	50 - 70	70 - 100	1:50	x
	G-CuSn 10	2.1050	50 - 70	70 - 100	1:50	x
	CuAl 8	2.0920	30 - 45	50 - 70	1:30	x
	CuAl 8 Fe 38	2.0920.60	30 - 40	40 - 50	1:20	x
	G-CuSn 10 Zn	2.1086.01	30 - 45	70 - 100	1:50	x
	G-CuSn 5 Zn Pb	2.1096.01	30 - 45	70 - 100	1:50	x
	CuZn 10	2.0230	80 - 200	100 - 300	1:50	x
	CuZn 31 S	2.0490	80 - 200	100 - 300	1:50	x