



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Trabalho efetuado sob a orientação de



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Trabalho efetuado sob a orientação de

AGRADECIMENTOS

A presente Dissertação de mestrado não teria sido possível sem as orientações do Professor Doutor Miguel Francisco Martins de Lima e do Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho, muito grato a ambos.

RESUMO

O presente trabalho enquadra-se na área da automação e robótica industrial, com especial enfoque no desenvolvimento de sistemas de controlo para equipamentos industriais, implementados numa maquete existente no Laboratório de Automação e Robótica (LAR) do Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE). Inicialmente, são apresentados o enquadramento tecnológico e o estado da arte, abordando a evolução dos autómatos programáveis, interfaces homem-máquina (HMI) e robótica industrial, evidenciando a importância destas tecnologias na modernização dos processos industriais.

O trabalho desenvolveu a programação estruturada do ciclo de trabalho de parte do sistema, através de um PLC, incluindo a configuração das entradas, saídas e memórias internas, bem como a elaboração de diagramas *grafcet* para controlo sequencial. Paralelamente, foi implementada uma HMI que permite a monitorização em tempo real do sistema. Adicionalmente, foi realizada a simulação em ambiente virtual e a programação real de um robô industrial ABB IRB 1600, responsável pela manipulação e embalagem de peças.

O presente trabalho tem como objetivo a automatização de um sistema industrial, utilizando para isso uma maquete existente no LAR do DEE. Para tal, foram desenvolvidas soluções que incluem: i) a programação estruturada do ciclo de trabalho, num autómato programável, para controlo de parte do sistema; ii) a implementação do sistema de comando, em modo manual e automático, através de uma Interface Homem-Máquina (HMI), permitindo a monitorização e operação do processo; e iii) a simulação em ambiente virtual e a programação real de um robô industrial ABB IRB 1600, destinado à manipulação de peças e respetiva embalagem das mesmas em caixas de cartão.

Os resultados alcançados evidenciam a viabilidade da automatização da maquete utilizada neste projeto, validando a programação do PLC, a interação com a HMI e o controlo do robô industrial, contribuindo, assim, para uma maior compreensão do funcionamento integrado de sistemas automatizados.

Palavras-chave: Autómato programável, maquete, pneumática, HMI, robótica, automação industrial.

ABSTRACT

This work falls within the area of industrial automation and robotics, with a special focus on the development of control systems for industrial equipment, implemented in a model located in the Automation and Robotics Laboratory (ARL) of the Department of Electrical Engineering (DEE). Initially, the technological framework and state of the art are presented, addressing the evolution of programmable logic controllers (PLCs), human-machine interfaces (HMIs), and industrial robotics, highlighting the importance of these technologies in the modernization of industrial processes.

This work involved developing the structured programming of a portion of the system's workflow using a PLC, including the configuration of inputs, outputs, and internal memories, as well as the creation of Grafcet diagrams for sequential control. In parallel, an HMI was implemented to allow real-time monitoring of the system. Additionally, virtual environment simulation and real-world programming of an ABB IRB 1600 industrial robot, responsible for handling and packaging parts, were performed.

This work aims to automate an industrial system, using an existing model at the DEE's LAR. To this end, solutions were developed that include: i) structured programming of the work cycle in a programmable logic controller (PLC) to control part of the system; ii) implementation of the control system, in manual and automatic mode, through a Human-Machine Interface (HMI), allowing monitoring and operation of the process; and iii) virtual environment simulation and real-world programming of an ABB IRB 1600 industrial robot, designed for handling parts and their packaging in cardboard boxes.

The results achieved demonstrate the feasibility of automating the model used in this project, validating the PLC programming, the interaction with the HMI, and the control of the industrial robot, thus contributing to a greater understanding of the integrated operation of automated systems.

Keywords: Programmable Logic Controller, HMI, model, pneumatics, robotics and industrial automation.

Índice

ÍNDICE DE TABELAS / QUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	1
1.3 Estrutura da dissertação	2
2. ROBÔS, AUTÓMATOS E A SUA EVOLUÇÃO	4
2.1 Breve introdução histórica	4
2.2 Autômato e lógica cablada	11
2.3 Tipos de automação	13
2.4 A invenção do robô	14
3. ROBÓTICA INDUSTRIAL	20
3.1 Características dinâmicas do robô industrial.....	20
3.2 Carga e volume de trabalho.....	21
3.3 Condições para o robô operar.....	22
3.4 Movimentação do robô no espaço, sensores internos e externos	23
3.5 Atuadores do robô e tipos de juntas	24
3.6 Juntas e graus de liberdade do robô	24
3.7 Algoritmo de programação do robô	27
3.8 Como modificar um ponto no robô	34
3.9 Calibração do robô	37
4. EQUIPAMENTO UTILIZADO	43
4.1 Identificação dos componentes do quadro elétrico:	45
4.2 Peças fabricadas para melhoramento da maquete	47
4.3 <i>Layout</i> da maquete e robô industrial	48
4.4 Válvulas biestáveis e monoestáveis:	50
5. PROGRAMAÇÃO DO AUTÓMATO E HMI.....	52
5.1 Escolha do PLC e da carta de expansão	52
5.2 Entradas, saídas e memórias incorporadas no autômato.....	57
5.3 <i>Grafcet</i> monta-cargas	59
5.3.1 Equações das etapas	60
5.3.2 Etapas do monta-cargas.....	62
5.4 <i>Grafcet</i> dos tapetes	63
5.4.1 Equações das etapas:	65
5.5 Configuração da HMI e ligação ao PLC	69

5.5.1	Tags da HMI e sua ligação ao PLC	70
5.5.2	Configuração da HMI na rede.....	71
5.6	Interagir com a HMI a partir do computador	73
5.7	Programação da HMI	74
5.7.1	Menu Principal da HMI.....	75
5.7.2	Ecrã em modo automático.....	76
5.7.3	Ecrã em modo manual.....	77
5.7.4	Ecrã em modo estatística:.....	78
6	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	ANEXOS	82
	ANEXO A.....	83
	Etapas da fabricação das peças substituídas na maquete	83
	ANEXO B:	93
	Main:	93
	ANEXO C	94
	Monta Carga:.....	94
	ANEXO D.....	97
	Tapete 1:.....	97
	ANEXO E:	101
	Reset <i>grafcet</i> :	101
	ANEXO F.....	102

ÍNDICE DE TABELAS / QUADROS

Tabela 1: Pormenor do movimento das juntas do punho do robô.	26
Tabela 2: Tipos de configurações do punho do robô.	26
Tabela 3: Características do Robô ABB IRB 1600-6/1.45.	27
Tabela 4: Figuras que apresentam os elementos da consola e a sua função.	35
Tabela 5: Marcas físicas das juntas da base (θ_1), do ombro (θ_2), e do cotovelo (θ_3).	41
Tabela 6: Marcas físicas das juntas roll (θ_4), pitch (θ_5) e roll (θ_6).	42
Tabela 7: Entradas e saídas do autómato.	57
Tabela 8: Bits de memória do autómato.	58
Tabela 9: Etapas e bits correspondentes.	60
Tabela 10: Recetividades externas.	60
Tabela 11: Recetividade interna.	61
Tabela 12: Ações externas.	61
Tabela 13: Ação Interna.	61
Tabela 14: Tabelas das Etapas do <i>grafcet</i> Tapete 1.	65
Tabela 15: Tabela de Recetividades Externas do Tapete 1.	66
Tabela 16: Recetividades Internas do Tapete 1.	66
Tabela 17: Recetividades Externas do Tapete 1.	66
Tabela 18: Ações Internas Tapete 1.	67
Tabela 19: Tags da HMI.	70
Tabela F-1: Símbolos e ações que representam na HMI.	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Máquina a vapor.	5
Figura 2: a) Tear mecânico. b) Locomotiva a vapor.	6
Figura 3: Barco a vapor.	6
Figura 4: Gerador de corrente alternada.	7
Figura 5: O inventor, Engenheiro e Físico Nicola Tesla.	8
Figura 6: a) Marconi e as comunicações de rádio. b) Tipos de antenas.	8
Figura 7: Linha de montagem de Henry Ford, produção em série.	9
Figura 8: a) Computador ENIAC. b) Fresadora NC.	10
Figura 9: Percurso evolutivo da Indústria.	10
Figura 10: Sistema pneumático.	11
Figura 11: Circuito pneumático com temporizador.	12
Figura 12: a) Arquitetura do autômato. b) Funcionamento do autômato.	12
Figura 13: Tipos de Automação.	13
Figura 14: Unimate o primeiro robô industrial.	14
Figura 15: AGV- Automated Guide Vehicle.	15
Figura 16: AMR - Autonomous mobile robots.	15
Figura 17: Drone submarino para estudos oceanográficos.	16
Figura 18: Veículo aéreo não tripulado.	17
Figura 19: Robô humanóide.	17
Figura 20: Robôs industriais de soldadura automática na indústria automóvel.	18
Figura 21: Robô colaborativo.	18
Figura 22: Relação entre a anatomia do ser humano com o robô.	20
Figura 23: Conceito de Exatidão Vs. Repetibilidade.	21
Figura 24: Volume de Trabalho do Robô.	22
Figura 25: Imagem de todos os equipamentos.	22
Figura 26: Tipos de juntas. a) Junta de rotação. b) Junta de translação.	24
Figura 27: Juntas do robô. a) Grupo de juntas (cintura, ombro e cotovelo). b) Grupo de juntas do punho (roll-pitch-yaw).	24
Figura 28: Vista do Robô e “End Effector”. a) Vista geral do Robô. b) Ferramenta de Trabalho (End effector).	25
Figura 29: Cabeçalho do programa do robô.	27
Figura 30: Código utilizado para as peças não metálicas serem arrumadas na caixa.	28
Figura 31: Código para as peças metálicas serem arrumadas na caixa.	29
Figura 32: Rotinas das peças metálicas e não metálicas.	30
Figura 33: Trajetórias executadas pelo robô para colocar todas as peças metálicas e não metálicas nas caixas.	31
Figura 34: Acionamento do programa em modo contínuo.	31
Figura 35: Entradas dos sensores fotoelétricos e saídas para o robô.	32
Figura 36: DI11_6 e DI11_7 com o valor lógico 1.	32
Figura 37: Algoritmo do programa que regista em ficheiro a produção de peças.	33
Figura 38: Ficheiro de peças metálicas produzidas.	33
Figura 39: Opções para modificar Ponto.	34
Figura 40: Operação Modify Position.	36
Figura 41: PP to Main.	36

Figura 42: Aviso do contador de rotações desatualizado.	37
Figura 43: Painel de Controlo.	38
Figura 44: Juntas descalibradas.	38
Figura 45: Atualização do contador de rotações.	39
Figura 46: Visualização de todas as juntas do robô a 0°.	39
Figura 47: Acerto da data e da hora.	40
Figura 48: Exterior do Quadro Elétrico com legendas.	43
Figura 49: Quadro elétrico com os diversos botões de comando, paragem e de segurança, bem como os motores que acionam os tapetes transportadores.	44
Figura 50: Interior do quadro elétrico com legenda.	45
Figura 51: Desenho 3 D de um tipo de suporte.	47
Figura 52: a) Aplicação de suporte. b) Aplicação de batente.	48
Figura 53: Maquete ligada ao ar comprimido.	48
Figura 54: Barreiras de segurança.	49
Figura 55: Electroválvulas da Maquete.	49
Figura 56: Esquema de circuito pneumático com uma electroválvula biestável.	50
Figura 57: Esquema de circuito pneumático com uma electroválvula monoestável.	51
Figura 58: Maquete e robô.	51
Figura 59: Vista geral do PLC e da carta de expansão.	52
Figura 60: PLC escolhido com a descrição das características técnicas.	52
Figura 61: Carta de expansão.	53
Figura 62: Programa principal do autómato.	53
Figura 63: Endereços IP do autómato e da HMI.	54
Figura 64: Atribuição do endereço IP do autómato.	55
Figura 65 Escolha das portas de comunicação.	55
Figura 66: Preparação para o carregamento do programa no autómato.	56
Figura 67: Carregamento do programa.	56
Figura 68: Grafcet Monta Cargas.	59
Figura 69: Imagens do monta-cargas.	62
Figura 70: Grafcet tapete 1.	64
Figura 71: Etapas da peça metálica.	67
Figura 72: Etapas da peça não metálica.	68
Figura 73: Modelo e referência da HMI.	69
Figura 74: Ligação da HMI ao PLC.	69
Figura 75: Configuração do endereço IP da HMI.	71
Figura 76: Ligação do computador à HMI.	71
Figura 77: Envio do programa para a HMI.	72
Figura 78: HMI. a) Vista geral da HMI com o PC. b) HMI no quadro elétrico.	73
Figura 79: Interagir com a HMI a partir do computador.	73
Figura 80: Autenticação do utilizador para aceder à HMI a partir do PC.	74
Figura 81: Menu Principal da HMI.	75
Figura 82: Ecrã da HMI em modo automático.	76
Figura 83: Ecrã da HMI em modo Manual.	77
Figura 84: Mapa estatístico das operações dos tapetes e dos cilindros, bem como o tempo de operação dos tapetes.	78
Figura A-1: Software do programa da roteadora cnc.	83
Figura A-2: Roteadora CNC a maquinar placas em policarbonato preto.	84

Figura A-3: Panorama geral da roteadora cnc.	84
Figura A-4: Dimensões aproximadas da peça.	85
Figura A-5: Parte superior da peça tipo paralelepípedo.	86
Figura A-6: Parte intermédia da peça...	86
Figura A-7: Base da peça.	87
Figura A-8: Vistas da peça com todos os componentes montados.	87
Figura A-9: Exemplo de parametrização da base da peça paralelepipedica no software da roteadora CNC.	88
Figura A-10: Operações feitas na coluna de furar e na fresadora.	88
Figura A-11: Peça paralelepipedica com todos os elementos que a constituem, em várias perspectivas.	89
Figura A-12: Foto da peça paralelepipedica com as devidas dimensões na tela a verde.	90
Figura A-13: Desenho 3 D das peças que constituem os suportes do escorregão.	90
Figura A-14: Programa da peça da Figura A-12 a).	91
Figura A-15: Programa da peça da figura A-12 b).	91
Figura A-16: Vista do desenho 3 D do batente.	92
Figura A-17: Ferramentas utilizadas no trabalho.	92
Figura B-1: Main.....	93
Figura C-1: Grafcet monta-cargas.	94
Figura D-1: Grafcet tapete 1.	97
Figura E-1: Reset Grafcet.	101

LISTA DE SIGLAS / ABREVIATURAS

ABB - *Asea Brown Boveri*

CNC – *Computer Numerical Control*

DEE - Departamento de Engenharia Eletrotécnica

DI - *Digital Input*

DO - *Digital Output*

ESTGV - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

GPS - *Global Positioning System*

HMI - *Human Machine Interface* (Interface Homem Máquina)

I/O - *Input/Output*

IPV - Instituto Politécnico de Viseu

PC – *Personal Computer*

PLC – *Programmable logic controller* (Controlador lógico programável)

RAPID - Linguagem de Programação de Robôs ABB

Tag – Nome dado às variáveis do autómato

TCP - *Tool Center Point*

1. INTRODUÇÃO

Este tema da Automação e da Robótica é do meu especial interesse, na medida em que me desperta curiosidade e é muito importante na indústria. Os sistemas produtivos exigem cadências de produção cada vez maiores. Atualmente com a Indústria 4.0 os equipamentos dos sistemas produtivos trabalham de forma autônoma e comunicam entre si em tempo real. A partir da internet a sua informação pode ser partilhada com agentes autorizados em qualquer parte do mundo, estando subjacente a proteção contra *hackers*, recurso a *firewalls* e a devida encriptação. Os robôs e autómatos que programam toda a maquinaria, substituem os seres humanos e executam tarefas repetitivas, por vezes em ambientes perigosos, com muita exatidão e rapidez.

1.1 Enquadramento

O trabalho realizado no âmbito desta dissertação decorreu no Laboratório de Automação e Robótica do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da ESTGV. Neste laboratório existem vários equipamentos que pretendem demonstrar diversas tecnologias utilizadas na indústria, onde se inclui a maquete e o robô utilizados neste trabalho. A maquete pretende demonstrar a seleção de peças de acordo com as suas características físicas e o respetivo encaminhamento numa linha de produção com a colaboração de um robô manipulador industrial. Neste trabalho a seleção de peças faz-se recorrendo a um conjunto de sensores que deteta a natureza metálica e não metálica das peças.

1.2 Objetivos

O objetivo final do trabalho é a programação de uma maquete controlada por um PLC (também conhecido como autómato programável), através do TIA Portal. Pretende-se também com a descrição deste trabalho, que uma pessoa minimamente credenciada na área de Engenharia Mecânica ou Engenharia Eletrotécnica, que não tenha um conhecimento aprofundado do funcionamento de um autómato ou de um robô, adquira

algumas noções fundamentais que lhe permitam depois desenvolver um trabalho nesta área de automação.

O objetivo deste trabalho subdivide-se em duas partes:

- Saber programar todos os equipamentos existentes na maquete, utilizando o TIA Portal para programar o autómato e uma HMI (*Human Machine Interface*). O autómato é o controlador do funcionamento da maquete e a HMI permite a interação com o utilizador;
- Trabalhar com o robô industrial, dominando a linguagem de programação RAPID, desenvolvendo as rotinas necessárias para a separação das peças metálicas das não metálicas e proceder à respetiva paletização.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos e seis anexos. O trabalho de desenvolvimento é descrito nos capítulos 3, 4 e 5 e a divisão adotada para estes capítulos visou a distribuição uniforme dos trabalhos e o acompanhamento mais próximo dos orientadores.

Neste capítulo introdutório apresenta-se o enquadramento e os objetivos do trabalho, bem como a estrutura da dissertação.

No capítulo 2, designado como robôs, autómatos e a sua evolução, faz-se um resumo da evolução tecnológica dos últimos 300 anos enunciando o começo da primeira Revolução Industrial, segunda e terceira até à indústria 4.0. Os tipos de automação, assim como, a sua evolução ao longo do tempo, a criação do primeiro robô, bem como a evolução da robótica e os tipos de robôs utilizados atualmente na indústria.

No capítulo 3, designado como robótica industrial, abordam-se os aspetos relacionados com a programação do robô industrial utilizado. Nomeadamente, são referidas as suas características técnicas, a sua composição e as ferramentas utilizadas para a sua programação, quer em ambiente virtual (ambiente de simulação), quer em ambiente real. São aí apresentados e descritos os programas desenvolvidos para a realização dos movimentos propostos (tarefas especificadas). São também referidos os procedimentos de calibração adotados para garantir o posicionamento rigoroso do robô.

No capítulo 4, designado como equipamento utilizado, descrevem-se os constituintes da maquete, onde se incluem:

- i) o quadro elétrico (que alberga os seus dispositivos de proteção e de comando);
- ii) o circuito eletropneumático de acionamento dos cilindros de elevação e de translação de peças entre tapetes;
- iii) o circuito elétrico de comando dos tapetes;
- iv) a consola de interface homem-máquina.

No capítulo 5, designado por programação do autómato e HMI, descrevem-se os procedimentos utilizados na programação do autómato por recurso ao software do fabricante TIA Portal. Nestes se incluem a escolha do módulo (autómato) e da carta de expansão de entradas e saídas digitais utilizada e do tipo de comunicação utilizado pelo autómato; A escolha das variáveis de entrada, de saída, de memória e do sistema utilizadas para implementação do algoritmo de controlo; A estruturação em dois ciclos de trabalho distintos, sob a forma de *grafcet*, do funcionamento do sistema da maquete; A definição do *layout* da consola de interface Homem-máquina e sua programação, para que o utilizador conheça (em tempo real) o estado dos sensores e atuadores do sistema. A HMI é também programada para possibilitar o comando manual (dos atuadores individualmente) ou automático (em ciclo) do sistema. Ainda é programada a consola para apresentação de um conjunto de dados estatísticos (tempos de ciclo e número de operações) para posterior avaliação da eficiência do sistema.

O capítulo 6, designado por conclusão, apresenta a conclusão, onde é feita a confrontação dos objetivos propostos e alcançados, se o trabalho corresponde às expectativas e pontos que podem ser melhorados e eventualmente trabalhos que possam ser acrescentados.

2. ROBÔS, AUTÓMATOS E A SUA EVOLUÇÃO

Neste capítulo iremos abordar a evolução tecnológica dos últimos 300 anos e faremos uma breve descrição dos tipos de automação e robôs utilizados na indústria.

2.1 Breve introdução histórica

A Primeira Revolução da história da humanidade ocorreu há cerca de 10000 anos na mesopotâmia o atual Iraque e foi a Revolução Agrícola, o homem passou em vez de praticar a economia recolectora, caçar animais e colher frutos silvestres, passou a praticar a agricultura, a domesticar animais e a utilizar animais para carga e trabalhos pesados, o boi ou o cavalo passaram a puxar o arado. O homem passou a fazer criação de animais para consumo alimentar, a agricultura nomeadamente o cultivo de cereais como o trigo e o centeio permitiu ao homem produzir alimentos e armazená-los podendo guardar esses alimentos em silos, armazéns ou celeiros, prevenindo-se assim de anos de colheitas menos boas. Assim não havia mais necessidade de o homem ser nómada, passou a ser sedentário.

No Século XVIII, na Inglaterra, houve uma Revolução Agrícola que aconteceu a par da Revolução Industrial, o crescimento da população teve de ser acompanhado pelo aperfeiçoamento das ferramentas agrícolas e pelo aumento da produção agrícola, os arados passaram a ser produzidos em ferro. Em 1701 Jethro Tull inventou a máquina de semear que ajudava os agricultores a semear em filas direitas de modo que nenhuma semente se perdia, mais tarde Tull inventou uma montadeira puxada por cavalos que soltava a terra e arrancava as ervas daninhas, tanto a sementeira como a monda poderiam agora ser feitas à máquina.

No final do século XVII e início do século XVIII, introduziram-se as máquinas a vapor inicialmente para drenar a água das minas. O poder do vapor foi aproveitado pela primeira vez numa bomba de drenagem por Thomas Savery (1650-1715), que a patenteou em 1698, mas com poder limitado. O seu funcionamento baseia-se no princípio fundamental de que a água aquecida produz vapor, 1500 vezes mais volumoso. Quando o vapor arrefece e condensa novamente na forma de água, reduz dramaticamente o volume ocupado e gera um vácuo parcial. Este vácuo, por sua vez, cria a energia de sucção, que pode ser utilizada para puxar a água. Em termos científicos, descobriu-se que

o peso da atmosfera externa, com sua pressão mais alta do que o vácuo na máquina, cria uma força que pode ser usada para mover algo de um lugar para outro, elevando a água do fundo da mina para a superfície.

Thomas Newcomen aperfeiçoou a máquina a vapor de Thomas Savery introduzindo balanceiros e correntes, o princípio era o mesmo, mas introduziu um pistão como mecanismo, porém desperdiçava-se calor porque o cilindro era constantemente arrefecido durante o fluxo de água fria e quente, o condensador estava diretamente ligado ao cilindro, como o cilindro estava sempre a perder temperatura, gastava muito carvão.

James Watt, ao consertar a máquina a vapor de Newcomen, separou o condensador do cilindro, o cilindro ficaria sempre quente e o condensador sempre frio. Passou-se a ter o êmbolo impelido pelo vapor e quando o vapor condensava, transformava-se em água. A máquina de James Watt consumia cerca de um terço do carvão a gerar a mesma quantidade de trabalho comparando com a máquina de Newcomen. A figura 1 apresenta o mecanismo da máquina a vapor [1].

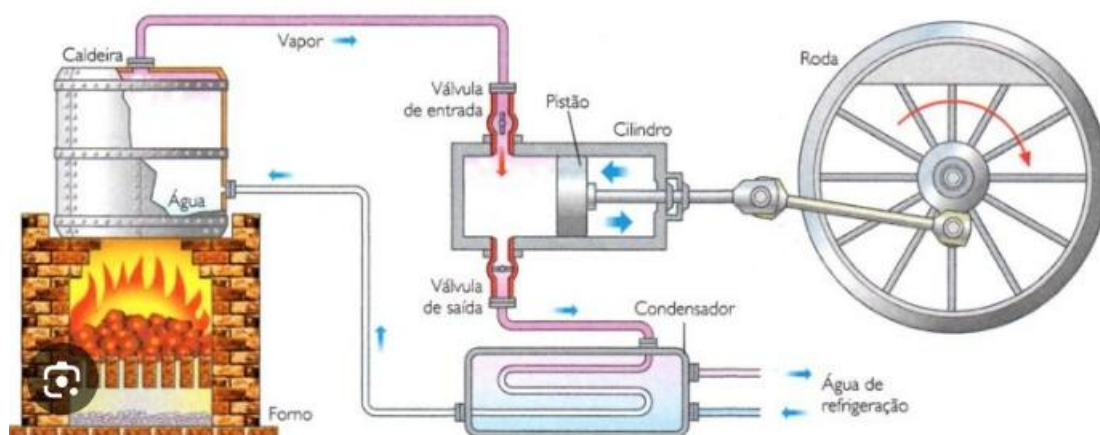
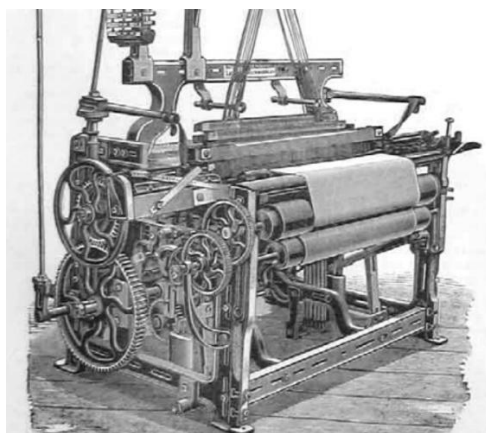
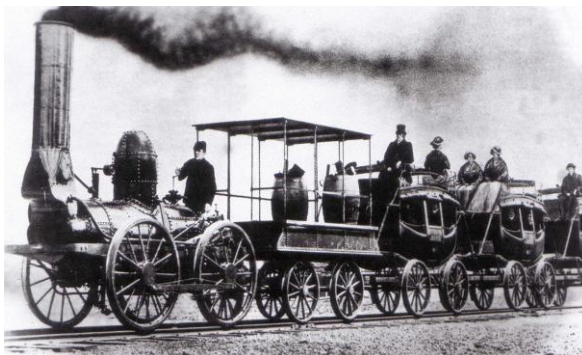


Figura 1: Máquina a vapor.

No século XIX, a máquina a vapor foi implantada nos transportes (barcos e locomotivas a vapor), e na indústria têxtil os teares mecânicos. O tear mecânico a vapor, permitiu automatizar as tarefas relativamente ao tear manual, ainda que supervisionado pelo ser humano e isso passou a ser uma realidade na Inglaterra. Construiu-se muita linha férrea inicialmente na Inglaterra e logo a seguir em toda a Europa ocidental e nos Estados Unidos. A figura 2 a) apresenta o tear mecânico e a figura 2 b) apresenta a locomotiva a vapor [2] e [3].



a)



b)

Figura 2: a) Tear mecânico. b) Locomotiva a vapor.

A figura 3 apresenta o barco a vapor [4].



Figura 3: Barco a vapor.

Também no século XIX, começou-se a explorar o fenómeno físico da eletricidade e como desenvolver trabalho a partir da energia elétrica. A lâmpada foi inventada por Thomas Edison e a corrente contínua também. A pilha ou bateria também foi aperfeiçoada no século XIX, transformando energia química em eletricidade.

Nicola Tesla inventou a corrente alternada. Um gerador de corrente alternada tem que ter uma força motriz, que gera movimento num rotor em que circula eletricidade nas espiras do material condutor do rotor criando um campo magnético que é gerado inversamente à força eletromotriz que lhe dá origem. Envolvendo o rotor, está um estator que é um íman com polaridades opostas em que o sentido da corrente se inverte alternadamente quando o rotor roda no interior do estator, gerando corrente alternada. O rotor tem ligadas umas escovas que permitem ligar aos dispositivos alimentados a eletricidade. A corrente alternada passou a ser difundida na indústria para grandes distâncias porque permitia ter grandes transformadores elevadores de tensão de forma a minimizar a corrente no transporte de energia e assim a energia dissipada nos cabos elétricos, dando assim lugar à 2ª Fase da Revolução Industrial. Na figura 4 apresento um gerador de corrente alternada [5].

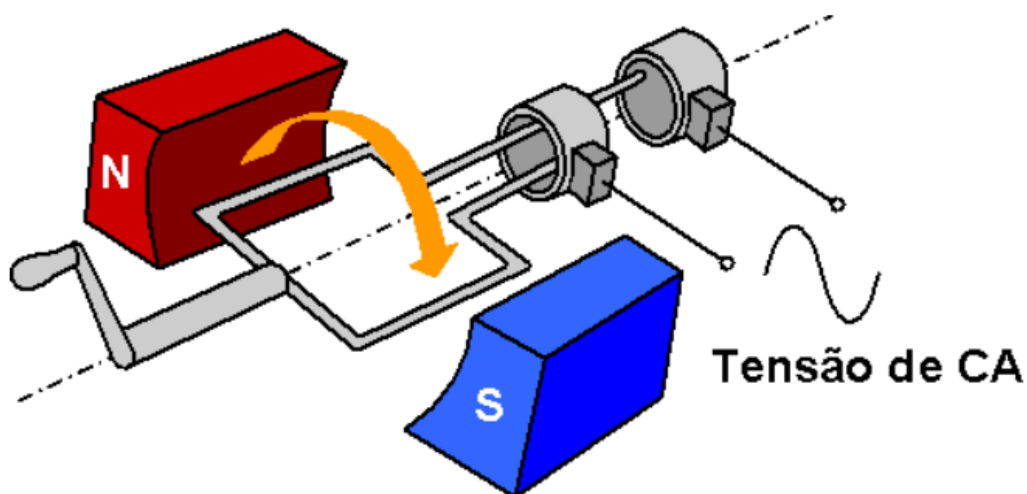


Figura 4: Gerador de corrente alternada.

Nicola Tesla também inventou a comunicação sem fios, a partir de ondas de rádio, porém foi Marconi que implantou essa ideia. A invenção de Tesla abriu caminho para a internet e internet wireless fortemente implantada na Indústria 4.0. A figura 5 mostra o Senhor Nicola Tesla [6].

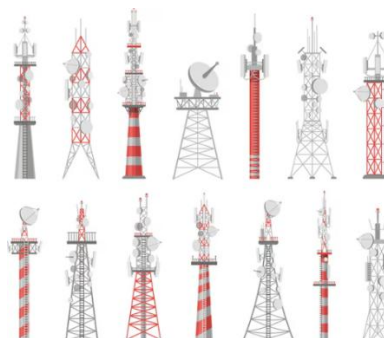


Figura 5: O inventor, Engenheiro e Físico Nicola Tesla.

A figura 6 a) apresenta Marconi com as comunicações de rádio [6] e a figura 6 b) apresenta os tipos de antenas utilizadas [7].



a)



b)

Figura 6: a) Marconi e as comunicações de rádio. b) Tipos de antenas.

O carro elétrico foi inventado no século XIX. O motor Otto de combustão interna também foi inventado no século XIX. No mesmo século foi aberto o canal do Suez no Egito, permitindo que o tráfego marítimo passasse a ser feito da Ásia passando pelo Mar Vermelho até ao Mediterrâneo e vice-versa, encurtando de forma significativa as distâncias das rotas comerciais. No início do Século XX, foi inventado o avião pelos irmãos Wright. Henry Ford inventou a linha de produção em série, dividindo as tarefas diferentes ao longo das fases do processo produtivo, permitindo poupar esforços de adaptação ao mudar as tarefas e dar lugar à automatização. O automóvel ficou acessível a cada vez mais pessoas. Grandes obras foram feitas no início do século XX, foi aberto o

Canal do Panamá pelos Estados Unidos, fazendo passar mercadorias entre o Oceano Atlântico e Pacífico e vice-versa. Foram feitas cada vez mais estradas nos países desenvolvidos e assim a circulação de pessoas e mercadorias passou a ser cada vez maior, obrigando a indústria a desenvolver máquinas cada vez mais capazes de dar resposta ao consumo da população. O petróleo passou a ser a fonte de energia mais difundida no mundo para produção de energia, muitos poços de petróleo passaram a ser explorados. A figura 7 apresenta uma linha de montagem de Henry Ford no início do século XX [9].

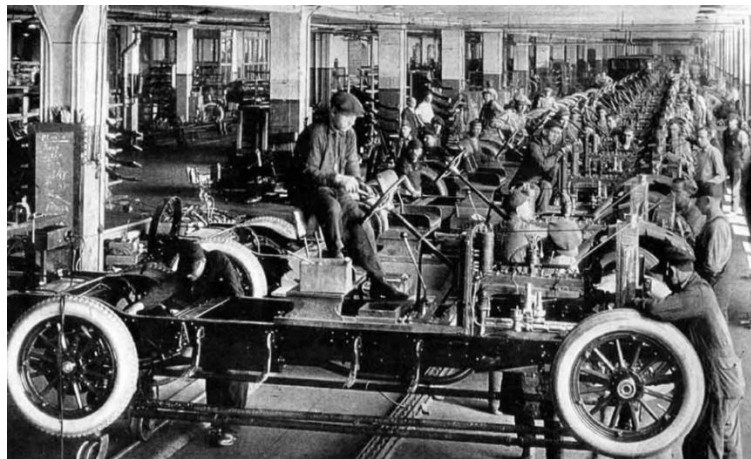


Figura 7: Linha de montagem de Henry Ford, produção em série.

Na década de 50 a 70, foram feitos aperfeiçoamentos nos semicondutores, o primeiro transistor foi inventado em 1947. O computador, embora inventado na década de 40, foi aperfeiçoado na década de 50, e seguintes. O transistor foi largamente difundido na década de 70 até aos dias de hoje, permitindo criar aparelhos de tamanho cada vez mais reduzido. Também na década de 70 foi inventado o primeiro computador pessoal.

A Terceira Revolução Industrial surgiu com a implementação da informação, da computação e da comunicação na década de 50. A primeira fresadora NC (*Numerical Control*), foi inventada na década de 50 e consiste num controlador numérico ligado a uma fresadora. O programa da NC poderia ser alterado para produzir peças diferentes e as ferramentas poderiam ser trocadas de forma automática. O programa é armazenado numa fita magnética (ou cartão perfurado) que é lido à medida que a máquina executa as instruções [10].

A figura 8 a), apresenta o computador ENIAC [11] e a 8 b) apresenta uma fresadora NC [12].



Figura 8: a) Computador ENIAC. b) Fresadora NC.

Na década de 80, 90 e no início do século XXI, a internet foi tomando cada vez mais força, o ciclo de vida do produto foi ficando cada vez mais curto e a automação teve de ficar cada vez mais flexível.

Esta evolução não resultou apenas de avanços tecnológicos nos equipamentos, mas também de uma mudança de paradigma a que se chamou indústria 4.0 [13].

A Indústria 4.0 foi implementada em 2011 na Alemanha e consiste na agregação e comunicação de todos os elementos da cadeia produtiva via internet, em que matérias primas, máquinas, computadores, autômatos programáveis sensores externos, ligados aos autômatos, robôs e tudo o que implica estar ligado ao processo produtivo, comuniquem e interajam de forma autônoma para produzir autonomamente. Pessoas altamente qualificadas podem acompanhar e monitorizar o processo em tempo real e a inteligência artificial está também envolvida na cadeia produtiva.

A figura 9 ilustra a evolução da Indústria [14].

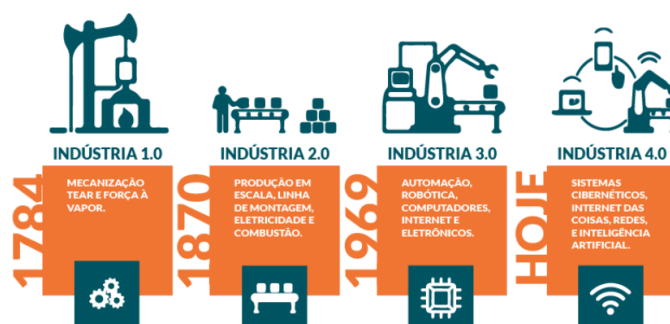


Figura 9: Percurso evolutivo da Indústria.

2.2 Autômato e lógica cablada

Na lógica cablada, o funcionamento do automatismo é determinado pelo modo como são ligados os elementos constituintes do sistema: relés, temporizadores, portas lógicas, etc. A figura 10 apresenta um sistema pneumático [15].

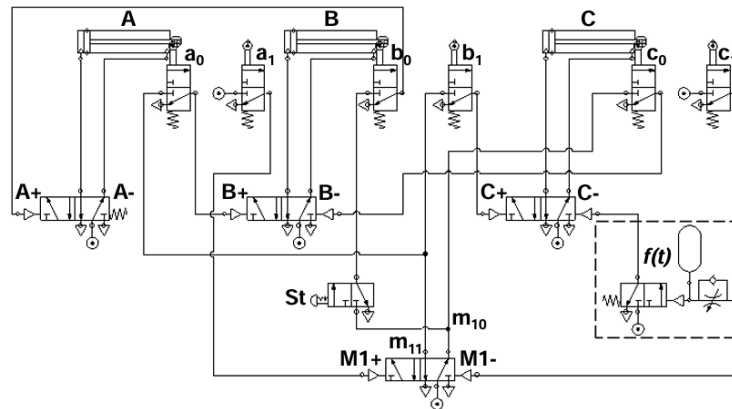


Figura 10: Sistema pneumático.

Na lógica cablada a modificação do funcionamento de um automatismo implica [15]:

- Modificação física do circuito existente, com provável necessidade de inserção de novos elementos;
- Paragem do automatismo em causa e consequentemente do processo de fabrico que lhe está associado;
- O tempo necessário para reformulação de um automatismo pode ser considerável;
- Custo final considerável.

A figura 11 apresenta um cilindro pneumático controlado por uma válvula 5/2 biestável. Por sua vez, esta válvula é controlada por uma válvula AND, através de duas válvulas 3/2 monoestáveis. O temporizador, constituído por uma válvula monoestável, um reservatório de ar e uma válvula anti-retorno reguladora de caudal, acionado pelo sensor a1 [15].

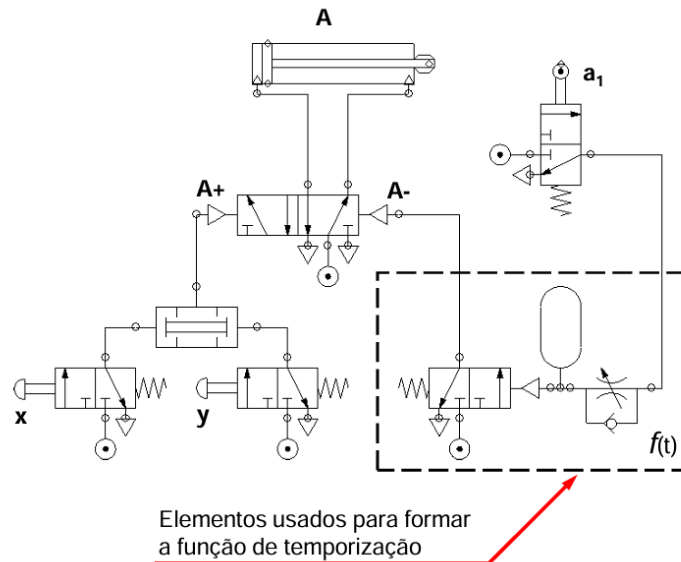


Figura 11: Circuito pneumático com temporizador.

Na figura 12 a) é possível visualizarmos a arquitetura do autómato e da figura 12 b) o funcionamento do autómato [15].

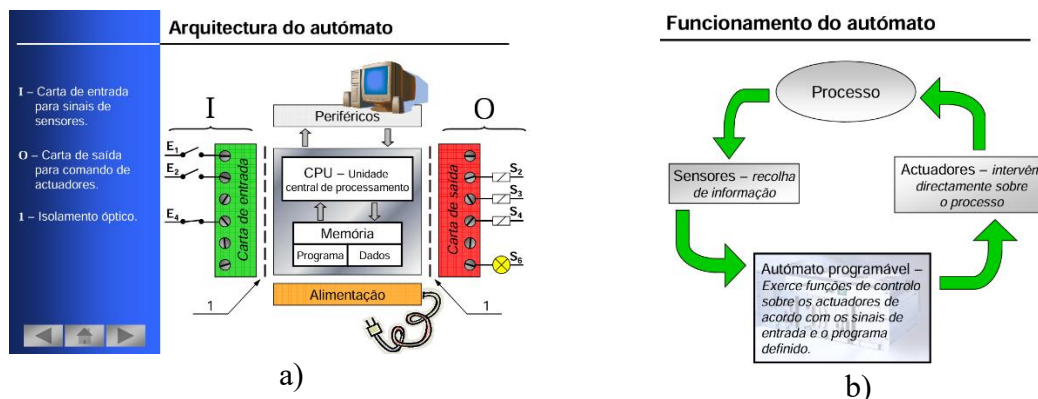


Figura 12: a) Arquitetura do autómato. b) Funcionamento do autómato.

Vantagens da utilização do autómato na Indústria [15]:

- Menor número de componentes. O autómato reúne uma série de funções e características, que apenas seriam alcançáveis por uma grande quantidade de outros dispositivos;

- Menor tempo de montagem. As ligações necessárias para operar o autômato resumem-se à alimentação do autômato, ligação de sensores e de atuadores e eventualmente ligação à rede;
- Menor necessidade de espaço. Uma vez que as funções de comando se encontram concentradas num único elemento existe uma menor ocupação de espaço;
- Maior fiabilidade. Existindo um menor número de elementos a fiabilidade do automatismo aumenta;
- Versatilidade. O programa de comando do automatismo é uma sequência de instruções que podem ser facilmente alteradas;
- Manutenção facilitada. A existência de sinalizadores na face do autômato permite verificar a existência de sinais elétricos nas entradas e nas saídas.

Desvantagens da utilização de autômatos na Indústria [15]:

- O custo dos equipamentos e a contratação de Capital Humano altamente qualificados exigem um investimento muito grande às Empresas.

2.3 Tipos de automação

A figura 13 demonstra que a automação rígida é baseada numa linha de produção projetada para fabricar um produto específico. Possui altas taxas de produção e inflexibilidade do equipamento para acomodar a variedade de produção. Na automação programável, o equipamento de produção é projetado com a possibilidade de modificar a sequência de operações para seguir diferentes configurações do produto, sendo controlado por um programa que é interpretado pelo sistema. Vários programas podem ser usados para fabricar novos produtos. Esse tipo de automação é usado quando o volume de produção de cada item é baixo. A automação flexível é a combinação da automação programável e da automação rígida [16].

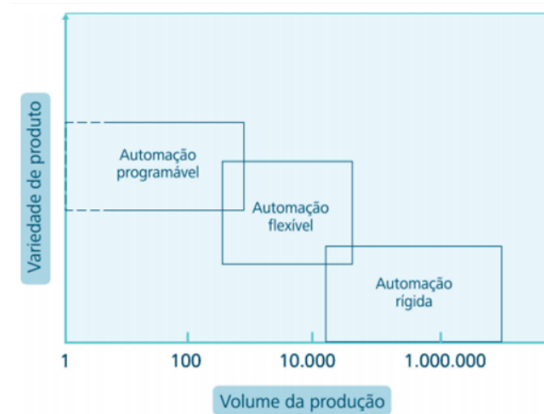


Figura 13: Tipos de Automação.

2.4 A invenção do robô

O termo robô foi inventado em 1921 pelo checo Karel Capek, na peça "R.U.R." (Rossum's Universal Robot) e significa servidão ou trabalhador forçado [10].

O primeiro robô industrial foi o *Unimate*, criado por George Devol e instalado numa fábrica da Ford Motor Company em 1961. Permitia transportar cargas pesadas de um lado para o outro e permitiu automatizar processos melhorando o desempenho da linha de produção aumentando a cadência para o dobro de unidades produzidas num dia [17]. A figura 14 apresenta o robô Unimate [18].

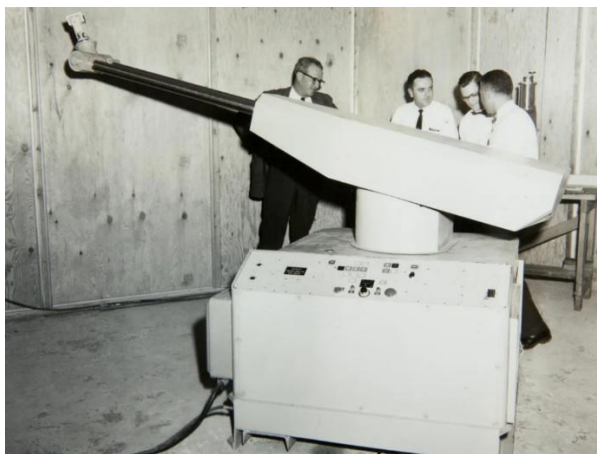


Figura 14: *Unimate* o primeiro robô industrial.

A seguir será feita uma breve descrição dos tipos de robôs móveis atualmente existentes na indústria. Os robôs móveis podem mover-se a duas ou 3 dimensões, daremos a seguir alguns exemplos destes tipos de robôs.

O AGV (Automated Guide Vehicle) é um veículo que transporta cargas leves ou pesadas de um lado para o outro do armazém, orientado por uma banda marcada no chão. Esses robôs aumentam a eficiência na gestão de stocks. A figura 15 apresenta vários AGV a movimentarem-se em contexto industrial [19].



Figura 15: AGV- *Automated Guide Vehicle*.

A figura 16 apresenta o veículo *Autonomous mobile robots* (AMR) que é uma evolução do veículo AGV pois não precisa de bandas magnéticas no chão para se orientar, mas sim de um sistema de GPS local [20].



Figura 16: AMR - *Autonomous mobile robots*.

A seguir apresenta-se um conjunto de vantagens dos AMR [20]:

- Autônomos: navegam livremente, orientam-se pela utilização de mapas virtuais do seu âmbito operacional, não estão sujeitos a trajetos predefinidos ou a circuitos de navegação fechados;
- Inteligentes: os seus movimentos ajustam-se a cada tarefa e seguem as rotas geradas por um software de navegação integrado em cada robô que calcula o percurso mais eficiente. Detetam e evitam qualquer tipo de obstáculo, fixo ou em movimento, reajustam o seu percurso em tempo real;
- Flexíveis: adaptam-se perfeitamente ao *layout* do armazém e não é necessário fazer alterações estruturais. A sua colocação em funcionamento é fácil e rápida;
- Escaláveis: a frota pode ser facilmente ampliada com a inclusão de novos robôs para se ajustar ao crescimento operacional da empresa ou a picos sazonais de procura;

- Eficientes: um software de gestão de frotas monitoriza o tráfego dos robôs e antecipa as suas trajetórias para atribuir cada tarefa ao AMR adequado;
- Precisos: executam as suas tarefas com absoluta precisão, o que ajuda a reduzir significativamente os erros e a melhorar a eficiência do armazém;
- Seguros: operam de modo seguro em ambientes de grande complexidade que envolvem pessoas, mercadorias, sistemas de armazenagem e outras máquinas. Uma série de sensores e scanners anticollisão altamente precisos proporcionam estabilidade e fiabilidade a cada um de seus movimentos;
- Fornecedor integral: os AMR da Mecalux contam com o apoio de uma empresa líder no setor de soluções intralogísticas, com vasta experiência mundial no desenvolvimento e implementação de sistemas de armazenamento automáticos e ferramentas de software para gerir armazéns.

A figura 17 apresenta um drone submarino para estudos oceanográficos. Este tipo de drones tem uma aplicação enorme na exploração submarina e no âmbito da biologia marinha [21].

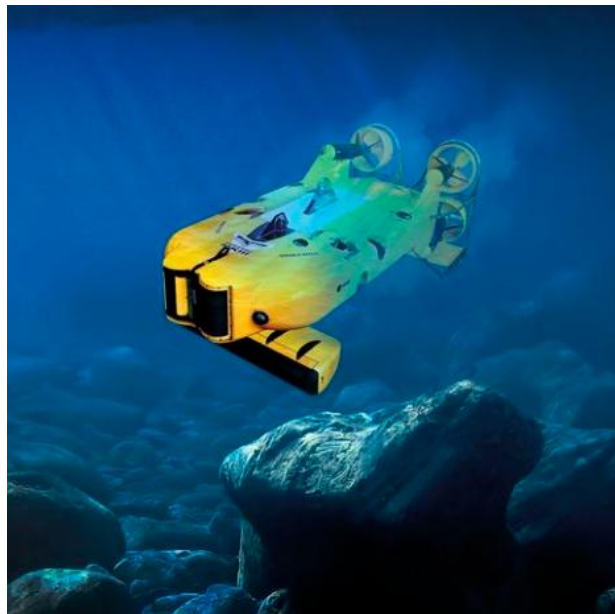


Figura 17: Drone submarino para estudos oceanográficos.

A figura 18 apresenta um veículo aéreo não tripulado ou drone [22]. Este tipo de drone é utilizado na área militar para reconhecimento do terreno.



Figura 18: Veículo aéreo não tripulado.

A figura 19 mostra um robô humanóide. A área da robótica humanóide tem evoluído muito nos últimos anos, sendo uma área muito promissora num futuro próximo [23].



Figura 19: Robô humanóide.

A figura 20 mostra uma linha de soldadura na indústria automóvel, utilizando vários robôs industriais em série [24].

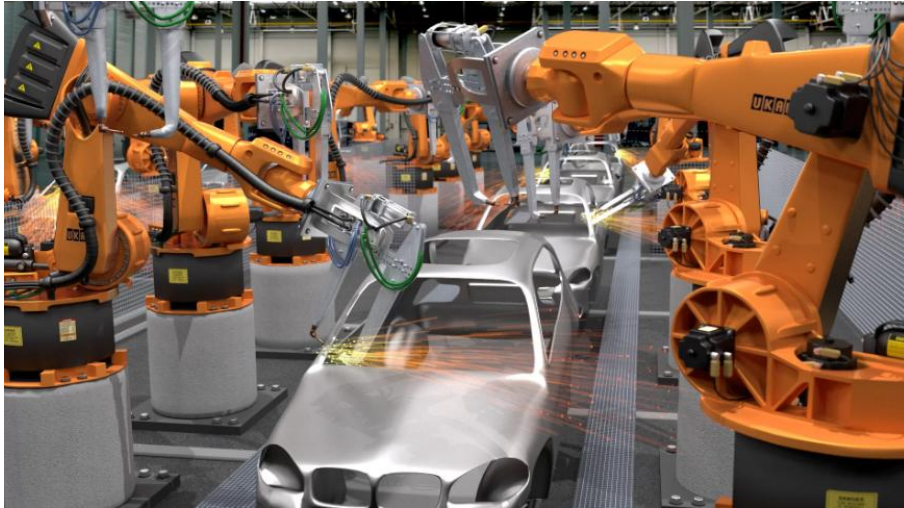


Figura 20: Robôs industriais de soldadura automática na indústria automóvel.

A figura 21 mostra um robô colaborativo [25]. Este tipo de robôs são uma tecnologia relativamente recente na indústria, tendo um campo de aplicação muito grande. Estes robôs são concebidos para trabalhar ao lado de pessoas, uma vez que têm um binário muito reduzido. Ao contrário dos robôs industriais tradicionais, semelhantes aos apresentados na figura 20, estes não necessitam de sistemas de segurança uma vez que não representam qualquer perigo para o operador humano.



Figura 21: Robô colaborativo.

A seguir faz-se uma breve descrição de algumas áreas de aplicação de robôs [10]:

- Na exploração submarina robôs a trabalharem debaixo de água a grandes profundidades;
- Na exploração espacial, como por exemplo o robô *Pathfinder* enviado para o planeta Marte;
- Robôs capazes de trabalhar a altas temperaturas, como por exemplo robôs utilizados na exploração do interior de vulcões;
- Ambientes radioativos robôs utilizados na inspeção do interior de reatores atômicos (robôs teleoperados).

Robôs utilizados em serviços de apoio médico:

- Fornecimento de comida, bebidas, medicação, transporte de relatórios e exames médicos,
- Transporte de resíduos biológicos;
- Robôs utilizados em cirurgias feitas à distância com um médico cirurgião no comando.

Robôs utilizados na limpeza de áreas e superfícies:

- Supermercados, fábricas, aeroportos, entre outros;
- Limpeza de vidros, coberturas.

Robôs utilizados para fins militares:

- Veículos de reconhecimento;
- Desminagem (deteção e desativação de minas).

3. ROBÓTICA INDUSTRIAL

O objeto do meu trabalho no que diz respeito à parte da robótica, incide sobre um robô industrial, é um tipo de robô antropomórfico. A figura 22 apresenta a relação entre a anatomia do ser humano e o robô antropomórfico. Poderemos ver de baixo para cima, começa pela base, seguidamente pela articulação do ombro, a seguir do cotovelo, punho, mão e dedos. A seguir, está uma definição de robô industrial [10].

“Um robô industrial é um manipulador programável multifuncional capaz de manusear materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais através de movimentos programados para a realização de uma variável de tarefas.” [10]

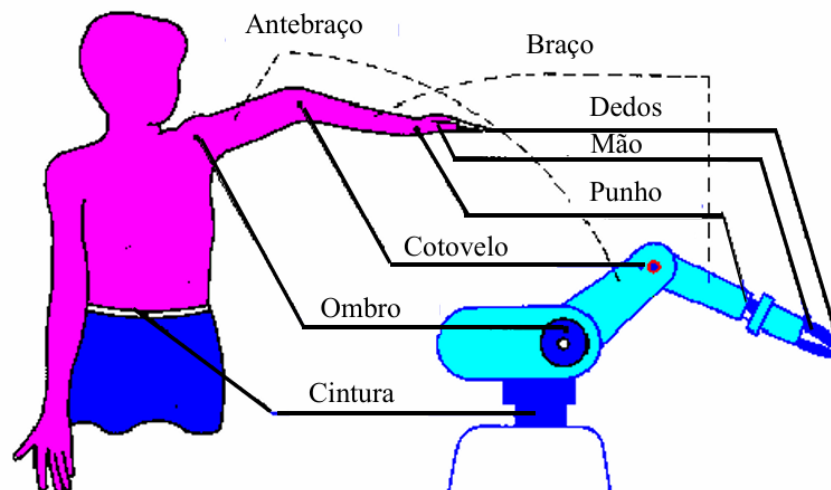


Figura 22: Relação entre a anatomia do ser humano com o robô.

3.1 Características dinâmicas do robô industrial

As características dinâmicas do robô descrevem basicamente a sua performance em termos de rapidez com que o manipulador se move, da sua capacidade de paragem e posicionamento num dado ponto. A seguir apresentamos as referidas características dinâmicas de um robô industrial [10]:

- Exatidão, é a capacidade do robô atingir um determinado ponto pelas suas coordenadas;
- Repetibilidade (ou precisão), é a capacidade do robô atingir sempre o mesmo ponto;

- Resolução, distância mínima que o robô é capaz de percorrer.

A figura 23 apresenta de forma visual o conceito de exatidão e repetibilidade, podendo existir boa exatidão e má repetibilidade e vice-versa, ou ambas as características serem boas ou más [10]. O conceito da resolução, está relacionado com os sensores internos do robô, como *encoders* ou *resolvers* e tem a ver com a amplitude de movimento mínima que o robô é capaz de realizar.

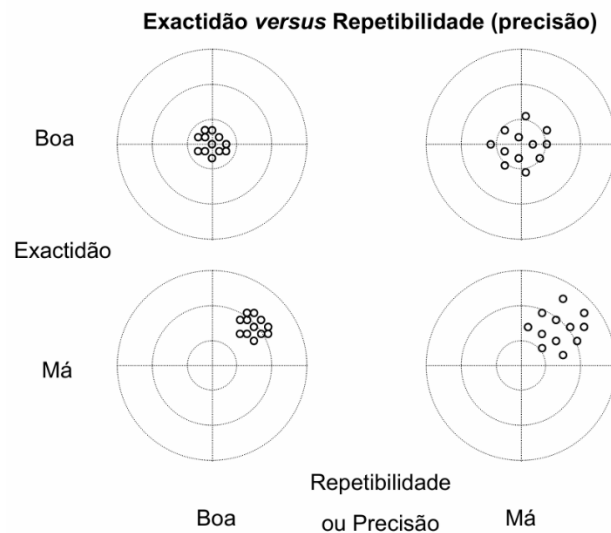


Figura 23: Conceito de Exatidão Vs. Repetibilidade.

3.2 Carga e volume de trabalho

A carga e o volume de trabalho são fatores importantes na escolha de um robô para certas aplicações industriais, pois o alcance de determinados pontos e a capacidade do robô manipular determinadas cargas sem prejudicar as suas características físicas, estáticas ou a sua fiabilidade dependem desses requisitos.

O Volume de trabalho é toda a região espacial onde o braço do robô pode posicionar o seu punho (onde é acoplada a ferramenta), ou acessível pelo seu braço [10].

O robô utilizado neste trabalho é o robô ABB IRB 1600-6/1.45. A figura 24 mostra o volume de trabalho desse robô [26] e [27].

Working range, IRB 1600-6/1.45, IRB 1600-10/1.45

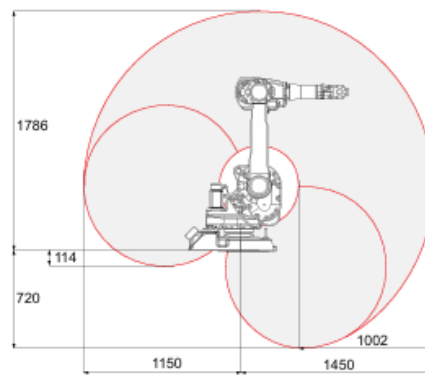


Figura 24: Volume de Trabalho do Robô.

3.3 Condições para o robô operar

Para o robô operar são precisas várias condições, tem que ter energia elétrica na fonte de alimentação, o robô industrial tem que ter uma consola e um controlador e deverão estar ligados a um computador, claro que terá que existir um ou mais programadores. O robô industrial, a consola e o computador têm de estar ligados ao controlador. A figura 25 apresenta um robô industrial, a respetiva consola de programação e o computador utilizado na programação do robô.



a)



b)



c)

Figura 25: Imagem de todos os equipamentos.

a) Robô e controlador. b) Consola. c) Computador.

3.4 Movimentação do robô no espaço, sensores internos e externos

Na robótica industrial os sensores são classificados em sensores internos e externos. Os sensores externos são todos aqueles que ficam fora do robô, tendo como função enviar ao robô sinais da envolvente exterior, funcionando como sentidos do robô. Os sensores internos são todos os sensores que ficam dentro do robô, sendo estes da responsabilidade do fabricante de cada robô. Como exemplo, os robôs da ABB utilizam *resolvers* como sensores internos em todas as juntas. A seguir, são apresentados alguns dos sensores (internos/externos) utilizados em projetos de robótica industrial:

- *Encoders* e *resolvers*, são utilizados para conhecer a posição angular de cada junta do robô;
- Taquímetros e acelerómetros, permitem medir a velocidade e aceleração em cada junta.

Os sensores externos permitem conhecer o meio externo que rodeia o robô, obtendo informações do meio externo no qual o robô trabalha. Os sensores externos podem estar relacionados com:

- Tato (microinterruptores, sensor tátil, sensor de deformação, extensómetros);
- Força (células de carga);
- Sensores de visão (visão bidimensional usada no controlo de qualidade e visão tridimensional que calcula a forma do objeto e a distância e prevê colisões);
- Sensores pneumáticos (sentem a presença da peça pela pressão medida), Temperatura, Proximidade (indutivos e capacitivos);
- Sensores óticos (presença ou ausência de objetos; emissor de luz infravermelhos mais célula fotovoltaica).

Os sensores internos determinam os valores dos ângulos ou posições de cada uma das juntas, por exemplo: os *resolvers*, usados nos robôs ABB. Os codificadores Incrementais (*Incremental Encoders*) são usados no Robô Scorbót ER VII, que se encontra no laboratório de robótica e automação da ESTGV [10].

3.5 Atuadores do robô e tipos de juntas

Os atuadores do robô, funcionam como sendo os músculos do robô, são dispositivos que convertem energia elétrica, pneumática ou hidráulica em energia mecânica. Os atuadores podem ser lineares ou rotativos. Os atuadores podem ser do tipo hidráulicos, pneumáticos ou elétricos. A figura 26 a) mostra uma junta de rotação, a posição da junta é definida por um ângulo, a figura 26 b) mostra que a junta de translação é definida por um comprimento [10].



Figura 26: Tipos de juntas. a) Junta de rotação. b) Junta de translação.

3.6 Juntas e graus de liberdade do robô

Os graus de liberdade do robô, correspondem ao número de movimentos independentes que o robô é capaz de fazer em relação ao sistema de eixos coordenados.

A figura 27 a) apresenta as juntas θ_1 , θ_2 e θ_3 , cada uma diz respeito à rotação da cintura, rotação do ombro e rotação do cotovelo respectivamente, em analogia ao corpo humano [10]. Estas 3 juntas permitem posicionar o punho do robô em qualquer ponto do volume de trabalho. A figura 27 b) apresenta a configuração das juntas respeitantes ao punho, estas juntas permitem orientar o punho do robô [10].

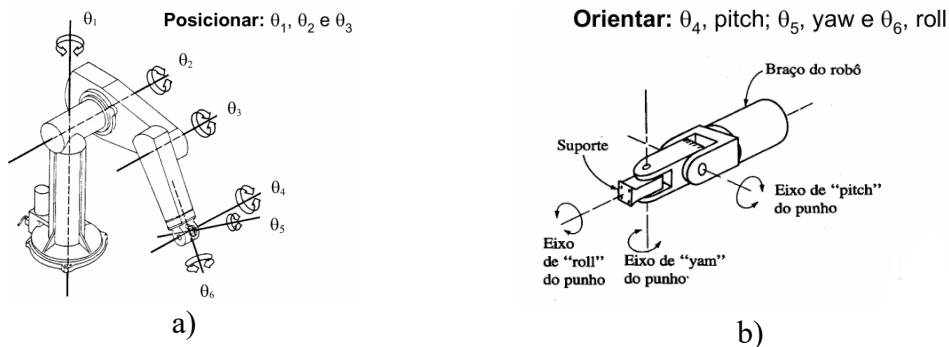


Figura 27: Juntas do robô. a) Grupo de juntas (cintura, ombro e cotovelo). b) Grupo de juntas do punho (roll-pitch-yaw).

A figura 28 a) mostra a vista geral do robô utilizado neste trabalho. A figura 28 b) mostra a ferramenta de trabalho ou *End effector*, na terminologia anglo-saxónica. Esta ferramenta é constituída por um suporte de alumínio em “L” e uma ventosa na ponta. Esta ventosa pneumática permite o transporte de peças do tapete para as caixas, sendo controlada por uma saída digital do robô. Esta saída digital é acionada pelo robô, quando o sensor no final do tapete deteta a peça, faz vácuo durante o transporte para as caixas e deixa de fazer vácuo quando larga as peças nas caixas.



a)

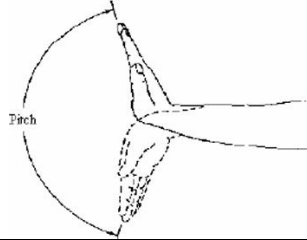
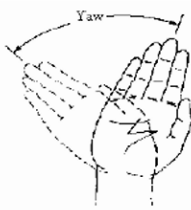


b)

Figura 28: Vista do Robô e “End Effector”. a) Vista geral do Robô. b) Ferramenta de Trabalho (*End effector*).

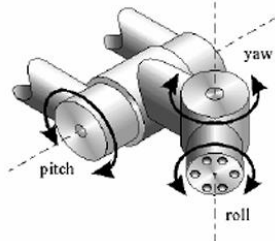
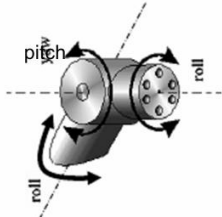
A Tabela 1 apresenta o detalhe do tipo de movimento do punho do robô, respeitantes às juntas θ_4 (*Pitch*), θ_5 (*Yaw*) e θ_6 (*Roll*) [10].

Tabela 1: Pormenor do movimento das juntas do punho do robô.

<i>Pitch</i> – Movimentação do punho para cima e para baixo	
<i>Yaw</i> – Rotação do punho para a esquerda e para a direita	
<i>Roll</i> – Rotação do punho em torno do braço	

A tabela 2 apresenta com detalhe os tipos de configuração do punho dos robôs manipuladores presentes na indústria [10]. O robô utilizado no trabalho possui um punho esférico (θ_4 – *roll*, θ_5 – *pitch*, θ_6 – *roll*).

Tabela 2: Tipos de configurações do punho do robô.

<i>pitch</i> - <i>yaw</i> - <i>roll</i> (YXZ) - Movimento idêntico ao punho humano	
<i>roll</i> – <i>pitch</i> – <i>roll</i> (ZXZ) – Punho esférico mais utilizado em robótica industrial.	

A Tabela 3 mostra as características principais do robô da ABB IRB1600-6/1.45, utilizado neste projeto [26] e [27].

Tabela 3: Características do Robô ABB IRB 1600-6/1.45.

Características	ABB IRB 1600-6/1.45
Graus de liberdade	6
Punho esférico	$\theta_4 = roll$, $\theta_5 = pitch$, $\theta_6 = roll$
Alcance máximo	1.45 m
Capacidade de carga máxima	6 kg
Repetibilidade	$\pm 0,05 \text{ mm}$

3.7 Algoritmo de programação do robô

Na figura 29 é possível visualizar a identificação do aluno que desenvolveu o trabalho, e todas as variáveis que dizem respeito ao programa do robô, que foram mais tarde utilizadas nas rotinas. Também é possível visualizar os parâmetros da ferramenta utilizada pelo robô, bem como os pontos de aproximação às peças metálicas e não metálicas, os pontos onde se pegam as peças metálicas e não metálicas, assim como as variáveis utilizadas para contabilizar o número de peças metálicas e não metálicas.

```

MODULE Proj_Alex
*****
**      Mestrado em Engenharia Eletrotécnica      **
*****
**      Dissertação      **
**      Alexandre Moutinho Brito Nº 9095      **
*****
**      Trabalho desenvolvido no robô IRB 1600      **
*****
****      Aulas 2025      ***
*****

PERS tooldata toolVentosa:=[TRUE,[[0,0,215],[1,0,0,0]],[5,[85,0,85],[1,0,0,0],0.012,0.012,0.012]];
CONST jointtarget home:=[[0,0,0,0,0,0],[9E+9,9E+9,9E+9,9E+9,9E+9,9E+9]];
CONST robtarget pPegaPecaNaoMetalica:=[[1260.88,-90.95,548.48],[0.0388541,0.00247767,0.999236,-0.00352267],[-1,-1,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget pLargaPecaMetalica:=[[1260.88,137.99,546.48],[0.0388556,0.0024815,0.999236,-0.00352299],[0,-1,0,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget pLargaPecaNaoMetalica:=[[924.71,-600.43,518.90],[0.00569117,-0.0016947,0.999965,-0.00593552],[-1,-1,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
CONST robtarget pLargaPecaMetalica:=[[924.71,-800.58,518.90],[0.038856,0.00247461,0.999236,-0.00352212],[-1,0,-1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

!Offs para o Robô aproximar-se das pecas
VAR robtarget pApxPegaPecaNaoMetalica;
VAR robtarget pApxLargaPecaNaoMetalica;
VAR robtarget pLargaPecaNaoMetalica_Var;
VAR robtarget pApxPegaPecaMetalicaNChoque;

VAR robtarget pApxPegaPecaMetalica;
VAR robtarget pApxLargaPecaMetalica;
VAR robtarget pLargaPecaMetalica_Var;
VAR robtarget pApxPegaPecaMetalicaNChoque;

VAR num nPecasNaoMetalica:=1;
VAR num nPecasMetalica:=1;
VAR num nNaoMetalica:=0;
VAR num nMetalica:=0;
VAR index file;

```

Figura 29: Cabeçalho do programa do robô.

A figura 30 mostra a condição “IF”, para que as peças não metálicas sejam arrumadas na caixa correspondente. Na primeira linha aciona a instrução “MoveAbsJ” e move-se a uma velocidade de 1000 mm/s. Existe um tempo de espera de 0,3 segundos e esta rotina só é executada se for ativada a entrada “DI11_7=1”, no qual o autômato comunica ao robô que a peça não metálica já se encontra no tapete 3 e que a pode ir buscar. De notar que o ponto “pLargaPecaNaoMetalica” tem um incremento no eixo dos XX de 60 em 60 mm executado pelo *offset*, enquanto que a altura do ponto no eixo dos ZZ mantém-se constante, com um valor de 160 mm.

A condição “IF (nPecasNaoMetalica <=3) THEN” significa que da primeira à terceira peça, o ponto onde as peças vão ser largadas é o mesmo. As peças serão guardadas em colunas de 3, perfazendo um total de 15 peças por caixa.

É muito importante notar que quando o robô vai pegar nas peças não metálicas no tapete 3, os pontos de aproximação e de pegar as peças mantêm-se constantes.

```

!*****
! ***** Programa principal *****
!*****
PROC main()
!03-07-2025

MoveAbsJ home\NoE0ffs,v1000,fine,tooIVentosa;

WaitTime 0.3;
IF DI11_7=1 THEN !!Verifica se o tapete tem peça não metálica
  IF (nPecasNaoMetalica <=3) THEN
    pLargaPecaNaoMetalica_Var:=pLargaPecaNaoMetalica;
    pApLargaPecaNaoMetalica:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasNaoMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasNaoMetalica>=4 AND nPecasNaoMetalica<=6) THEN
    pLargaPecaNaoMetalica_Var:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica,-60,0,0);
    pApLargaPecaNaoMetalica:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasNaoMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasNaoMetalica>=7 AND nPecasNaoMetalica<=9) THEN
    pLargaPecaNaoMetalica_Var:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica,-120,0,0);
    pApLargaPecaNaoMetalica:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasNaoMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasNaoMetalica>=10 AND nPecasNaoMetalica<=12) THEN
    pLargaPecaNaoMetalica_Var:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica,-180,0,0);
    pApLargaPecaNaoMetalica:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasNaoMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasNaoMetalica>=13 AND nPecasNaoMetalica<=15) THEN
    pLargaPecaNaoMetalica_Var:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica,-240,0,0);
    pApLargaPecaNaoMetalica:=Offs(pLargaPecaNaoMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasNaoMetalica;
  ENDIF
  nPecasNaoMetalica:=nPecasNaoMetalica+1;
  rRegPecasNaoMetal;
ENDIF

```

Figura 30: Código utilizado para as peças não metálicas serem arrumadas na caixa.

A figura 31 apresenta a condição “IF” para que as peças metálicas sejam arrumadas na caixa correspondente. Na primeira linha é executada a instrução “MoveAbsJ” e o robô move-se a uma velocidade de 1000 mm/s. Existe um tempo de espera de 0,3 segundos e esta rotina só é executada se for ativada a entrada “DI11_6=1”, no qual o autômato comunica ao robô que a peça metálica já se encontra no tapete 2 e que a pode ir buscar. De notar que o “pLargaPecaMetalica”, tem um incremento no eixo dos XX de 60 em 60 mm executado pelo *offset*, enquanto que a altura do ponto no eixo dos ZZ mantém-se constante, com um valor de 160 mm.

A condição “IF (nPecasMetalica <=3) THEN” significa que da primeira à terceira peça, o ponto onde essas peças vão ser largadas é o mesmo. As peças serão guardadas em colunas de 3, perfazendo um total de 15 peças por caixa.

É muito importante notar que quando o robô vai pegar as peças metálicas ao tapete 2, os pontos de aproximação e de pegar as peças mantêm-se constantes.

```
WaitTime 0.3;
IF DI11_6=1 THEN !!Verifica se o tapete tem peça metálica
  IF (nPecasMetalica <=3) THEN
    pLargaPecaMetalica_Var:=pLargaPecaMetalica;
    pApxLargaPecaMetalica:=Qffs(pLargaPecaMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasMetalica>=4 AND nPecasMetalica<=6) THEN
    pLargaPecaMetalica_Var:=Qffs(pLargaPecaMetalica,-60,0,0);
    pApxLargaPecaMetalica:=Qffs(pLargaPecaMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasMetalica>=7 AND nPecasMetalica<=9) THEN
    pLargaPecaMetalica_Var:=Qffs(pLargaPecaMetalica,-120,0,0);
    pApxLargaPecaMetalica:=Qffs(pLargaPecaMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasMetalica>=10 AND nPecasMetalica<=12) THEN
    pLargaPecaMetalica_Var:=Qffs(pLargaPecaMetalica,-180,0,0);
    pApxLargaPecaMetalica:=Qffs(pLargaPecaMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasMetalica;
  ENDIF

  IF (nPecasMetalica>=13 AND nPecasMetalica<=15) THEN
    pLargaPecaMetalica_Var:=Qffs(pLargaPecaMetalica,-240,0,0);
    pApxLargaPecaMetalica:=Qffs(pLargaPecaMetalica_Var,0,0,160);

    rPecasMetalica;
  ENDIF
  nPecasMetalica:=nPecasMetalica+1;
  rRegPecasMetal;

ENDIF
ENDPROC
```

Figura 31: Código para as peças metálicas serem arrumadas na caixa.

A figura 32 apresenta as rotinas das peças metálicas e não metálicas em várias fases. A seguir, encontra-se uma pequena descrição das respectivas fases:

1. O robô vai do ponto da origem, a uma velocidade de 600 mm/s, até ao ponto de aproximação da peça metálica ou não metálica;
2. Do ponto de aproximação da peça (metálica ou não metálica), o robô movimentase para o ponto de pegar a peça (metálica ou não metálica) e de seguida é ativado o vácuo da ferramenta do robô para este pegar a peça;
3. Do ponto de pegar a peça (metálica ou não metálica), o robô retorna ao ponto de aproximação de pegar a peça (metálica ou não metálica);
4. Do ponto de aproximação de pegar a peça (metálica ou não metálica), o robô movimentase até ao ponto intermédio “pApXPegaPecaNaoMetalicaNChoque”, que é um ponto específico que o robô utiliza na sua trajetória para evitar colisões, neste caso é para as peças não metálicas. Para as peças metálicas o ponto utilizado é “pApXPegaPecaMetalicaNChoque”;
5. Do ponto intermédio de “não choque” o robô irá para o ponto de aproximação larga peça metálica ou não metálica;
6. Do ponto de aproximação larga peça metálica ou não metálica, vai para o ponto de largar a peça metálica ou não metálica e desliga o vácuo;
7. Do ponto de largar a peça metálica ou não metálica, irá para o ponto de aproximação larga peça metálica ou não metálica;
8. Finalmente, do ponto de aproximação de largar a peça metálica ou não metálica, o robô movimentase para o ponto de repouso.

```

! *****
! ***** Rotinas *****
! *****
PROC rPecasNaoMetalica()
  pApXPegaPecaNaoMetalica:=Offs(pPegaPecaNaoMetalica,0,0,50);
  pApXPegaPecaNaoMetalicaNChoque:=Offs(pPegaPecaNaoMetalica,-250,0,50);

  MoveJ pApXPegaPecaNaoMetalica,v600,z10,toolVentosa;
  MoveL pPegaPecaNaoMetalica,v200,fine,toolVentosa;
  rVacuoON;
  MoveL pApXPegaPecaNaoMetalica,v200,z10,toolVentosa;
  MoveL pApXPegaPecaNaoMetalicaNChoque,v200,z10,toolVentosa;
  MoveJ pApXLargaPecaNaoMetalica,v1000,z10,toolVentosa;
  MoveL pLargaPecaNaoMetalica_Var,v200,fine,toolVentosa;
  rVacuoOFF;
  MoveL pApXLargaPecaNaoMetalica,v200,z10,toolVentosa;
  MoveAbsJ home\NoEOffs,v1000,fine,toolVentosa;
ENDPROC

PROC rPecasMetalica()
  pApXPegaPecaMetalica:=Offs(pPegaPecaMetalica,0,0,50);
  pApXPegaPecaMetalicaNChoque:=Offs(pPegaPecaMetalica,-250,0,50);

  MoveJ pApXPegaPecaMetalica,v600,z10,toolVentosa;
  MoveL pPegaPecaMetalica,v200,fine,toolVentosa;
  rVacuoON;
  MoveL pApXPegaPecaMetalica,v200,z10,toolVentosa;
  MoveL pApXPegaPecaMetalicaNChoque,v200,z10,toolVentosa;
  MoveJ pApXLargaPecaMetalica,v1000,z10,toolVentosa;
  MoveL pLargaPecaMetalica_Var,v200,fine,toolVentosa;
  rVacuoOFF;
  MoveL pApXLargaPecaMetalica,v200,z10,toolVentosa;
  MoveAbsJ home\NoEOffs,v1000,fine,toolVentosa;
ENDPROC

PROC rVacuoON()
  SetDO D010_1,1;
  WaitTime 1;
ENDPROC

PROC rVacuoOFF()
  SetDO D010_1,0;
  WaitTime 1;
ENDPROC

```

Figura 32: Rotinas das peças metálicas e não metálicas.

A figura 33 apresenta as trajetórias executadas pelo robô no software “RobotStudio” para colocar todas as peças metálicas e não metálicas nas caixas. De notar que são 5 colunas de 3 peças por caixa e ao longo do eixo dos XX, essas peças estão espaçadas umas das outras 60 mm, daí o *offset* ser 60 mm. Podemos também ver que os pontos de aproximação de pegar as peças metálicas e não metálicas, assim como os pontos de pegar as peças metálicas das não metálicas, são os mesmos. Os pontos de aproximação e de largar as peças metálicas e não metálicas, variam em *offsets* de 60 mm ao longo do eixo dos XX. Em todas as operações, no momento após as peças serem colocadas no local de destino, o robô volta sempre ao ponto de origem.

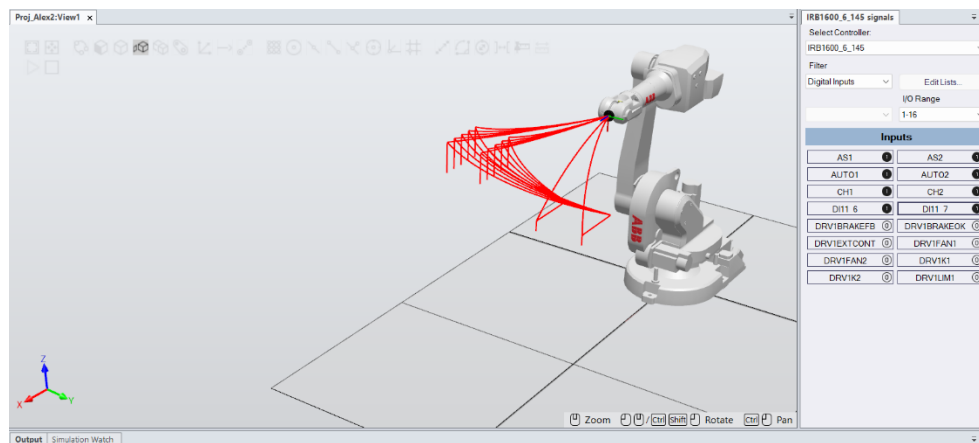


Figura 33: Trajetórias executadas pelo robô para colocar todas as peças metálicas e não metálicas nas caixas.

A figura 34 apresenta a opção que permite ao robô executar o programa em modo contínuo.

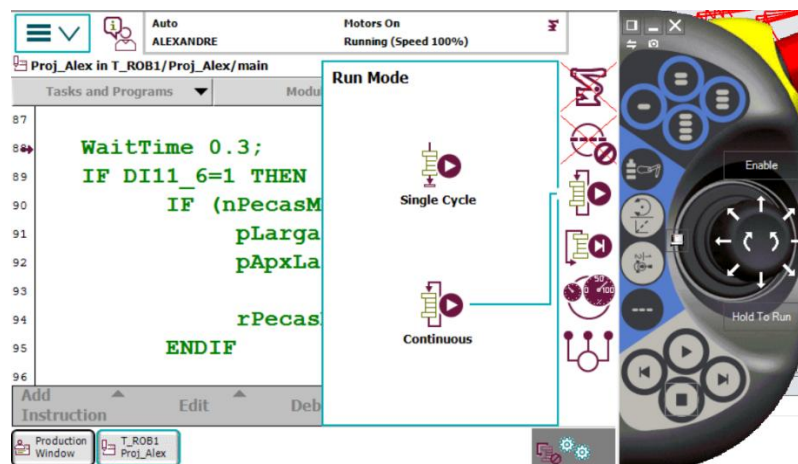


Figura 34: Acionamento do programa em modo contínuo.

O “B6” e “B7” apresentados na figura 35, são as entradas dos sensores fotoelétricos que se encontram no final dos tapetes 2 e 3, através da informação obtida por estes sensores que são enviadas as ordens ao robô, utilizando para isso as saídas “K4” e “K3”, respetivamente.

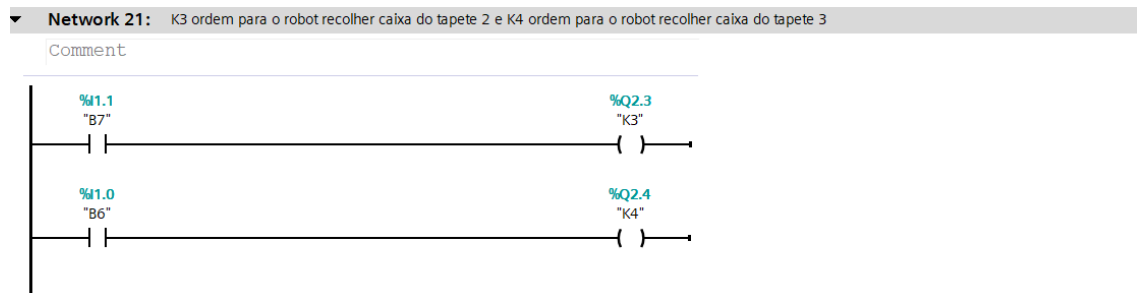


Figura 35: Entradas dos sensores fotoelétricos e saídas para o robô.

A figura 36 apresenta as entradas “DI11_6” e “DI11_7”, correspondentes aos sensores fotoelétricos que se encontram no final dos tapetes. Estas entradas apresentam o valor lógico 1, de forma a informarem o robô da presença de peças (não metálicas e metálicas) nos tapetes 3 e 2, respetivamente.

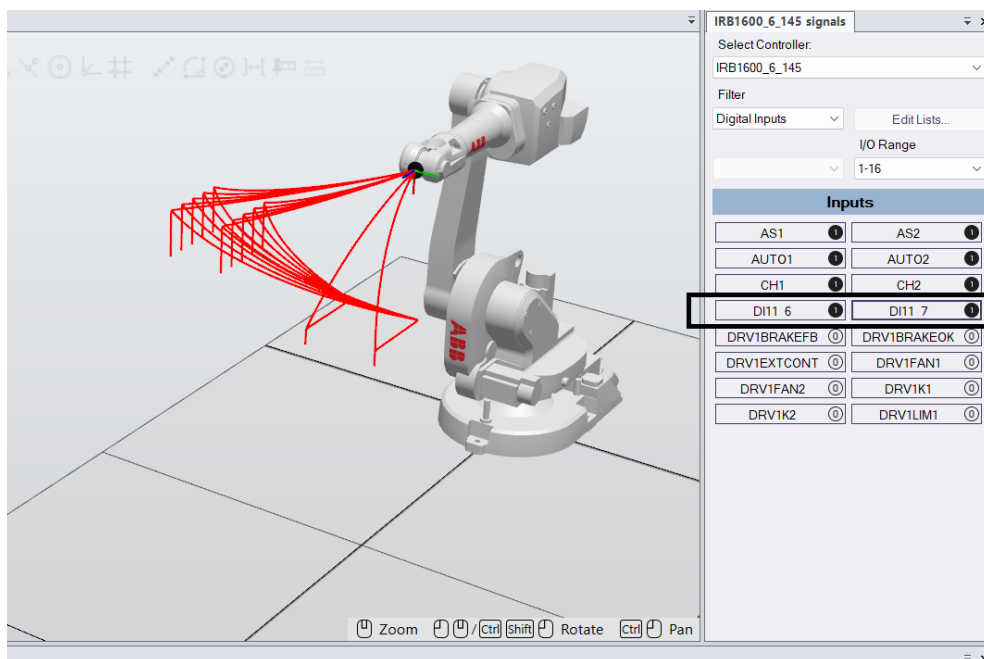


Figura 36: DI11_6 e DI11_7 com o valor lógico 1.

A figura 37 apresenta parte do programa do robô que tem a finalidade específica de registar em ficheiro a produção das peças. Para cada peça é registado em ficheiro o dia, a hora e o número de peça produzida.

```

!***** Rotina para registar pecas nao metalicas *****
!*****
PROC rRegPecasNaoMetal()
  nNaoMetalica:=nNaoMetalica+1;
  Open "home:\File:="Mestrado_Alex/PecasNaoMetalicas.txt",file\Append;
  IF nNaoMetalica=1 Write file,"===== PECAS NAO METALICAS =====";
  Write file,CDate()\NoNewLine;
  Write file," "NoNewLine;
  Write file,CTime()\NoNewLine;
  Write file," "NoNewLine;
  Write file,"Pecas Nao Metalicas: "Num:=nNaoMetalica;
  Close file;
ENDPROC

PROC rRegPecasMetal()
  nMetalica:=nMetalica+1;
  Open "home:\File:="Mestrado_Alex/PecasMetalicas.txt",file\Append;
  IF nMetalica=1 Write file,"===== PECAS METALICAS =====";
  Write file,CDate()\NoNewLine;
  Write file," "NoNewLine;
  Write file,CTime()\NoNewLine;
  Write file," "NoNewLine;
  Write file,"Pecas Metalicas: "Num:=nMetalica;
  Close file;
ENDPROC

```

Figura 37: Algoritmo do programa que regista em ficheiro a produção de peças.

A Figura 38 apresenta o registo em ficheiro da produção das peças, onde podemos observar a data, a hora e o número da peça produzida.

```

67 ===== PECAS METALICAS =====
68 2025-08-25 15:12:09 Pecas Metalicas: 1
69 2025-08-25 15:12:37 Pecas Metalicas: 2
70 2025-08-25 15:12:55 Pecas Metalicas: 3
71 2025-08-25 15:13:12 Pecas Metalicas: 4
72 2025-08-25 15:13:30 Pecas Metalicas: 5
73 2025-08-25 15:13:47 Pecas Metalicas: 6
74 2025-08-25 15:14:05 Pecas Metalicas: 7
75 2025-08-25 15:14:23 Pecas Metalicas: 8
76 2025-08-25 15:14:40 Pecas Metalicas: 9
77 2025-08-25 15:14:58 Pecas Metalicas: 10
78 2025-08-25 15:15:16 Pecas Metalicas: 11
79 2025-08-25 15:15:34 Pecas Metalicas: 12
80 2025-08-25 15:15:51 Pecas Metalicas: 13
81 2025-08-25 15:16:09 Pecas Metalicas: 14
82 2025-08-25 15:16:27 Pecas Metalicas: 15
83 2025-08-25 15:16:28 Pecas Metalicas: 16
84 2025-08-25 15:16:28 Pecas Metalicas: 17
85 2025-08-25 15:16:29 Pecas Metalicas: 18
86 2025-08-25 15:16:29 Pecas Metalicas: 19
87 2025-08-25 15:16:30 Pecas Metalicas: 20
88 2025-08-25 15:16:31 Pecas Metalicas: 21
89 2025-08-25 15:16:31 Pecas Metalicas: 22
90 2025-08-25 15:16:32 Pecas Metalicas: 23

```

Figura 38: Ficheiro de peças metálicas produzidas.

Para as peças não metálicas, foi também criado um ficheiro onde é registada a produção dessas peças.

3.8 Como modificar um ponto no robô

Para modificar um ponto, deveremos primeiramente ativar a opção manual na consola, depois ligar os motores, a seguir na linha de comandos seleciono a tecla *Forward* até chegar ao ponto que pretendemos, a seguir com o *Joystick* move-se o robô para onde se deseja e após se ajustar o ponto desejado, faz-se a seguinte sequência de operações: clica-se em *Modify Position*; *Modify*; *Debug*, *PP to Main* e finalmente seleciona-se *Yes*. A figura 39 apresenta uma parte do procedimento acabado de descrever.

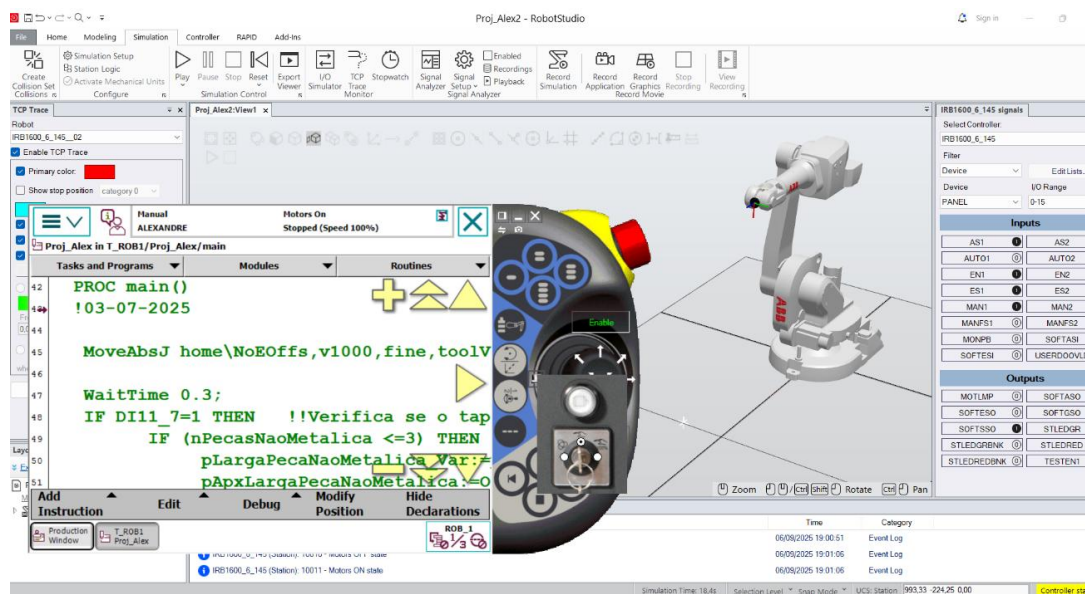


Figura 39: Opções para modificar Ponto.

A Tabela 4 apresenta os elementos que constam no painel da consola e a respetiva função que cada um tem.

Tabela 4: Figuras que apresentam os elementos da consola e a sua função.

Figura da Consola	Função
	Na figura ao lado é possível visualizar a opção manual onde se vê a mão, o botão branco que permite dar potência aos motores e o botão de homem morto “ <i>Enable</i> ”, este deve ser pressionado até ficar a verde.
	O círculo onde constam os números 1 e 2, servem para seleccionar as juntas do grupo 1 e do grupo 2. As juntas do grupo 1 são: θ_1 , θ_2 e θ_3 . As juntas do grupo 2 são θ_4 , θ_5 e θ_6 .
	<i>Joystick</i> para mudar a posição do ponto do robô.
	Tecla <i>Forward</i> .

A figura 40 apresenta a operação “*Modify Position*”, que permite fazer a alteração das coordenadas de um ponto.

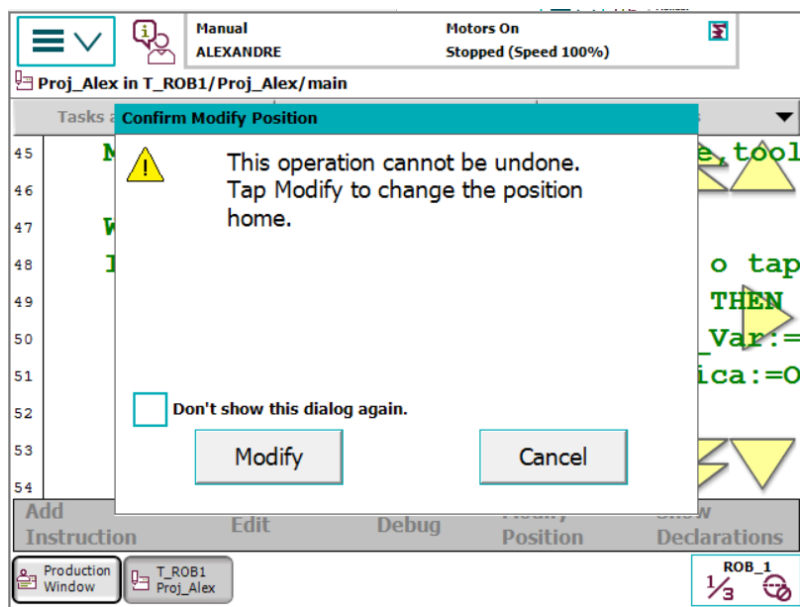


Figura 40: Operação Modify Position.

A figura 41 apresenta a operação “*PP to Main*”, que permite mover o ponteiro do programa para o “proc main”. Esta operação permite executar o programa do início.

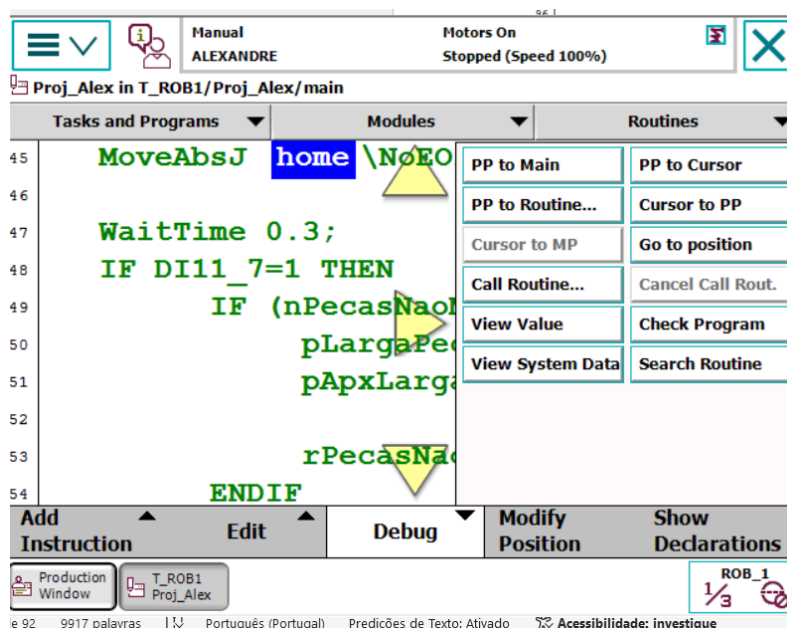


Figura 41: PP to Main.

3.9 Calibração do robô

O robô, por vezes em situações de falha de energia poderá ficar descalibrado nas juntas, pois a bateria poderá não estar em condições e por isso não permite que o robô faça o *backup* da posição das juntas a 0°. Assim, nesta situação, o ideal seria substituir por uma bateria nova, estando esta situada na parte inferior do robô.

Para se calibrar o robô é necessário executar os seguintes passos:

- Atualizar a data e a hora do robô;
- Ir à opção *jogging* e colocar todas as juntas nas respectivas marcas, de forma a ficarem todas a 0°;
- Atualizar o estado das juntas do robô.

A figura 42 apresenta o aviso do contador de rotações se encontra desatualizado, sendo necessário calibrar o robô.

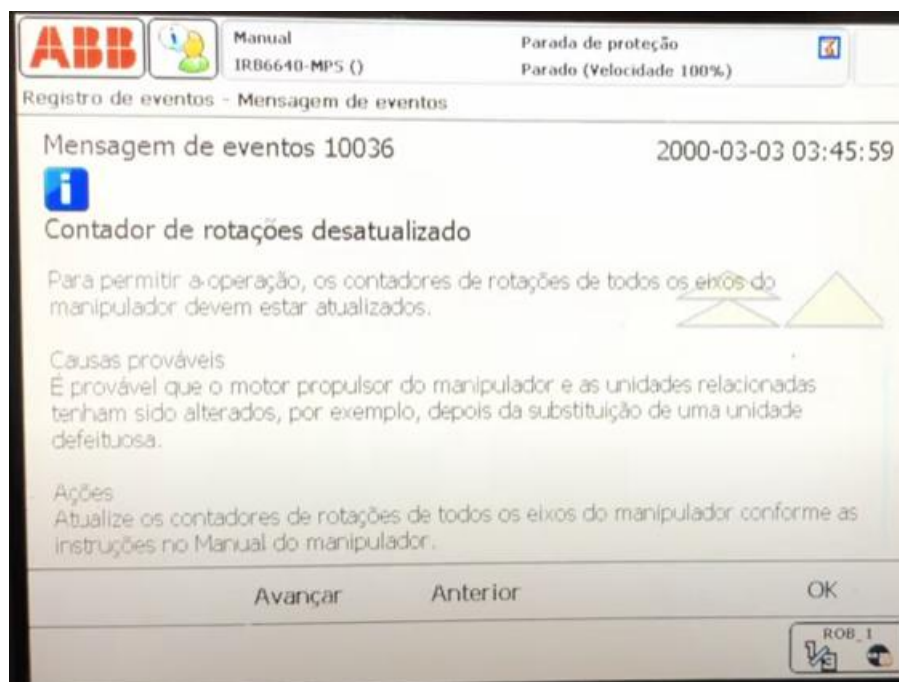


Figura 42: Aviso do contador de rotações desatualizado.

A seguir vamos fazer uma descrição dos procedimentos necessários à calibração das juntas do robô. A figura 43 apresenta o “Painel de Controlo” que permite aceder a todas as opções de forma a calibrarmos as juntas do robô.

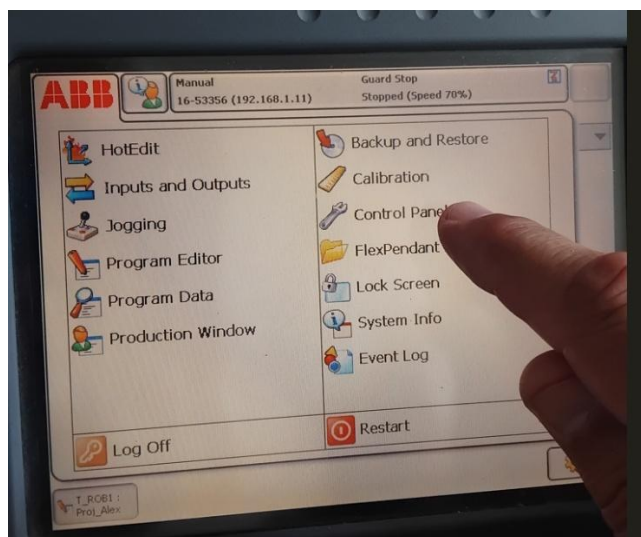


Figura 43: Painel de Controlo.

A figura 44 apresenta todas as juntas do robô estão descalibradas, “Revolution counters not updated”, sendo desta forma necessário proceder à sua calibração.

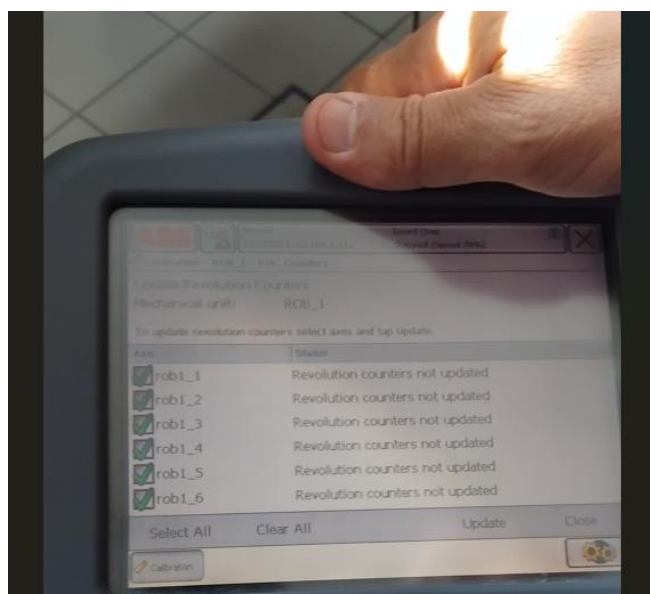


Figura 44: Juntas descalibradas.

A figura 45 apresenta a opção “Update Revolution Counters” utilizada para fazer a calibração das juntas do robô.

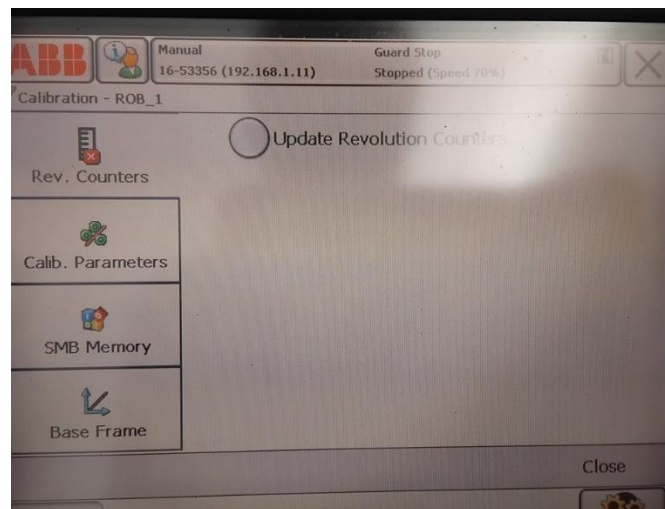


Figura 45: Atualização do contador de rotações.

A figura 46 apresenta todas as juntas do robô a 0°, significando isto que o robô está calibrado.

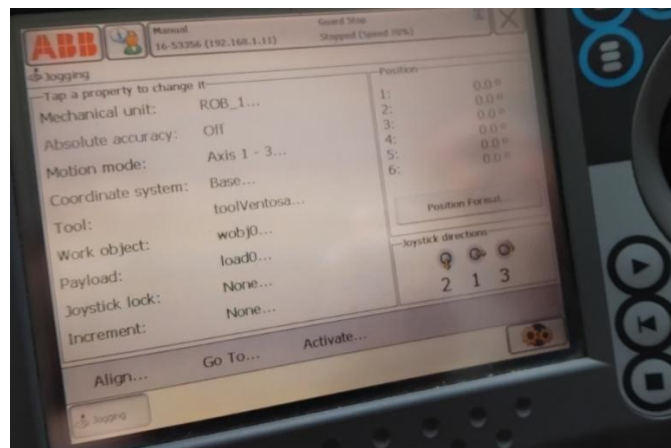
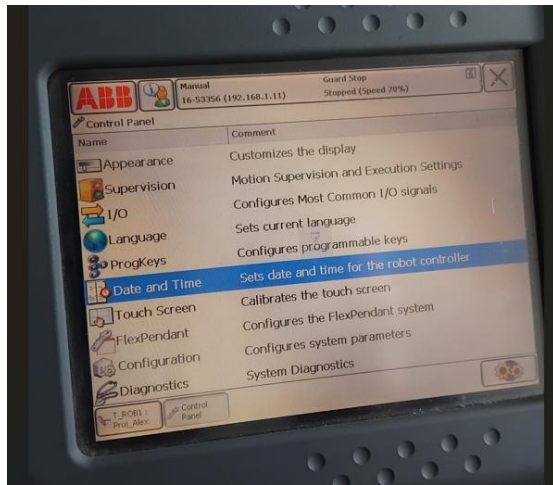


Figura 46: Visualização de todas as juntas do robô a 0°.

A figura 47 apresenta o “Painel de Controlo”, onde é possível fazer o acerto da data 47 a) e da hora 47 b).



a)



b)

Figura 47: Acerto da data e da hora.

- a) Acesso à data e hora no painel de controlo.
- b) Acerto da data e hora.

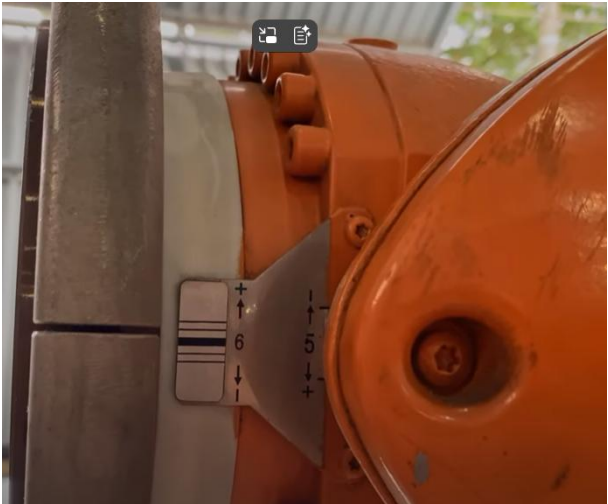
Após ir ao “Painel de Controlo” e depois escolher a opção “*jogging*”, é necessário colocar as juntas do robô nas respetivas marcas. A tabela 5 apresenta as marcas físicas das juntas θ_1 , θ_2 e θ_3 .

Tabela 5: Marcas físicas das juntas da base (θ_1), do ombro (θ_2), e do cotovelo (θ_3).

<i>Marca física da junta da base (θ_1)</i>	
<i>Marca física da junta do ombro (θ_2)</i>	
<i>Marca física da junta do cotovelo (θ_3)</i>	

A tabela 6 apresenta as imagens correspondentes à calibração das juntas θ_4 , θ_5 e θ_6 , correspondentes às juntas do punho esférico.

Tabela 6: Marcas físicas das juntas *roll* (θ_4), *pitch* (θ_5) e *roll* (θ_6).

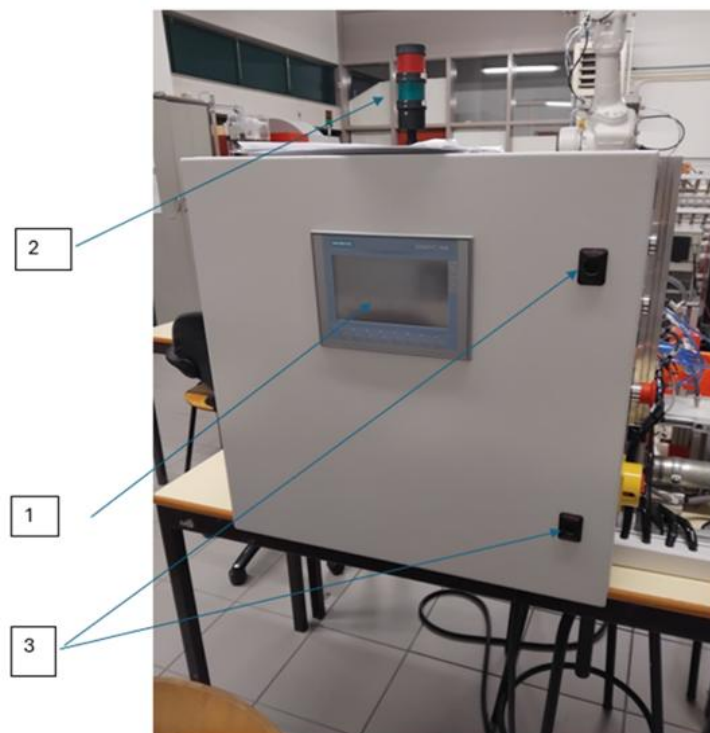
Marca física da junta θ_4 , <i>roll</i>	
Marca física da junta θ_5 , <i>pitch</i>	
Marca física da junta θ_6 , <i>roll</i>	

4. EQUIPAMENTO UTILIZADO

Como referido anteriormente, o trabalho desenvolvido é no âmbito da Automação e da Robótica. Neste âmbito, utilizou-se uma maquete e um robô. A maquete é constituída pelos seguintes equipamentos: um quadro elétrico, uma estrutura de alumínio, motores elétricos para mover os tapetes, de modo que as peças sejam transportadas, um sistema pneumático, com vários cilindros, sensores indutivos e capacitivos para detetar peças metálicas e não metálicas, tem uns escorregões que encaminham os diferentes tipos de peças para os respetivos tapetes e uns sensores óticos nos extremos destes tapetes que indicam se a zona de saída das peças da maquete está ou não preenchida.

Existem também cortinas de luz de proteção que funcionam como barreiras de segurança. Estas barreiras quando intersectadas por uma pessoa, a máquina pára o ciclo de trabalho. Temos também um robô que retirará as peças dos tapetes e as levará para o local final.

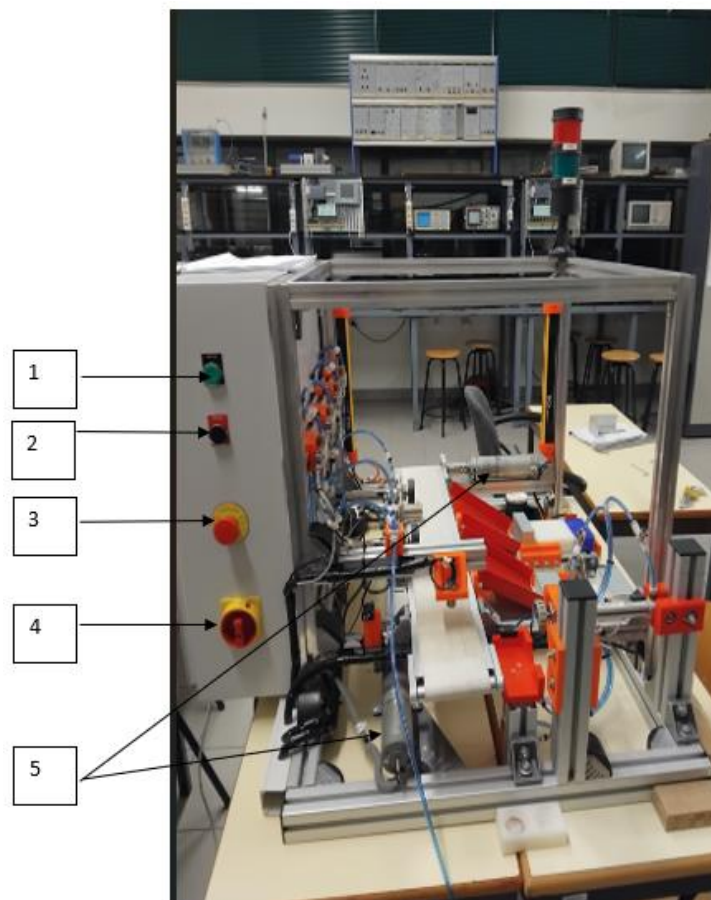
A figura 48 apresenta a parte frontal do quadro elétrico com as respetivas legendas.



- 1- Consola HMI (Human Machine Interface);
- 2- Baliza de Sinalização;
- 3- Fechaduras do Quadro Elétrico.

Figura 48: Exterior do Quadro Elétrico com legendas.

A figura 49 apresenta a parte lateral do quadro elétrico com os botões de comando marcha e paragem, assim como o interruptor de emergência e de corte geral, bem como uma vista geral da maquete.



- 1- Interruptor de marcha
- 2- Interruptor de paragem
- 3- Botão de paragem de emergência
- 4- Interruptor de segurança da máquina
- 5- Motores dos tapetes

Figura 49: Quadro elétrico com os diversos botões de comando, paragem e de segurança, bem como os motores que acionam os tapetes transportadores.

4.1 Identificação dos componentes do quadro elétrico:

A figura 50 apresenta o interior do quadro elétrico. Na parte superior do quadro elétrico podemos ver os contactores, a tomada, fonte de alimentação, relé e bornes de ligação do circuito de potência. Na parte central estão os autômatos da Siemens: do lado esquerdo está o autômato S7-200 e do lado direito o autômato S7-1200.

A platina suporta todos os componentes. Na parte inferior do quadro elétrico temos os bornes de ligação do circuito de comando. Para esclarecer tudo com mais detalhe a figura 50 está legendada.

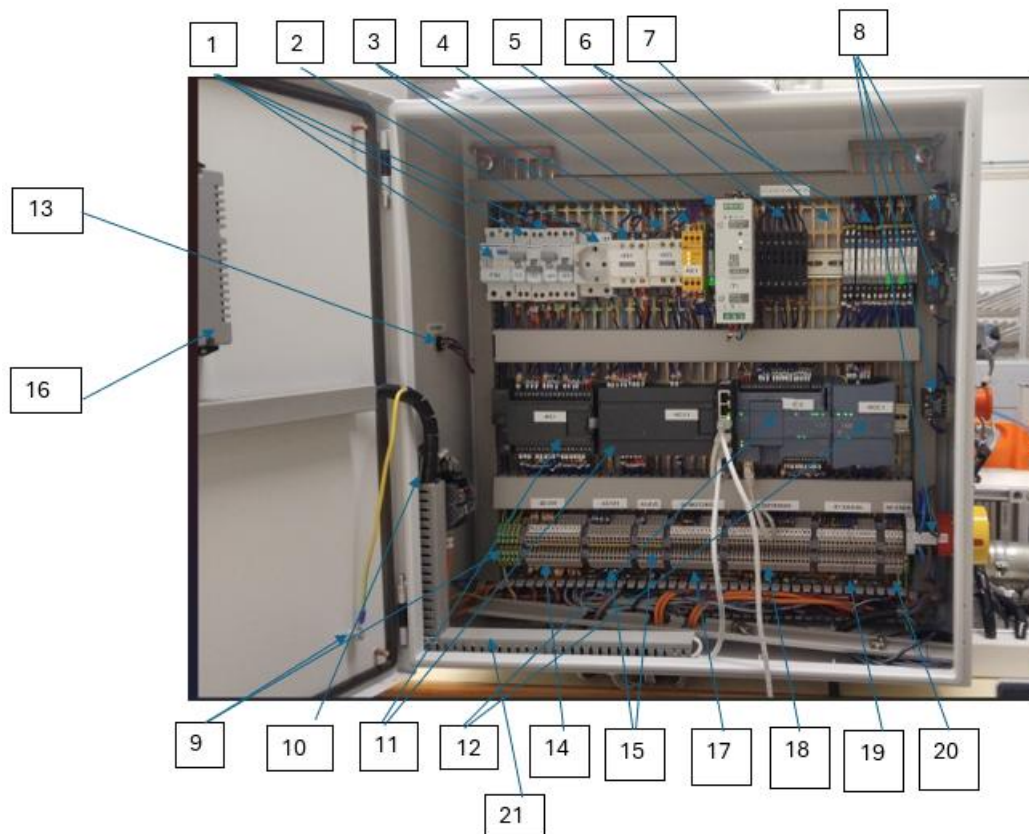


Figura 50: Interior do quadro elétrico com legenda.

- 1-Disjuntores do Circuito de Potência;
- 2-Tomada;
- 3- Contactores (bobines de atracar);
- 4. Relé de Proteção das saídas do Autômato;

5. Fonte de Alimentação;
6. Bornes de ligação dos componentes com proteção a partir de fusíveis;
7. Platina do quadro elétrico;
8. De baixo para cima: Interruptor de corte geral; Botão de Emergência; Interruptor de paragem; Interruptor de marcha;
9. Condutores de Proteção do Terra;
10. Condutores da HMI;
11. Autómatos Siemens S 7-200;
12. Autômato Siemens S 7-1200 com módulo de Expansão do lado;
13. Conexão da ficha com o quadro elétrico que faz a interface do robô com o sistema de separação. (Lado esquerdo do quadro);
14. Bornes de ligações a 24V;
15. Bornes de Ligação a 0 V;
16. HMI (*Human Machine Interface*);
17. Bornes de ligação aos motores;
18. Bornes de ligação de Entradas do Autômato;
19. Bornes de ligação de Saídas do Autômato;
20. Bornes de Ligação aos dispositivos de Emergência, (Botão de Emergência e Barreira de Emergência);
21. Calha de cablagem com a tampa.

4.2 Peças fabricadas para melhoramento da maquete

Nesta subsecção de capítulo, mostrarei o processo de fabrico de peças mecânicas de suporte, para substituir as peças existentes fabricadas numa impressora 3D que estavam degradadas. Todas as peças foram fabricadas pelo processo que passo a descrever. Após o desenho 3D da peça, fez-se a conversão para o formato DXF e, por fim, numa placa de grandes dimensões fez-se o corte com as devidas medidas e furações na roteadora CNC. A roteadora CNC consiste numa mesa de trabalho com uma plataforma de vácuo, com uma área de trabalho de 2,5 metros por 1,5 metros.

Em certos casos, foi necessário roscar e também abrir cónicos na coluna de furar, como também fazer rasgos numa fresadora manual.

A figura 51 apresenta um desenho 3D de um suporte utilizado na maquete desenvolvido no software *Solidworks*.

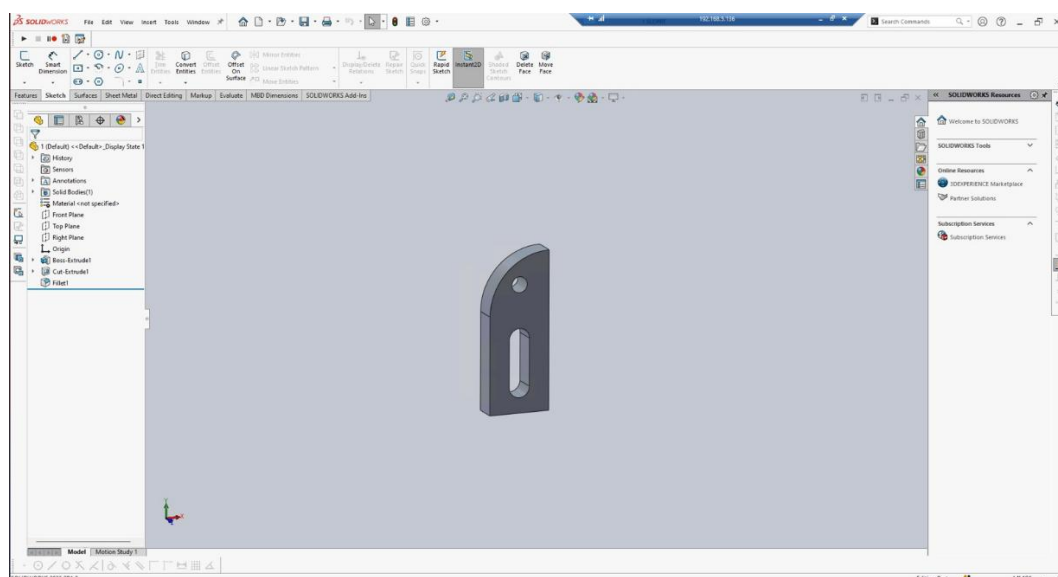
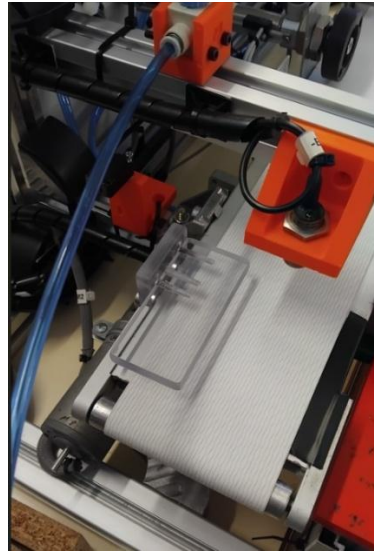


Figura 51: Desenho 3 D de um tipo de suporte.

A figura 52 a) e b) ilustra dois exemplos de aplicação de peças na maquete, onde é possível vermos a aplicação do suporte no tapete 3 e a aplicação do batente no tapete 1. As etapas do fabrico das peças para melhoramento da maquete estão descritas com detalhe no anexo A.



a)



b)

Figura 52: a) Aplicação de suporte. b) Aplicação de batente.

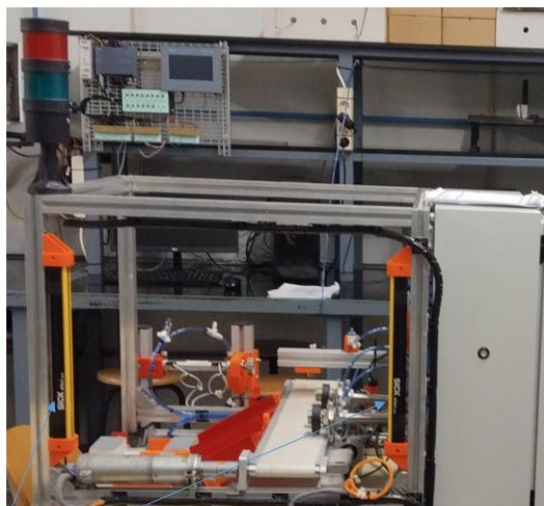
4.3 *Layout* da maquete e robô industrial

A figura 53 apresenta a maquete ligada ao ar comprimido, poderá ver-se o quadro elétrico com a consola e o robô.



Figura 53: Maquete ligada ao ar comprimido.

A figura 54 apresenta as barreiras de segurança utilizadas no projeto. O objetivo principal das barreiras é garantir a segurança de todos os operadores. Quando estas são interrompidas, o ciclo de trabalho pára imediatamente, protegendo desta forma os operadores.



1-Barreiras de Segurança

Figura 54: Barreiras de segurança.

A figura 55 apresenta as electroválvulas pneumáticas utilizadas na maquete para o controlo dos movimentos de avanço e recuo dos vários cilindros pneumáticos. Foram utilizadas duas electroválvulas do tipo 5/2 biestáveis e duas 5/2 monoestáveis. As electroválvulas biestáveis, são utilizadas no monta-cargas (cilindros A e B) e as electroválvulas monoestáveis foram utilizadas nos cilindros C e D.



Figura 55: Electroválvulas da Maquete.

4.4 Válvulas biestáveis e monoestáveis:

É importante referir que as electroválvulas dos cilindros A e B, permitem controlar os movimentos de avanço e recuo dos cilindros. O avanço dos cilindros ocorre quando o ar comprimido entra na câmara positiva e o ar comprimido que se encontra na câmara negativa entra em escape. O recuo dos cilindros acontece quando é injetado ar comprimido na câmara negativa e o ar comprimido que se encontra na câmara positiva entra em escape. A figura 56 apresenta o esquema de um circuito pneumático com uma electroválvula biestável.

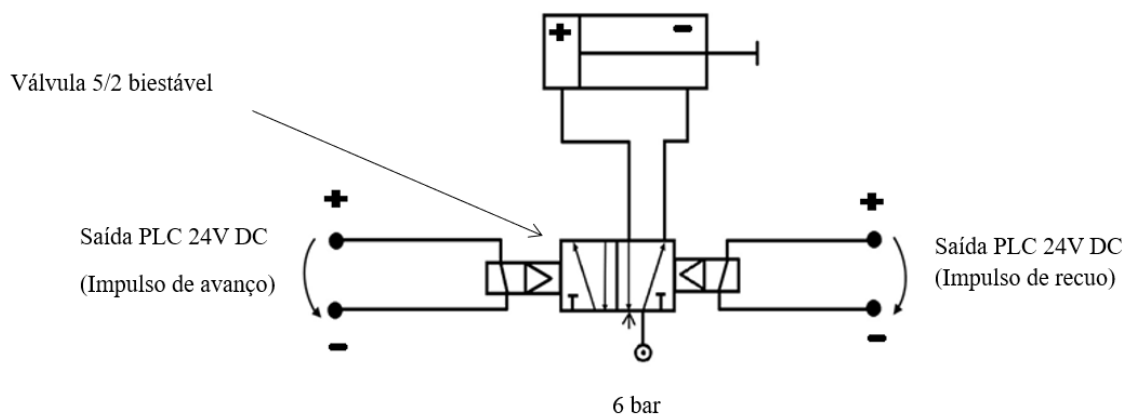


Figura 56: Esquema de circuito pneumático com uma electroválvula biestável.

Os cilindros C e D são controlados por electroválvulas monoestáveis. O retorno destes cilindros é feito por mola, tendo estas electroválvulas apenas um solenoide do lado que o cilindro avança. A figura 57 apresenta o esquema de um circuito pneumático com uma electroválvula monoestável.

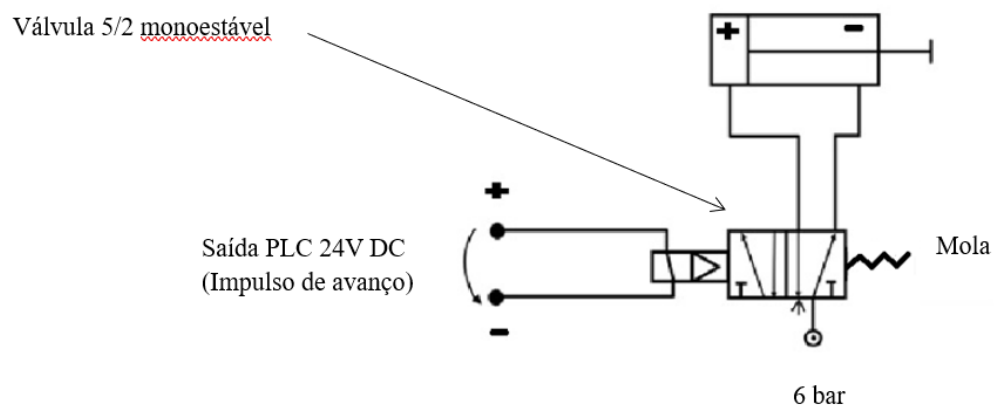
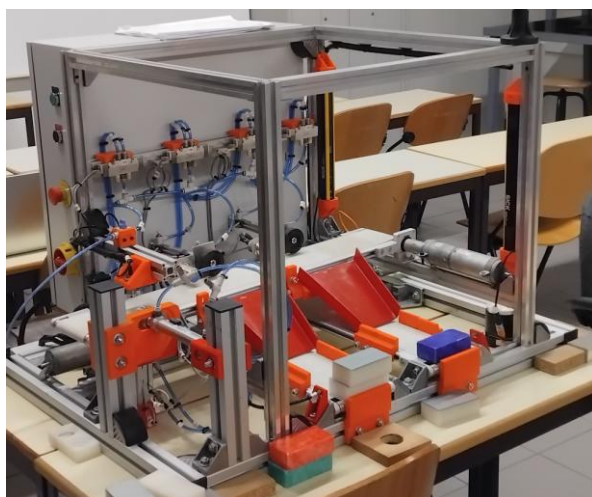


Figura 57: Esquema de circuito pneumático com uma electroválvula monoestável.

A figura 58 a) e b) apresentam a vista geral da maquete e do robô ABB IRB 1600 utilizados neste projeto.



a)



b)

Figura 58: Maquete e robô.

- a) Vista geral da maquete.
- b) Vista do robô ABB IRB1600.

5. PROGRAMAÇÃO DO AUTÓMATO E HMI

O presente capítulo descreve o desenvolvimento da programação do PLC e da HMI, elementos fundamentais para a implementação do sistema de controlo de todos os equipamentos existentes na maquete. Inicialmente, é apresentada a escolha do PLC e da respetiva carta de expansão. De seguida, a lógica de funcionamento do sistema é descrita através de diagramas *grafcet*, incluindo o controlo do monta-cargas e dos tapetes transportadores. Este capítulo aborda igualmente a configuração da interface HMI e a sua integração com o PLC, assegurando a comunicação entre o sistema de controlo e o utilizador. Por fim, é apresentada a programação da HMI, evidenciando as soluções desenvolvidas para a supervisão das operações na maquete e a visualização do estado do sistema.

5.1 Escolha do PLC e da carta de expansão

A figura 59 apresenta a vista geral do PLC e da carta de expansão que foram escolhidos para interagir com os diversos dispositivos que constituem a maquete.

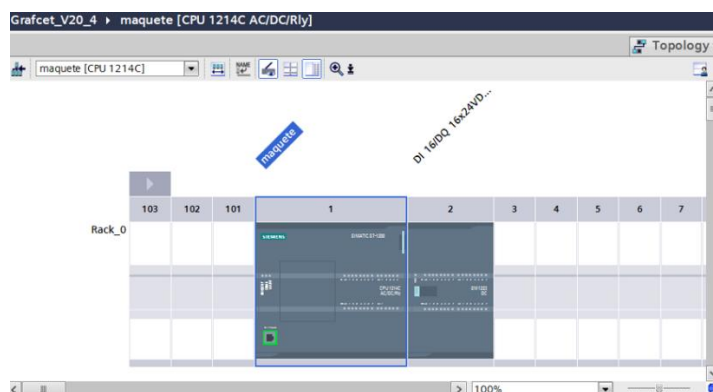


Figura 59: Vista geral do PLC e da carta de expansão.

A figura 60 apresenta a referência do PLC que foi escolhido para o nosso trabalho. Pode ver-se que a referência do autómato é [CPU 1214C AC/DC/RLy]. De notar que o programa “TIA Portal” da Siemens oferece a possibilidade de escolher o autómato com as devidas referências como se pode ver na figura 60 (lado direito) onde constam todas as referências disponíveis [29].

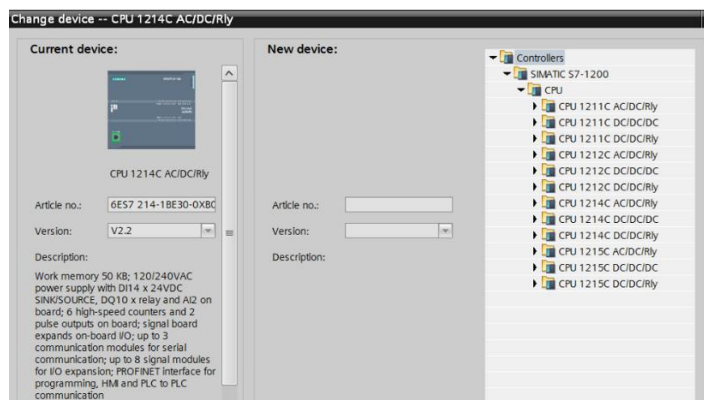


Figura 60: PLC escolhido com a descrição das características técnicas.

A figura 61 apresenta a escolha do modelo da carta de expansão de entradas/saídas digitais utilizado no projeto.

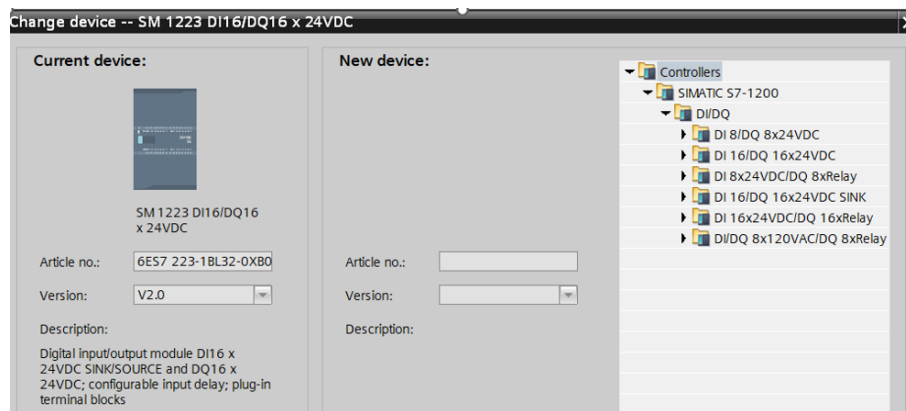


Figura 61: Carta de expansão.

A figura 62 apresenta a interface para o utilizador do ambiente de programação do TIA Portal. Para estabelecer a comunicação do PC com o autômato é necessário ligar o cabo *ethernet*. Estando o programa concluído, o mesmo é compilado no TIA Portal e enviado para o autômato, fazendo o seu *download*. Após o programa estar incorporado no autômato ativa-se o modo *run*, para este ser executado. O TIA Portal apresenta adicionalmente o modo *online* que permite visualizar em tempo real o estado de variáveis. Na árvore principal do TIA Portal, deverá ser ativado o programa selecionando a pasta onde diz “maquete”.

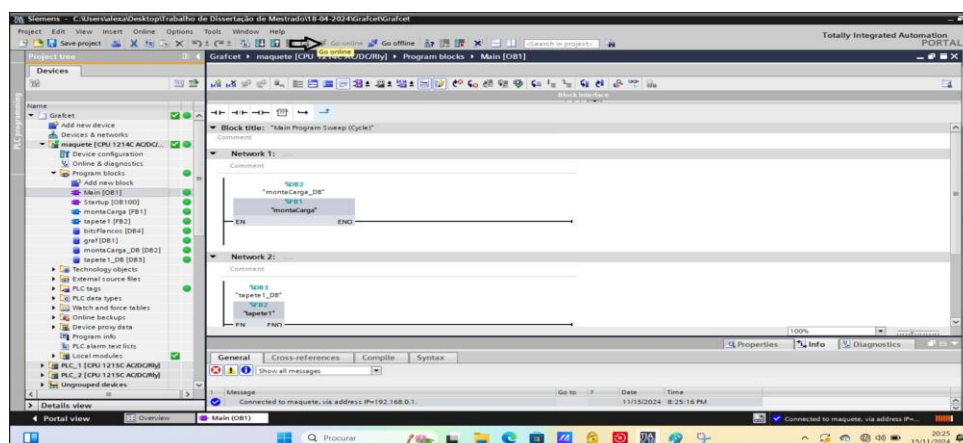


Figura 62: Programa principal do autômato.

A figura 63 apresenta os endereços IP do PLC e da HMI reconhecidos na rede. Para estes dispositivos serem reconhecidos têm de estar interligados com o computador através do cabo *ethernet*. Salienta-se que todos os dispositivos ligados na rede têm obrigatoriamente de possuir endereços IP diferentes.

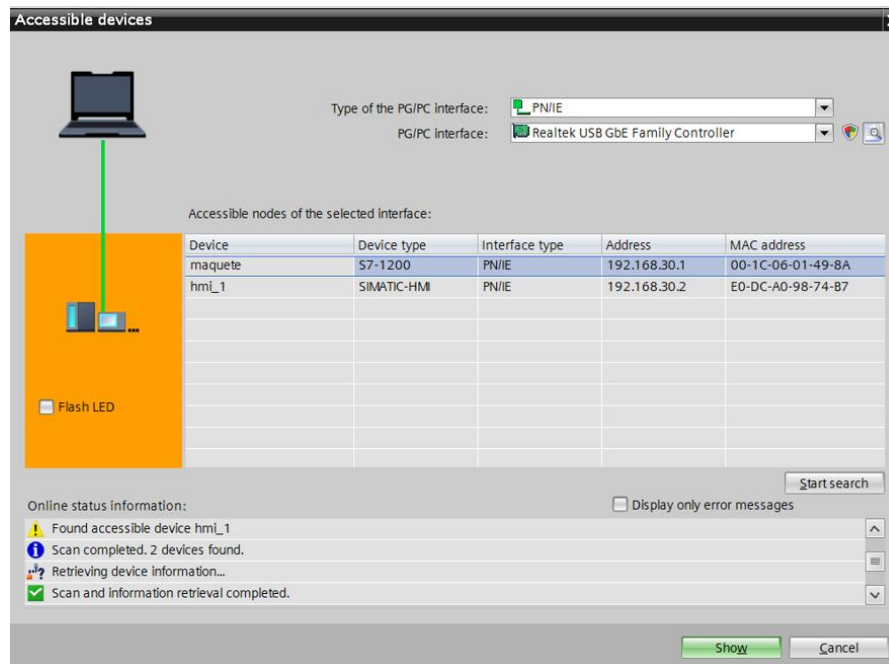


Figura 63: Endereços IP do autómato e da HMI.

A figura 64 apresenta a atribuição do endereço IP do autômato.

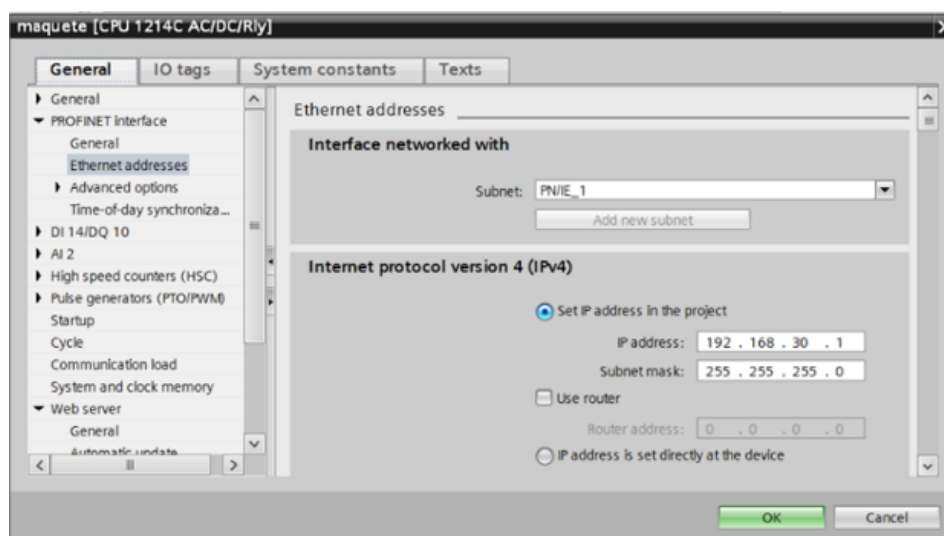


Figura 64: Atribuição do endereço IP do autômato.

A figura 65 apresenta a escolha das portas de comunicação entre o computador e a rede onde estão os dispositivos PLC e HMI.

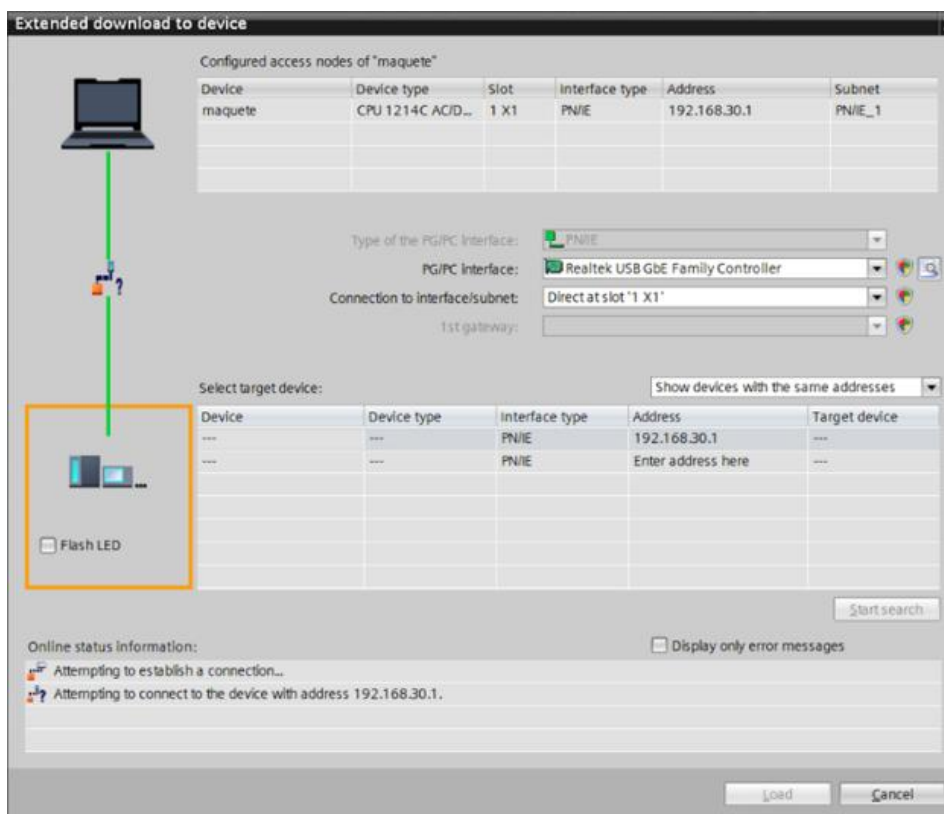


Figura 65 Escolha das portas de comunicação.

A figura 66 apresenta a preparação para o carregamento do programa no autômato.

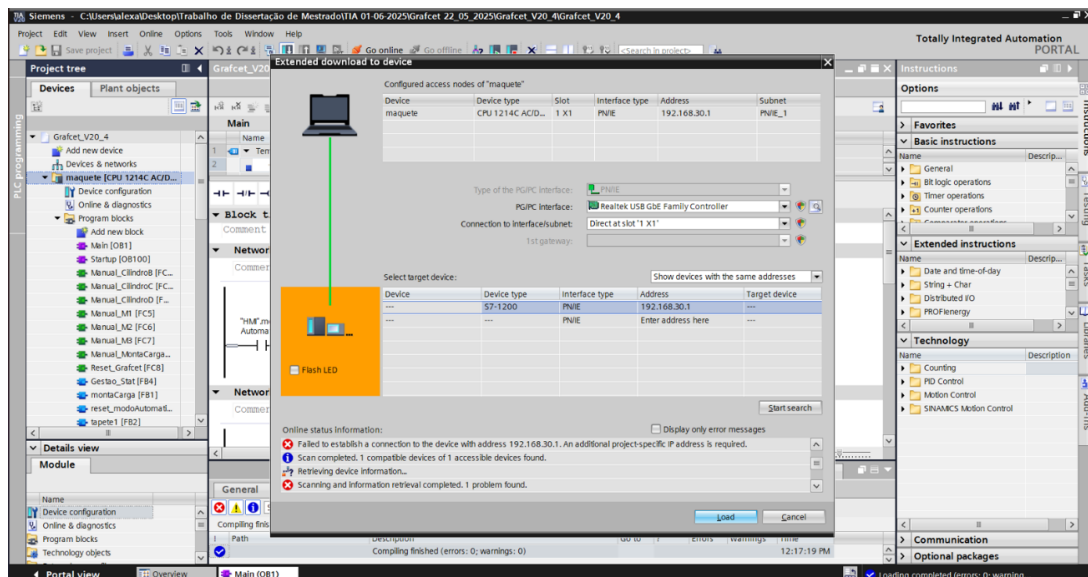


Figura 66: Preparação para o carregamento do programa no autômato.

A figura 67 apresenta o utilizador a carregar o programa no autômato o que implica que os programas de todos os seus módulos estejam parados. O programa enviado irá sobrescrever o programa existente.

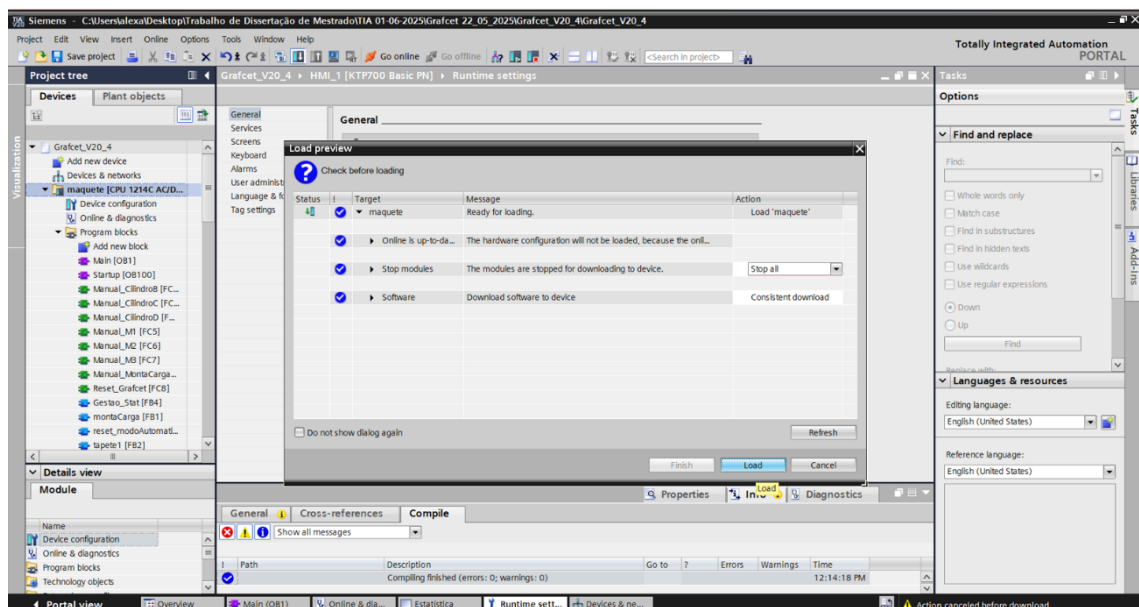


Figura 67: Carregamento do programa.

5.2 Entradas, saídas e memórias incorporadas no autômato

A tabela 7 apresenta as entradas e saídas do autômato devidamente identificadas. As entradas estão associadas a sensores e a dois botões de comando. Os sensores são do tipo indutivos, capacitivos, óticos e magnéticos no caso dos cilindros pneumáticos. Os sensores utilizados neste projeto não são mecânicos, tendo assim a vantagem de não haver desgaste dos mesmos. As saídas utilizadas no projeto são todas digitais. Estas são usadas para acionar os motores dos tapetes transportadores, para comando dos cilindros pneumáticos, tanto no avanço como no recuo, e para ativação futura das lâmpadas de sinalização e do sinal sonoro. São utilizadas duas saídas do PLC para enviar ordens ao robô ABB IRB 1600, de modo a este retirar as peças dos tapetes transportadores.

Tabela 7: Entradas e saídas do autômato.

Grafset ▶ maquete [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▶ PLC tags									
PLC tags									
	Name	Tag table	Data...	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	S1	maquet...	Bool	%I0.0		☒	☒	☒	Botão de Start (Tipo Botão de Pressão) NO
2	S2	maquete	Bool	%I0.1		☒	☒	☒	Botão de Paragem (Tipo Botão de Pressão) NC
3	B1	maquete	Bool	%I0.3		☒	☒	☒	sensor fotoeletrico no monta cargas NO
4	B2	maquete	Bool	%I0.4		☒	☒	☒	sensor fotoeletrico no inicio do tapete 1 NO
5	B3	maquete	Bool	%I0.5		☒	☒	☒	sensor indutivo no inicio do tapete 1 (sensor indutivo PNP)
6	B4	maquete	Bool	%I0.6		☒	☒	☒	sensor capacitivo no cilindro C (PNP) NO
7	B5	maquete	Bool	%I0.7		☒	☒	☒	sensor capacitivo no cilindro D (NPN) NO
8	B6	maquete	Bool	%I1.0		☒	☒	☒	sensor fotoeletrico no final do tapete 3 NO
9	B7	maquete	Bool	%I1.1		☒	☒	☒	sensor fotoeletrico no final do tapete 2 NO
10	BVA0	maquete	Bool	%I1.2		☒	☒	☒	sensor magnetico a0 (cilindro A recolhido) NO
11	BVA1	maquete	Bool	%I1.3		☒	☒	☒	sensor magnetico a1 (cilindro A avancado) NO
12	BVB0	maquete	Bool	%I1.4		☒	☒	☒	sensor magnetico b0 (cilindro B recolhido) NO
13	BVB1	maquete	Bool	%I1.5		☒	☒	☒	sensor magnetico b1 (cilindro B avancado) NO
14	BVC0	maquete	Bool	%I2.0		☒	☒	☒	sensor magnetico c0 (cilindro C recolhido) NO
15	BVC1	maquete	Bool	%I2.1		☒	☒	☒	sensor magnetico c1 (cilindro C avancado) NO
16	BVD0	maquete	Bool	%I2.2		☒	☒	☒	sensor magnetico d0 (cilindro D recolhido) NO
17	BVD1	maquete	Bool	%I2.3		☒	☒	☒	sensor magnetico d1 (cilindro D avancado) NO
18	M1	maquete	Bool	%Q0.0		☒	☒	☒	Rele KM1 aciona motor do tapete 1
19	M2	maquete	Bool	%Q0.1		☒	☒	☒	Rele KM2 aciona motor do tapete 2
20	M3	maquete	Bool	%Q0.2		☒	☒	☒	Rele KM3 aciona motor do tapete 3
21	VA1	maquete	Bool	%Q0.3		☒	☒	☒	KVA1 Avanca cilindro A
22	VA0	maquete	Bool	%Q0.4		☒	☒	☒	KVA0 Recua cilindro A
23	VB1	maquete	Bool	%Q0.5		☒	☒	☒	KVB1 Avanca cilindro B
24	VB0	maquete	Bool	%Q0.6		☒	☒	☒	KVB0 Recua cilindro B
25	VC1	maquete	Bool	%Q0.7		☒	☒	☒	KVC1 Avanca cilindro C
26	VD1	maquete	Bool	%Q1.0		☒	☒	☒	KVD1 Avanca cilindro D
27	PF1	maquete	Bool	%Q2.0		☒	☒	☒	Ativa sinalização verde
28	PF2	maquete	Bool	%Q2.1		☒	☒	☒	Ativa sinalização vermelha
29	PJ1	maquete	Bool	%Q2.2		☒	☒	☒	Ativa a sirene
30	K3	maquete	Bool	%Q2.3		☒	☒	☒	K3 ordem para o robot recolher caixa do tapete 2
31	K4	maquete	Bool	%Q2.4		☒	☒	☒	K4 ordem para o robot recolher caixa do tapete 3

A tabela 8 apresenta alguns *bits* de memória do autômato. Foram habilitadas as memórias de *bit* do sistema para ter disponível o *bit* de 1º ciclo que é utilizado na etapa inicial do *grafcet*. Ao habilitar o *bit* de 1º ciclo, ficam disponíveis outros *bits* de memória que não foram utilizados. Os *bits* *AlwaysTRUE* e *AlwaysFALSE* são muitas vezes utilizados para definir situações forçadas temporariamente na programação.

Tabela 8: Bits de memória do autômato.

Grafcet ▶ maquete [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▶ PLC tags									
Tags									
PLC tags									
	Name	Tag table	Data..	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	C
32	System_Byte	Default ...	Byte	%MB1	☐	☒	☒	☒	
33	FirstScan	Default ...	Bool	%M1.0	☐	☒	☒	☒	
34	DiagStatusUpdate	Default ...	Bool	%M1.1	☐	☒	☒	☒	
35	AlwaysTRUE	Default ...	Bool	%M1.2	☐	☒	☒	☒	
36	AlwaysFALSE	Default ...	Bool	%M1.3	☐	☒	☒	☒	
37	Clock_Byte	Default ...	Byte	%MB0	☐	☒	☒	☒	
38	Clock_10Hz	Default ...	Bool	%MO.0	☐	☒	☒	☒	
39	Clock_5Hz	Default ...	Bool	%MO.1	☐	☒	☒	☒	
40	Clock_2.5Hz	Default ...	Bool	%MO.2	☐	☒	☒	☒	
41	Clock_2Hz	Default ...	Bool	%MO.3	☐	☒	☒	☒	
42	Clock_1.25Hz	Default ...	Bool	%MO.4	☐	☒	☒	☒	
43	Clock_1Hz	Default ...	Bool	%MO.5	☐	☒	☒	☒	
44	Clock_0.625Hz	Default ...	Bool	%MO.6	☐	☒	☒	☒	
45	Clock_0.5Hz	Default ...	Bool	%MO.7	☐	☒	☒	☒	

5.3 Grafcet monta-cargas

Neste capítulo é utilizado o *grafcet* como ferramenta de trabalho para a programação do autômato [28] e [29].

O monta-cargas tem como finalidade simular o transporte de peças do piso inferior para o piso superior. Para isso, o operador coloca as peças no piso inferior e o monta cargas automaticamente sobe a peça para o piso superior. O monta-cargas desenvolvido neste projeto é constituído por dois cilindros pneumáticos de duplo efeito, sendo estes comandados por duas electroválvulas biestáveis. O ciclo de trabalho implementado no monta-cargas é: A+/B+/A-/B-. A figura 68 apresenta o *grafcet* desenvolvido e utilizado na programação do autômato. Nos anexos B e C estão descritos com detalhe os programas desenvolvidos no TIA Portal para o monta-cargas.

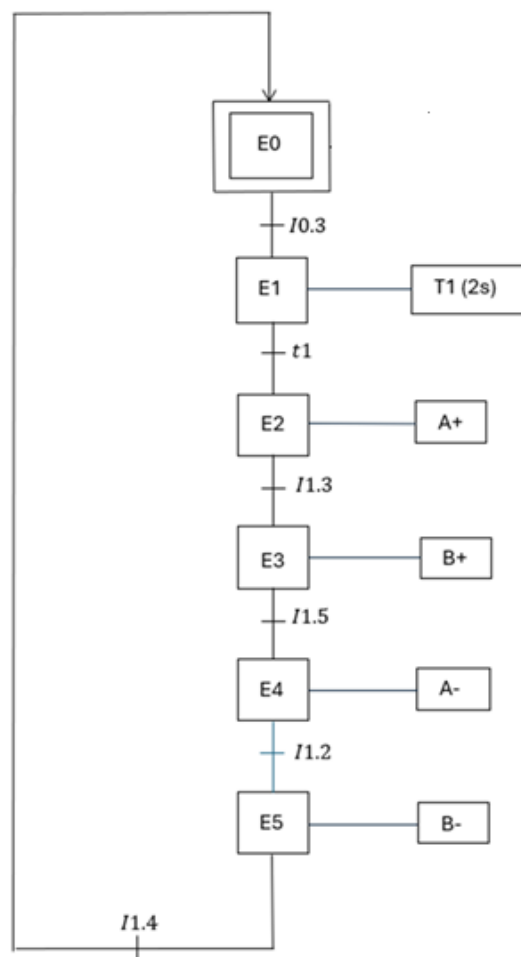


Figura 68: *Grafcet* Monta Cargas.

5.3.1 Equações das etapas

As equações das etapas do *grafcet* do monta-cargas encontram-se a seguir. Estas equações foram utilizadas na programação do autómato.

E0: "FirstScan"+E5.I1.4	[S (E0), R (E5)]
E1: E0.I0.3	[S (E1), R (E0)]
E2: E1.t1	[S (E2), R (E1)]
E3: E2.I1.3	[S (E3), R (E2)]
E4: E3.I1.5	[S (E4), R (E3)]
E5: E4.I1.2	[S (E5), R (E4)]

A Tabela 9 apresenta as etapas e os *bits* correspondentes de cada etapa do monta-cargas. Os bits associados a cada etapa foram utilizados na programação do autómato.

Tabela 9: Etapas e bits correspondentes.

Etapas	Bits
Etapa 0	E0
Etapa 1	E1
Etapa 2	E2
Etapa 3	E3
Etapa 4	E4
Etapa 5	E5

A tabela 10 apresenta as recetividades externas, as entradas do autómato utilizadas e uma breve descrição das mesmas.

Tabela 10: Recetividades externas.

Recetividades externas	Entradas	Descrição
b1	I0.3	sensor fotoeletrico no monta cargas NO
bva1	I1.3	sensor magnetico a1 (cilindro A avancado) NO
bvb1	I1.5	sensor magnetico b1 (cilindro B avancado) NO
bva0	I1.2	sensor magnetico a0 (cilindro A recolhido) NO
bvb0	I1.4	sensor magnetico b0 (cilindro B recolhido) NO

A tabela 11 apresenta a recetividade interna, o *bit* associado e uma breve descrição da mesma.

Tabela 11: Recetividade interna.

Recetividade interna	<i>Bit</i>	Descrição
t1	T1	Timer 2s

A tabela 12 apresenta as ações externas, os *bits*, as saídas e uma breve descrição de cada ação.

Tabela 12: Ações externas.

Ações Externas	<i>Bits</i>	Saídas	Operação
A+	E2	Q0.3	KVA1 Avanca cilindro A
B+	E3	Q0.5	KVB1 Avanca cilindro B
A-	E4	Q0.4	KVA0 Recua cilindro A
B-	E5	Q0.6	KVB0 Recua cilindro B

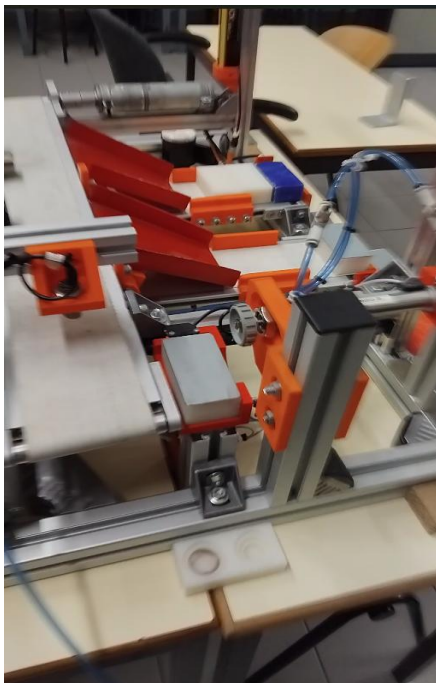
A tabela 13 apresenta a ação interna, o *bit*, o temporizador utilizado e uma breve descrição da ação.

Tabela 13: Ação Interna.

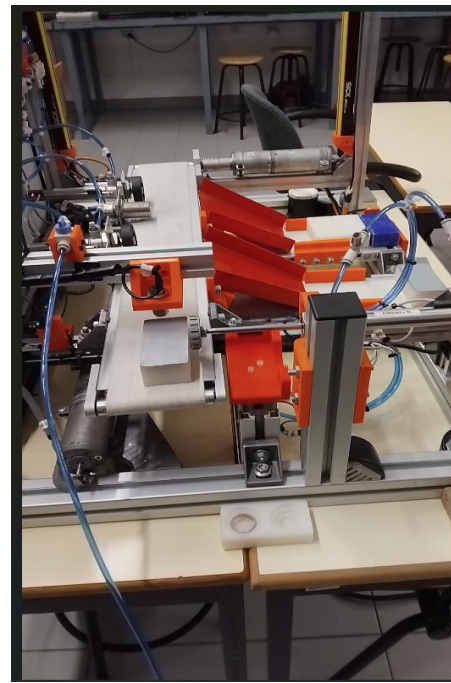
Ação interna	<i>Bit</i>	Temporizador	Operação
T1	E1	T2	Temporizador de 2s

5.3.2 Etapas do monta-cargas

A figura 69 a) apresenta o cilindro A recuado em baixo da plataforma vermelha em que a peça metálica se encontra a ser carregada no monta-cargas. A figura 69 b) apresenta o cilindro A e o cilindro B em modo de avanço, dando início à marcha do tapete 1. Posteriormente os cilindros A e B recuam imediatamente. Nos anexos D e E estão descritos com detalhe os programas do *grafcet* do tapete 1 e o Reset *grafcet* respetivamente, desenvolvidos no TIA Portal [28] e [29].



a)



b)

Figura 69: Imagens do monta-cargas.

5.4 *Grafcet* dos tapetes

O *grafcet* desenvolvido para o controlo dos tapetes, tem como finalidade simular o transporte das várias peças ao longo dos mesmos, consoante sejam peças metálicas ou não metálicas. Para isso, o operador coloca as peças no piso inferior e o monta-cargas automaticamente sobe a peça para o piso superior, utilizando para isso o cilindro A. Depois da peça estar no piso superior, o monta-cargas utiliza o cilindro B para empurrar a peça para o tapete 1. Nesta maquete, todos os cilindros utilizados são de duplo efeito. Contudo, o cilindro A e B são controlados por eletroválvulas biestáveis e os cilindros C e D controlados por eletroválvulas monoestáveis.

A figura 70 apresenta o *grafcet* desenvolvido para o controlo dos 3 tapetes existentes na maquete. Como podemos observar nesta figura, a etapa 10 faz *reset* aos 3 tapetes e o tapete 1 só inicia a sua marcha na etapa 11, após o cilindro B empurrar uma peça para este tapete (flanco positivo da recetividade I1.4, correspondente ao sensor b1 do cilindro B). A etapa 12 funciona como uma etapa de espera, aguardando que a peça passe pelo sensor indutivo (*input* I0.5 no PLC). Se a peça for classificada como metálica, o *grafcet* avança para a etapa 13. A etapa 14 só ficará ativa depois do sensor capacitivo (recetividade I0.6), colocado estrategicamente no tapete 1, detetar a passagem da peça. Depois disso, a peça ainda é transportada no tapete 1 durante mais 3 segundos, com o objetivo de ficar devidamente posicionada em relação ao tapete 2. Na etapa 15, o cilindro C faz o movimento de avanço para transferir a peça do tapete 1 para o tapete 2. Por sua vez, na etapa 16, o tapete 2 transporta a peça durante 5 segundos para a posicionar no final deste tapete. De seguida, o robô ABB IRB 1600 faz a respetiva movimentação da peça, colocando-a na caixa de cartão correspondente.

Caso a peça seja não metálica, o *grafcet* executa as etapas 17, 18, 19 e 20. Nestas etapas, o seu funcionamento é idêntico ao anteriormente descrito para as peças metálicas.

Relativamente ao *grafcet* apresentado na figura 70, o Anexo D apresenta, de forma detalhada, a programação desenvolvida no TIA Portal.

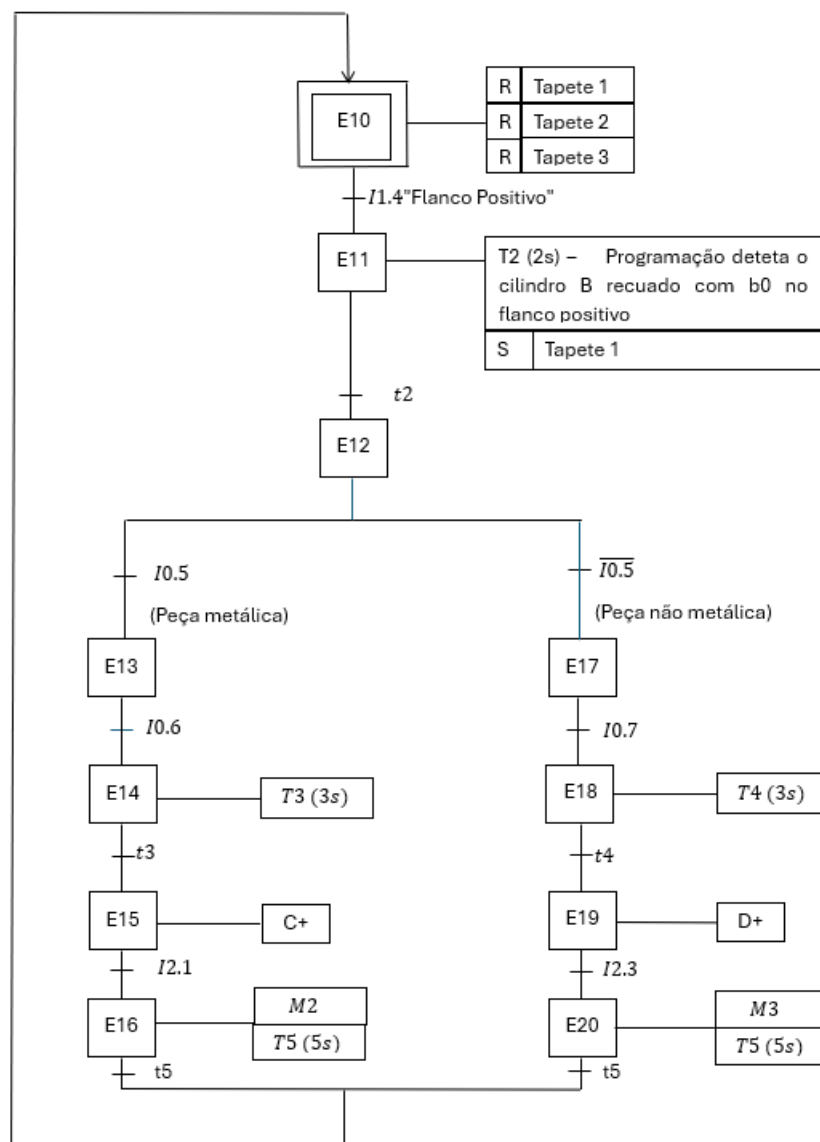


Figura 70: Grafcet tapete 1.

5.4.1 Equações das etapas:

As equações das etapas do *grafcet* do tapete 1 encontram-se a seguir. Estas equações foram utilizadas na programação do autômato.

E10: "First Scan"+E16.t5+E20.t5	[S (E10), R (E16, E20)]
E11: E10.I1.4P"Flanco Positivo"	[S (E11), R (E10)]
E12: E11.t2	[S (E12), R (E11)]
E13: E12.I0.5	[S (E13), R (E12)]
E14: E13.I0.6	[S (E14), R (E13)]
E15: E14.t3.	[S (E15), R (E14)]
E16: E15.I2.1	[S(E16), R((E15)]
E17: $E12.\overline{I0.5}.$	[S (E17), R (E12)]
E18: E17.I0.7	[S (E18), R (E17)]
E19: E18.t4	[S (E19), R (E18)]
E20: E19.I2.3	[S(E10),R(E19)]

A tabela 14, apresenta as etapas e os *bits* correspondentes de cada etapa do tapete 1. Os *bits* associados a cada etapa foram utilizados na programação do autômato.

Tabela 14: Tabelas das Etapas do *grafcet* Tapete 1.

Etapas	Bits
Etapa 10	E10
Etapa 11	E11
Etapa 12	E12
Etapa 13	E13
Etapa 14	E14
Etapa 15	E15
Etapa 16	E16
Etapa 17	E17
Etapa 18	E18
Etapa 19	E19
Etapa 20	E20

A tabela 15 apresenta as recetividades externas do tapete 1, as entradas do autómato utilizadas e uma breve descrição das mesmas.

Tabela 15: Tabela de Recetividades Externas do Tapete 1.

Recetividades Externas	Entrada	Descrição
bvb0	I1.4	sensor magnetico b0 (cilindro B recolhido) NO
b3	I0.5	sensor indutivo no inicio do tapete 1 (sensor indutivo PNP) NO
b4	I0.6	sensor capacitivo no cilindro C (PNP) NO
b5	I0.7	sensor capacitivo no cilindro D (NPN) NO
bvc1	I2.1	sensor magnetico c1 (cilindro C avancado) NO
bvd1	I2.3	sensor magnetico d1 (cilindro D avancado) NO

A Tabela 16 apresenta as recetividades internas do tapete 1, os *bits* associados a cada uma e uma breve descrição das mesmas.

Tabela 16: Recetividades Internas do Tapete 1.

Recetividades Internas	Bits	Descrição
t2	T2	Timer 2s
t3	T3	Timer 3s
t4	T4	Timer 3s

A tabela 17 apresenta as ações externas do tapete 1, os *bits*, as saídas e uma breve descrição de cada ação.

Tabela 17: Recetividades Externas do Tapete 1.

Ações Externas	Bits	Saídas	Operação
Tapete 1	E10	Q0.0	Rele KM1 aciona motor do tapete 1
C+	E15	Q0.7	KVC1 Avanca cilindro C
D+	E19	Q1.0	KVD1 Avanca cilindro D

A tabela 18 apresenta as ações internas do tapete 1, o *bit*, o temporizador utilizado e uma breve descrição da ação.

Tabela 18: Ações Internas Tapete 1.

Ações Internas	Bits	Temporizadores	Operação
T2	E11	T2	Temporizador de 2s
T3	E14	T3	Temporizador de 3s
T4	E18	T4	Temporizador de 3s

A figura 71 apresenta as várias fases pelas quais passa uma peça metálica, na figura 71 a), a peça é empurrada pelo cilindro pneumático A para o tapete 1, depois mais à frente é empurrada pelo cilindro pneumático B que faz peça descer pelo escorregão para as peças metálicas, como mostra a figura 71 b), imediatamente após ser acionado o cilindro B que retorna por mola, é acionado o tapete 2 que é acionado por 5 segundos até que a peça é detetada no final do tapete e pára, como é mostrado na figura 71 c).



a)



b)



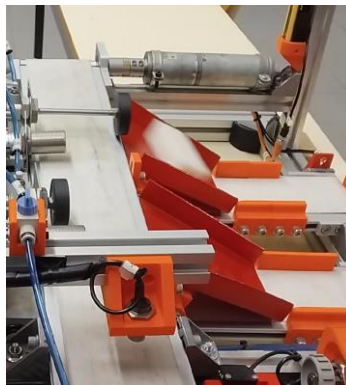
c)

Figura 71: Etapas da peça metálica.

A Figura 72 apresenta as várias fases pelas quais passa uma peça não metálica, na figura 72 a), a peça é empurrada pelo cilindro pneumático A para o tapete 1, depois mais à frente é empurrada pelo cilindro pneumático C que faz peça descer pelo escorregão para as peças metálicas, como mostra a figura 72 b), imediatamente após ser acionado o cilindro C que retorna por mola, é acionado o tapete 3 que é acionado por 5 segundos até que a peça é detetada no final do tapete e pára, como é mostrado na figura 72 c).



a)



b)



c)

Figura 72: Etapas da peça não metálica.

5.5 Configuração da HMI e ligação ao PLC

A figura 73 apresenta a escolha do modelo da HMI KTP700 Basic PN que foi utilizada neste projeto.

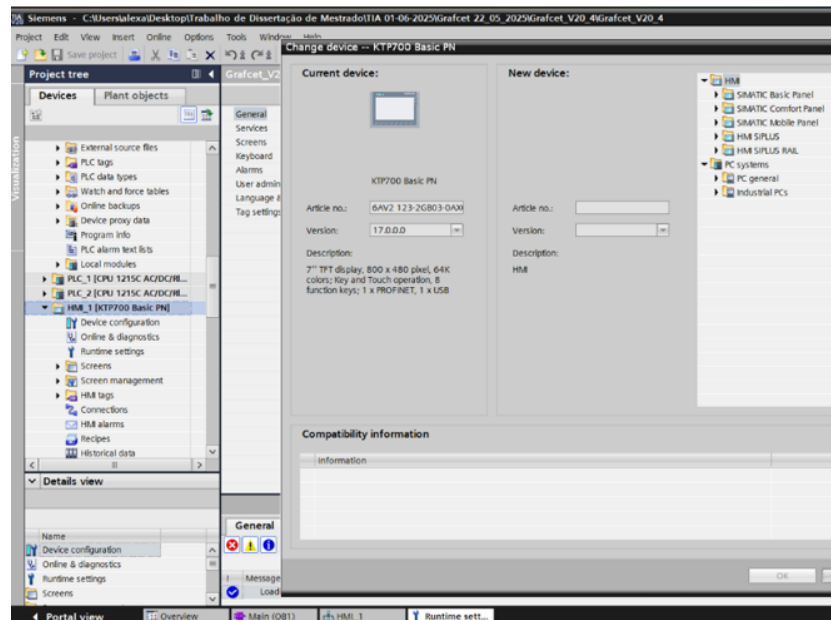


Figura 73: Modelo e referência da HMI.

A figura 74 mostra a ligação da HMI ao PLC. A tracejado mostra-se essa ligação em rede.

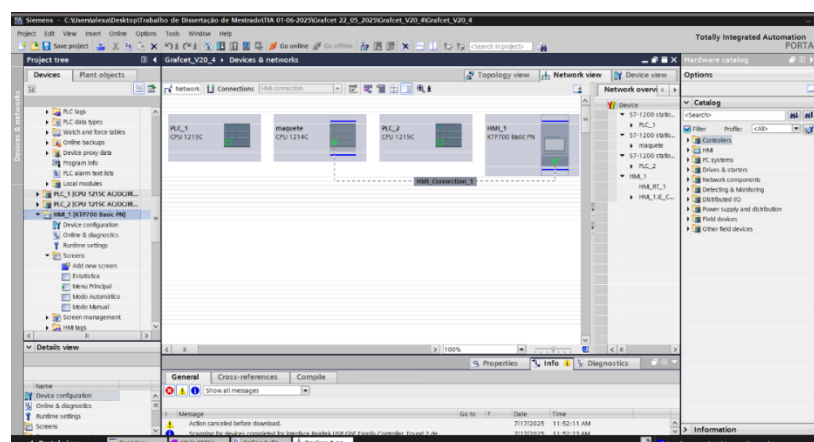


Figura 74: Ligação da HMI ao PLC.

5.5.1 Tags da HMI e sua ligação ao PLC

A tabela 19 apresenta todas as *Tags* da HMI. Este tipo de *Tags* são criadas quando se associam à HMI variáveis existentes no autómato.

Tabela 19: *Tags* da HMI.

HMI tags					
Name	Tag table	Data type	Connection	PLC name	PLC tag
BT	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BT
But_MI_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButMI.ON
But_MQ_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButMQ.ON
But_MB_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButMB.ON
But_VAO_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButVAO.ON
But_VA1_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButVA1.ON
But_VB0_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButVB0.ON
But_VB1_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButVB1.ON
But_VC1_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButVC1.ON
But_VD1_ON	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	ButVD1.ON
BVA0	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVA0
BVA1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVA1
BVB0	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVB0
BVB1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVB1
BVC0	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVC0
BVC1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVC1
BVD0	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVD0
BVD1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	BVD1
HMI_BotaoInicio	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	HMI.BotaoInicio
HMI_menuEstadistica	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	HMI.menuEstadistica
HMI_menuPrincipal	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	HMI.menuPrincipal
HMI_modosAutomatico	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	HMI.modosAutomatico
HMI_modosManual	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	HMI.modosManual
M1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	M1
M2	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	M2
M3	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	M3
Stat_NumOpCilindroB	Default tag table	UInt	HMI_Connection_1	maquete	StatNumOpCilindroB
Stat_NumOpCilindroC	Default tag table	UInt	HMI_Connection_1	maquete	StatNumOpCilindroC
Stat_NumOpCilindroD	Default tag table	UInt	HMI_Connection_1	maquete	StatNumOpCilindroD
Stat_NumOpMontaCargas	Default tag table	UInt	HMI_Connection_1	maquete	StatNumOpMontaCargas
Stat_NumOpTapete1	Default tag table	UInt	HMI_Connection_1	maquete	StatNumOpTapete1
Stat_NumOpTapete2	Default tag table	UInt	HMI_Connection_1	maquete	StatNumOpTapete2
Stat_NumOpTapete3	Default tag table	UInt	HMI_Connection_1	maquete	StatNumOpTapete3
Stat_TempoTotalTap1	Default tag table	Time	HMI_Connection_1	maquete	StatTempoTotalTap1
Stat_TempoTotalTap1Min	Default tag table	Real	HMI_Connection_1	maquete	StatTempoTotalTap1Min
Stat_TempoTotalTap2	Default tag table	Time	HMI_Connection_1	maquete	StatTempoTotalTap2
Stat_TempoTotalTap2Min	Default tag table	Real	HMI_Connection_1	maquete	StatTempoTotalTap2Min
Stat_TempoTotalTap3	Default tag table	Time	HMI_Connection_1	maquete	StatTempoTotalTap3
Stat_TempoTotalTap3Min	Default tag table	Real	HMI_Connection_1	maquete	StatTempoTotalTap3Min
Tag_ScreenNumber	Default tag table	UInt	<Internal tags>		<Undefined>
VAO	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	VAO
VA1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	VA1
VB0	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	VB0
VB1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	VB1
VC1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	VC1
VD1	Default tag table	Bool	HMI_Connection_1	maquete	VD1
<Add new>					

5.5.2 Configuração da HMI na rede

A figura 75 apresenta a configuração do endereço IP da HMI para ser reconhecido pela rede do laboratório de robótica e assim poder comunicar com os restantes dispositivos.

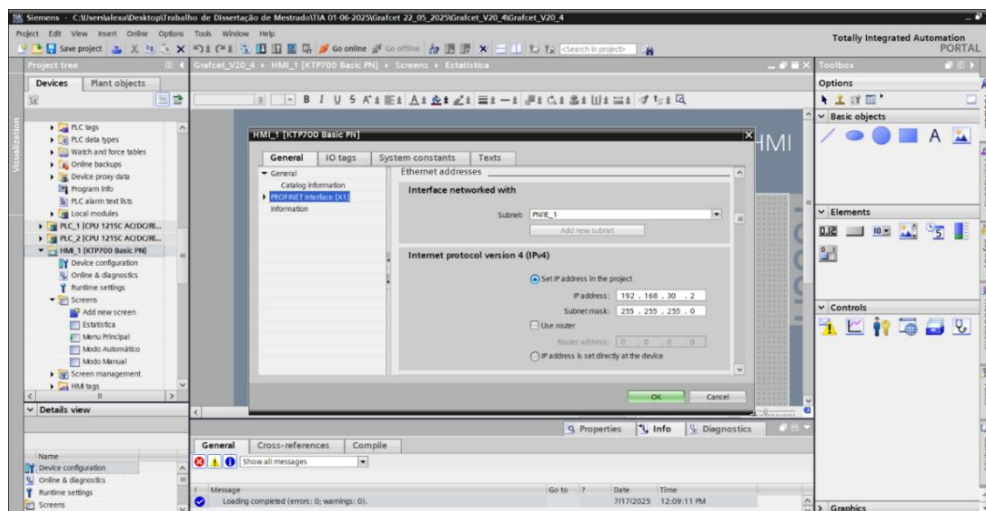


Figura 75: Configuração do endereço IP da HMI.

Após a definição do endereço IP estão reunidas as condições para prosseguir com o envio do programa para a HMI. Na figura 76 mostra-se a escolha do interface físico do computador utilizado para comunicar com a HMI.

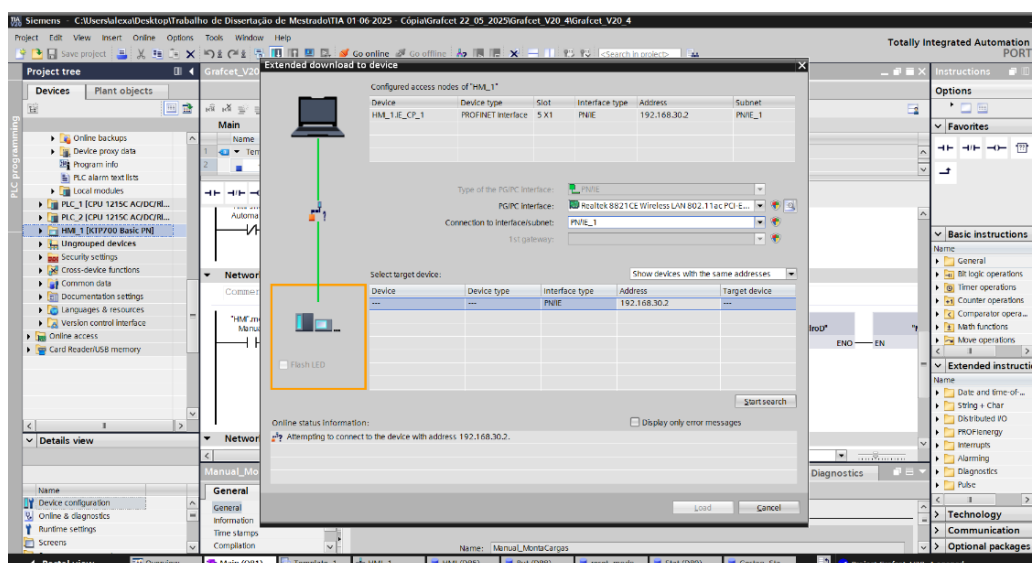


Figura 76: Ligação do computador à HMI.

A figura 77 demonstra que ao ser enviado o programa para a HMI, o TIA Portal avisa o programador que irá sobrescrever a nova versão. Deste modo, ao fazer *load*, a HMI ficará com a versão atualizada do programa.

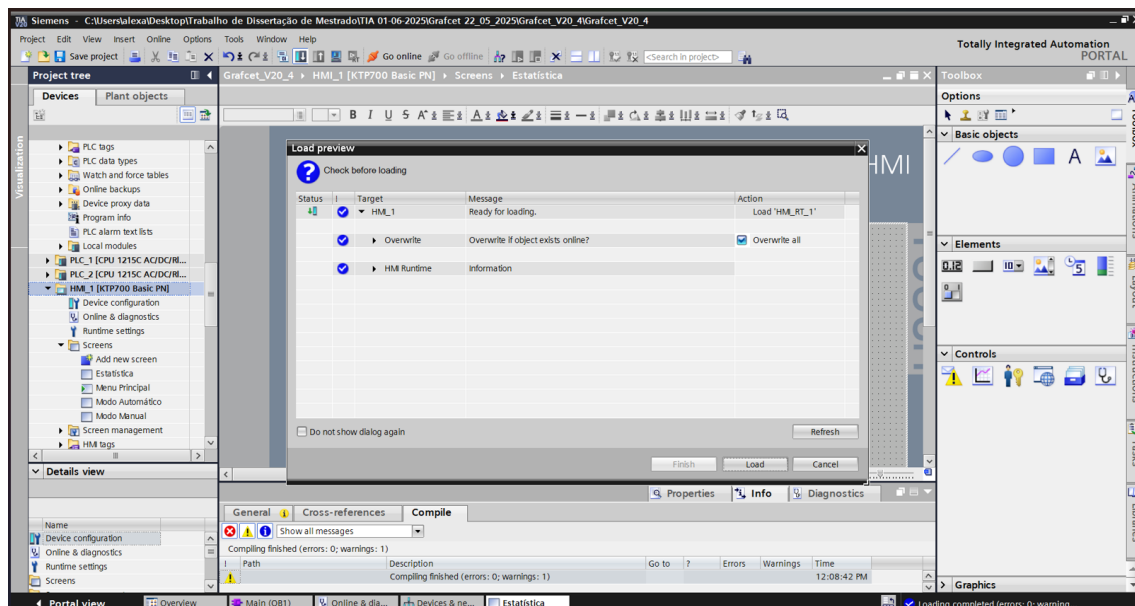
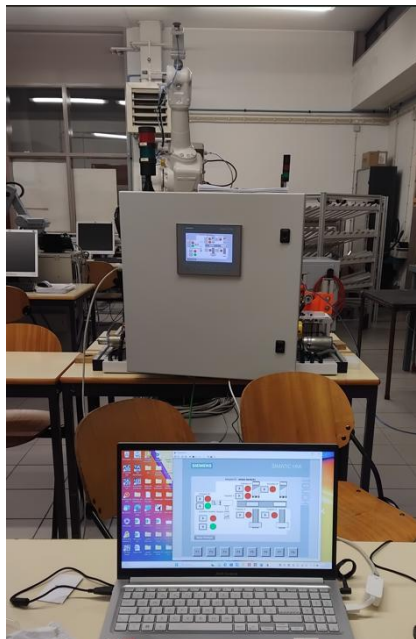


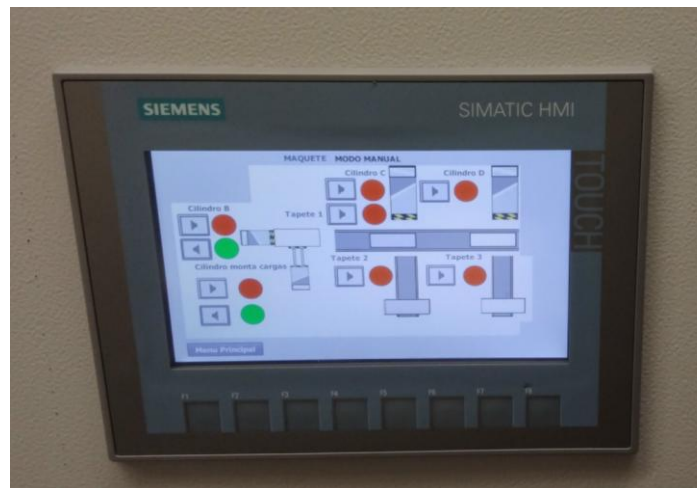
Figura 77: Envio do programa para a HMI.

5.6 Interagir com a HMI a partir do computador

A interação do utilizador com a maquete faz-se normalmente através da HMI física na figura 78 a) observamos o computador com a HMI em sincronismo com a HMI da maquete incorporada no quadro elétrico, a figura 78 b) apresenta a HMI em modo manual mais detalhadamente.



a)



b)

Figura 78: HMI. a) Vista geral da HMI com o PC. b) HMI no quadro elétrico.

No entanto, a mesma HMI pode ser acedida virtualmente a partir do computador. Para isso, no computador temos de correr o programa *smart client* e indicar o IP da HMI, como se apresenta na figura 79.

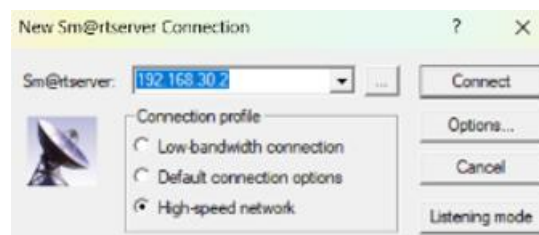


Figura 79: Interagir com a HMI a partir do computador.

Após carregar em *Connect*, teremos de introduzir a *password* que criámos para podermos aceder à HMI a partir do computador, como evidencia a figura 80.

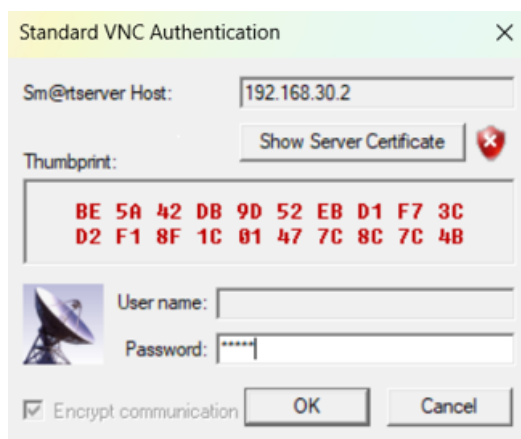


Figura 80: Autenticação do utilizador para aceder à HMI a partir do PC.

5.7 Programação da HMI

A programação da HMI está estruturada em quatro ecrãs: “Menu Principal”, “Modo Manual”, “Modo Automático” e “Estatística”. Seguidamente descrevem-se os diversos ecrãs.

5.7.1 Menu Principal da HMI

A figura 81 apresenta o menu principal da HMI. No centro da figura mostra-se o *Layout* da maquete e na parte inferior os vários botões que permitem aceder aos restantes ecrãs. Em qualquer destes ecrãs, teremos a opção de voltar sempre ao Menu Principal.

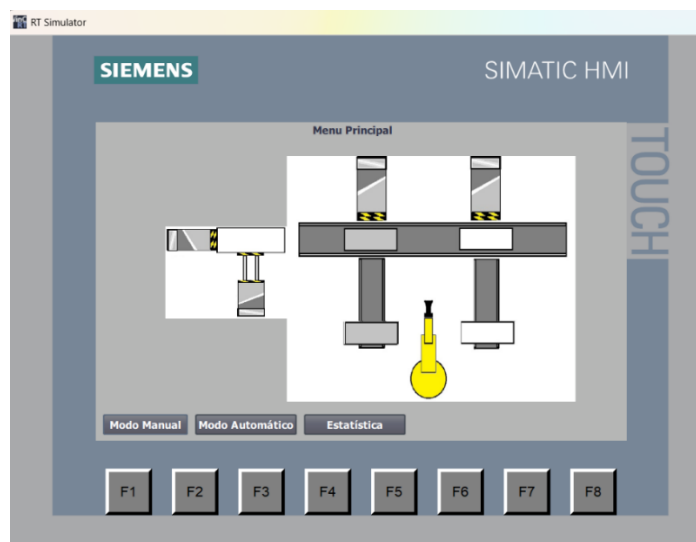


Figura 81: Menu Principal da HMI.

5.7.2 Ecrã em modo automático

Na figura 82 podemos observar o ecrã da HMI em modo automático. No lado esquerdo da figura mostram-se os cilindros monta cargas e o cilindro B que são biestáveis. A posição destes cilindros é sinalizada através de sensores por círculos inferiores, que assinalam o estado de recuo, e círculos superiores que assinalam o estado de avanço. Se o círculo apresentar a cor verde informa que o sensor detetou o respetivo estado, se o círculo apresentar a cor vermelha informa a não ativação desse estado.

Do lado direito da figura mostram-se os cilindros C e D monoestáveis. O respetivo círculo indica o seu estado. Se o círculo apresentar a cor verde, indica o estado de avanço, se apresentar a cor vermelha, indica o estado de recuo.

Na mesma figura mostram-se os tapetes 1, 2 e 3. O seu estado de funcionamento é sinalizado pelo seu respetivo círculo. Se o círculo apresentar a cor verde assinala que está em funcionamento, se apresentar a cor vermelha está parado.

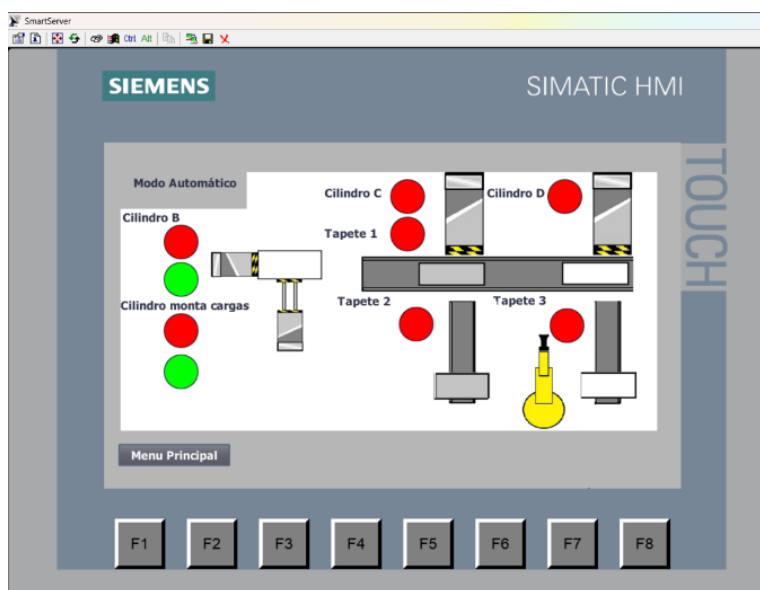


Figura 82: Ecrã da HMI em modo automático.

5.7.3 Ecrã em modo manual

A figura 83 apresenta a HMI em modo manual. Este modo é útil para a manutenção do equipamento, pois permite ao técnico a atuação individual dos cilindros e dos motores dos tapetes da maquete através de botões.

A informação mostrada pelos círculos é a mesma que a descrita para o modo automático. Os botões em forma de setas permitem ativar manualmente o estado do componente. No caso dos cilindros biestáveis permitem o seu recuo e avanço, enquanto que no caso dos cilindros monoestáveis, permitem o avanço, pois o seu recuo é feito por mola. Os motores dos tapetes 1, 2 e 3 são ativados manualmente pelos respetivos botões e os círculos correspondentes assinalam os seus estados.

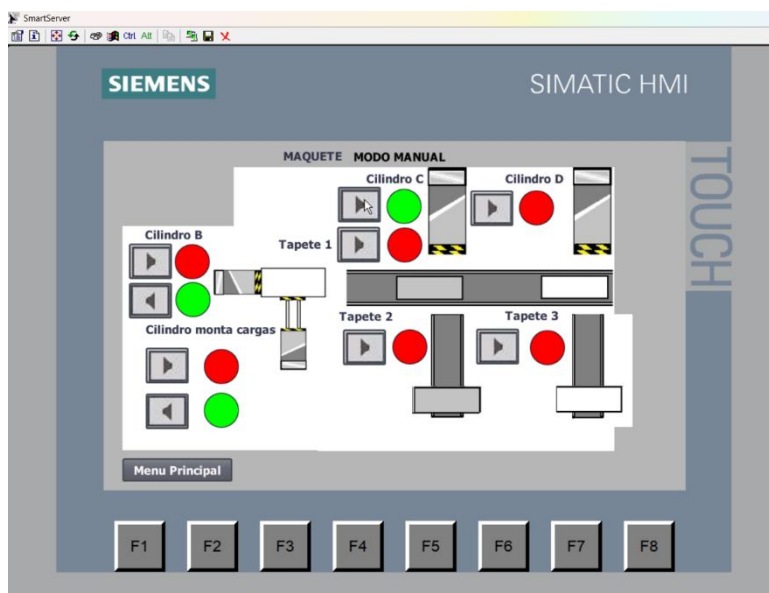


Figura 83: Ecrã da HMI em modo Manual.

No anexo F através da Tabela F-1, descreve-se o funcionamento dos botões e círculos de sinalização da HMI.

5.7.4 Ecrã em modo estatística:

A Figura 84 apresenta o ecrã da HMI em modo Estatística. Neste ecrã apresenta-se um conjunto de valores estatísticos relativos ao funcionamento dos principais componentes, mostrando o tempo de funcionamento em minutos e o número de operações.

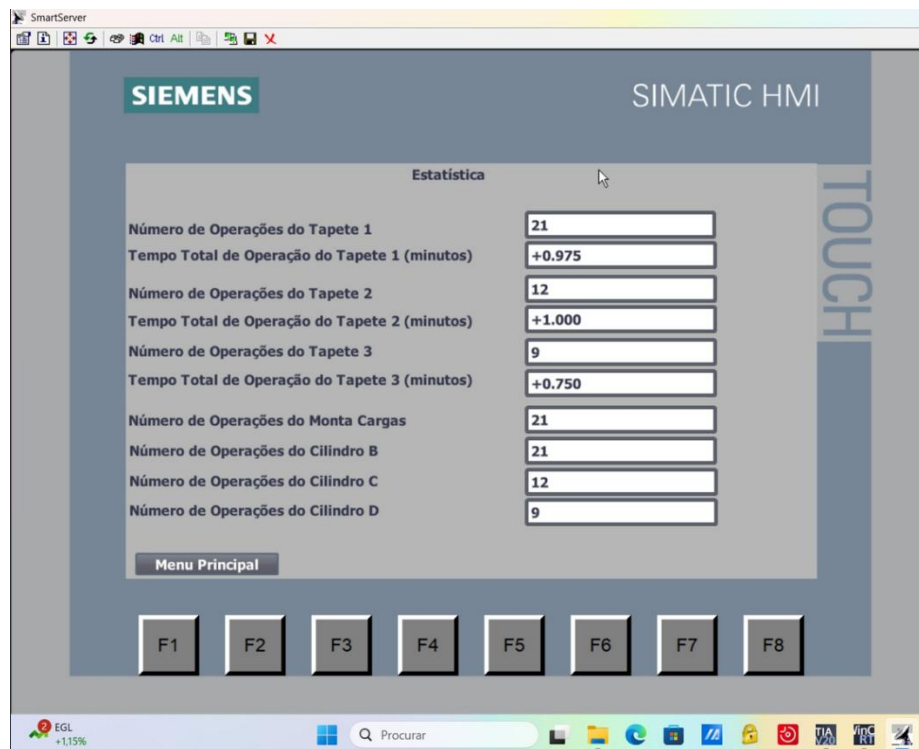


Figura 84: Mapa estatístico das operações dos tapetes e dos cilindros, bem como o tempo de operação dos tapetes.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo, desenvolvimento e validação de soluções na área da automação e robótica industrial. Neste trabalho foi utilizada uma maquete que se encontra no Laboratório de Automação e Robótica (LAR) do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da ESTGV. Ao longo do trabalho foram abordados os fundamentos associados à programação do PLC, HMI e do robô industrial ABB IRB 1600. Na programação do PLC e da HMI foi utilizado o software TIA Portal da Siemens, e na programação do robô foi utilizado o software RobotStudio da ABB.

O TIA Portal revelou-se um software fundamental no desenvolvimento deste projeto, permitindo a integração eficiente de todos os atuadores e sensores existentes na maquete. Este software possibilitou a programação do PLC e da HMI. O RobotStudio foi uma ferramenta fundamental na validação prévia das soluções desenvolvidas, permitindo a simulação de trajetórias, a análise de movimentos e a identificação antecipada de possíveis limitações do robô, sem necessidade de intervenção direta no equipamento físico do laboratório. Ainda assim, todo o trabalho de programação realizado *offline* no RobotStudio foi posteriormente transferido e validado no robô real existente no LAR.

Relativamente ao trabalho realizado há aspetos que podem ser melhorados ou explorados, possibilitando o desenvolvimento de trabalhos futuros, tais como:

- Utilizar um sistema de visão por computador capaz de identificar peças com diferentes cores e tamanhos;
- Desenvolver um sistema de segurança para o robô ABB IRB 1600;
- Melhorar a programação no PLC e na HMI com o objetivo de poderem circular nos tapetes várias peças em simultâneo;
- Utilizar sensores redundantes na maquete de forma a reduzir falhas na deteção de peças.

Em síntese, conclui-se que os objetivos inicialmente estabelecidos foram alcançados, tendo o trabalho contribuído para o aprofundamento dos conhecimentos na área da automação e da robótica industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] [Máquina a Vapor: Como Funciona, História e Locomotivas - Cola da Web](#), consultado em 16/11/2025.
- [2] [História: Revolução Industrial – Parte 1 - Pioneirismo Inglês e Tecnologias](#), consultado em 16/11/2025.
- [3] [Há 200 anos era inaugurado a primeira ferrovia do mundo –](#), consultado em 16/11/2025.
- [4] [clermont-g.jpg \(592×448\)](#), consultado em 16/11/2025.
- [5] [Geradores de Corrente Alternada CA \(AC\)](#), consultado em 16/11/2025.
- [6] [Great Influencers in Energy: Nikola Tesla: Master of Energy - Opinion Dynamics](#), consultado em 16/11/2025.
- [7] [Ficheiro:Guglielmo Marconi 1901 wireless signal.jpg – Wikipédia, a enciclopédia livre](#), consultado em 16/11/2025.
- [8] [Torres sem fio. Torre da rede de telecomunicações. Sistemas de conexão por ondas aéreas móveis e de rádio. Conjunto de vetores de antenas de satélite de comunicação. Estação de construção de tecnologia para sinal | Vetor Premium](#), consultado em 16/11/2025.
- [9] [Fordismo: o que é, como surgiu e quais são as características? – Investidor Sardinha](#), consultado em 16/11/2025.
- [10] A. Ferrolho, Apontamentos das aulas de Robótica Industrial, Viseu: DEE-ESTGV IPV, consultado em 19/09/2025.
- [11] [ENIAC – Wikipédia, a enciclopédia livre](#), consultado em 16/11/2025.
- [12] [História do CNC: A Origem e Evolução da Usinagem CNC 0](#), consultado em 16/11/2025.
- [13] J. R. Caldas Pinto “Tecnologias de Automação na Indústria 4.0” Lidel Edições Técnicas, Lda, 2021.
- [14] [Indústria 4.0: O que é, e como ela vai impactar o mundo. - Citisystems](#), consultado em 16/11/2025.
- [15] O. Contente; G. Afonso, Apontamentos das aulas de Automação e Controlo, moodle 2013-2014, consultado em 19/09/2025.
- [16] [Conheça os principais tipos de automação | Blog da Engenharia](#), consultado em 16/11/2025.
- [17] [Robô industrial – Wikipédia, a enciclopédia livre](#), consultado em 16/11/2025.

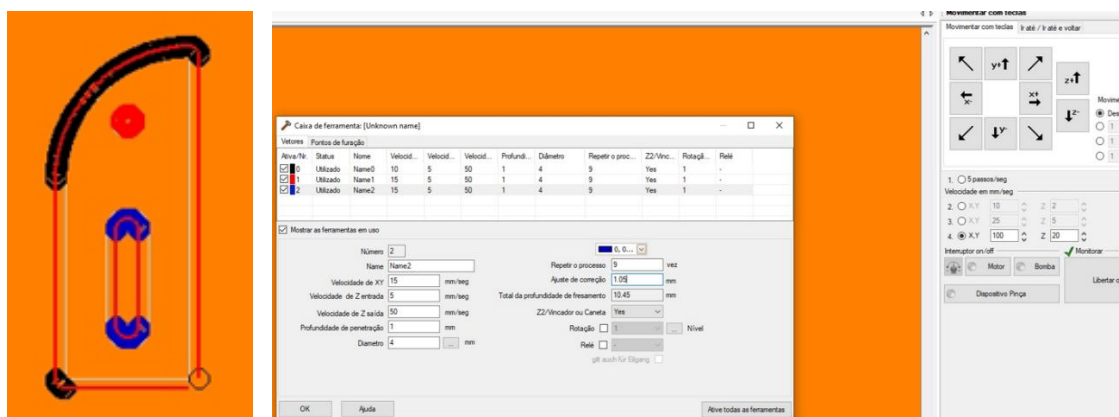
- [18] [In 1961, the First Robot Arm Punched In - IEEE Spectrum](#), consultado em 16/11/2025.
- [19] [O Que é AGV: Como Funciona e Benefícios Para a Indústria](#), consultado em 16/11/2025.
- [20] [Robôs móveis autónomos \(AMR\) - Mecalux.pt](#), consultado em 16/11/2025.
- [21] [Drone submarino para estudos oceanográficos - Double Eagle - Saab Seaeye - para pesquisa científica](#), consultado em 16/11/2025.
- [22] [Robôs voadores: conheça um pouco sobre a tecnologia dos drones militares - Canaltech](#), consultado em 16/11/2025.
- [23] [Robô humanoide: como funciona e como é usado ao redor do mundo?](#), consultado em 16/11/2025.
- [24] [Benefícios importantes de robôs industriais](#), consultado em 16/11/2025.
- [25] [Robôs colaborativos: Entenda o que são](#), consultado em 16/11/2025.
- [26] [IRB+1600+datasheet_20240726.pdf](#). Consultado em Outubro de 2025.
- [27] [ABB Portugal | abb.com/pt](#), [IRB+1600+datasheet_20240726.pdf](#), consultado em 19/09/2025.
- [28] António Francisco, “Autómatos Programáveis”, 5ª Edição, Lisboa: Lidel Edições Técnicas, Lda, 2015.
- [29] [Totally Integrated Automation Portal - Siemens Global](#), consultado em 31/07/2025.

ANEXOS

ANEXO A

Etapas da fabricação das peças substituídas na maquete

A figura A-1 a) apresenta o software da roteadora CNC com o ficheiro convertido previamente para formato DXF. Na figura A-1 b) observamos as ferramentas a serem selecionadas, a sua parametrização e a área colorida de cada ferramenta. Neste caso apresenta-se a ferramenta 2 a azul, que mostra a velocidade ao longo dos eixos XY de 15 mm/s, que é a velocidade de avanço que a fresa se desloca na mesa de trabalho. A velocidade Z de entrada quando a ferramenta baixa até ao ponto em que vai penetrar com a fresa é de 5 mm/s e a velocidade de saída do eixo Z é de 50 mm/s, que é a velocidade em que a fresadora sai da etapa de trabalho. A profundidade inicial de penetração da primeira camada é de 1 mm, o diâmetro da fresa é de 4 mm, repete o processo mais 9 vezes, pois vai maquinar por 10 camadas sendo a primeira com um incremento de 1 mm e as 9 seguintes têm um incremento de 1,05 mm, totalizando uma profundidade de fresamento de 10,45 mm. A rotação da fresa é de cerca de 1500 rpm e é um parâmetro que se aplica a todas as peças que se maquinam nessa mesa de trabalho.



a)

b)

Figura A-1: Software do programa da roteadora cnc.

a) Peça em formato DXF b) Parametrização da máquina.

A figura A-2 apresenta um exemplo da fresa da roteadora CNC a maquinar placas de policarbonato preto.



Figura A-2: Roteadora CNC a maquinar placas em policarbonato preto.

Na figura A-3 podemos observar a vista geral da roteadora cnc enquanto estava a operar a fazer as placas que mencionei anteriormente, vendo-se também o computador ao lado com o software em utilização.



Figura A-3: Panorama geral da roteadora cnc.

Na Figura A-4 podemos observar as dimensões aproximadas da peça que tem cerca 70 mm de comprimento, 25 mm de largura. A espessura da peça é de 10 mm, o furo é de passagem de 6,5 mm para parafuso de 6 mm (M6), a “*slot*” é de 8,5 mm. De notar que a plataforma verde tem quadrículas de 10 mm, assim dá para ter noção das dimensões da peça.



Figura A-4: Dimensões aproximadas da peça.

Uma outra peça teve fases mais complexas porque é um conjunto de várias subpeças que foram unidas para formar uma única peça. Após o desenho 3D de todas as subpeças, fez-se a respetiva conversão para formato DXF permitindo o corte dessas subpeças na roteadora CNC. Numa subpeça foram abertos cónicos na coluna de furar, noutra subpeça fizeram-se rasgos, e finalmente foram acrescentadas porcas e parafusos para unir todas as subpeças numa só. Essa peça tem um formato de paralelepípedo vazado, para passar um varão roscado e suportar o escorregão. A figura A-5 apresenta a parte superior da peça tipo paralelepípedo:

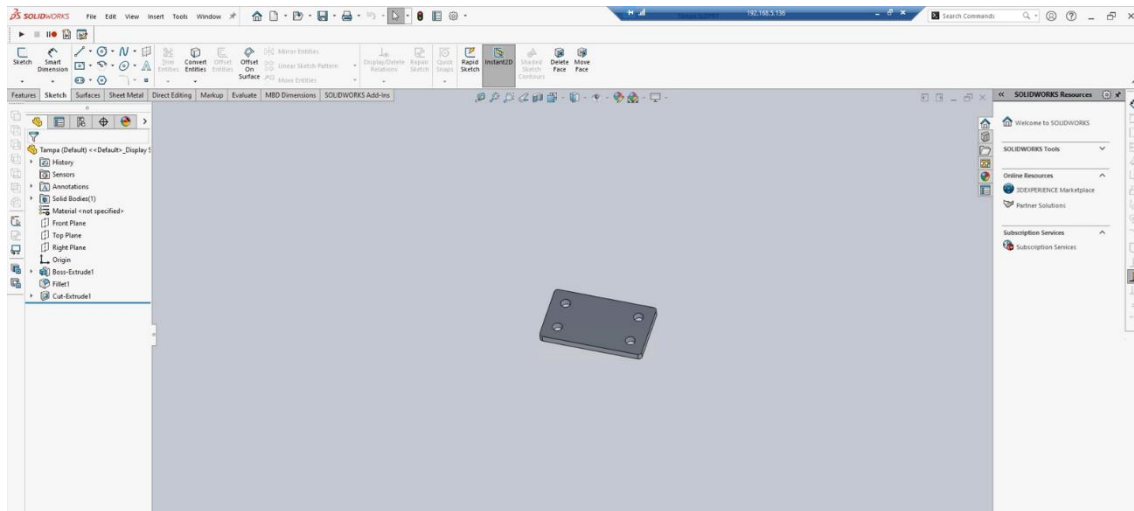


Figura A-5: Parte superior da peça tipo paralelepípedo.

A figura A-6 apresenta a parte intermédia da peça são duas peças exatamente iguais, ficam uma de cada lado da peça.

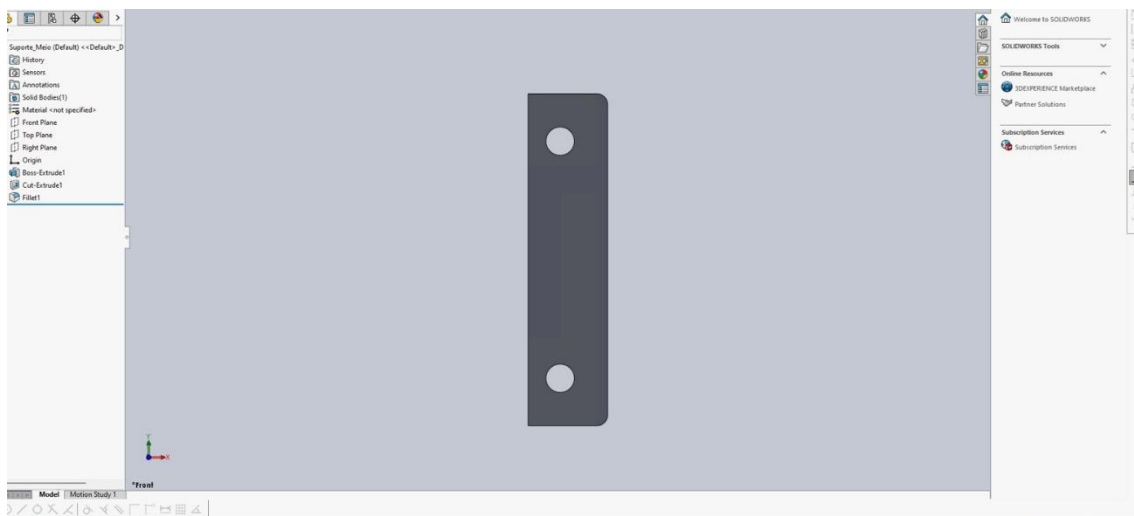
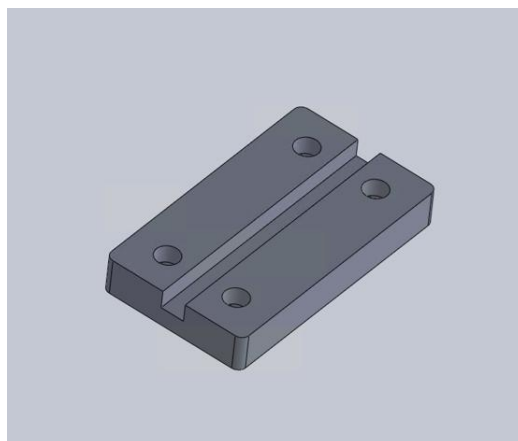


Figura A-6: Parte intermédia da peça.

Na figura A-7 podemos observar a base da peça na vista inferior, na figura A-7 a) foi feito no desenho uma cavidade sextavada para uma porca M6 com um toleranciamento geométrico em que a porca entra à pressão e dificilmente sai. Na vista superior na figura A-7 b) podemos ver 4 furos de passagem para parafuso M6 e um rasgo para passar um varão.



a)



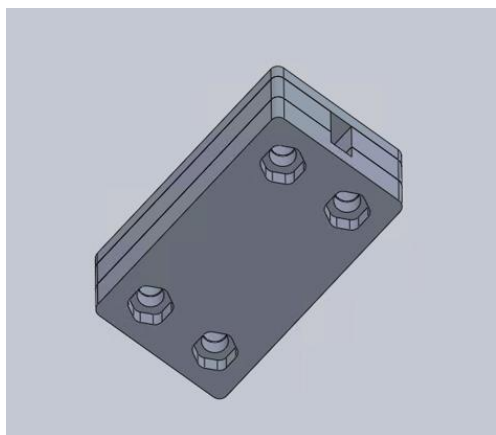
b)

Figura A-7: Base da peça.

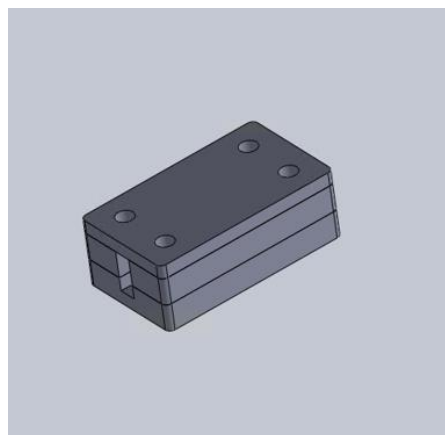
a) Vista inferior. b) Vista superior.

b)

A figura A-8 apresenta a peça tipo paralelepípedo montada com os componentes que a constituem, não mostrando ainda as porcas e parafusos.



a)



b)

Figura A-8: Vistas da peça com todos os componentes montados.

a) Vista inferior. b) Vista superior.

A figura A-9 apresenta a parametrização no software da roteadora CNC da parte da base da peça paralelepipedica em vias de ser maquinada.

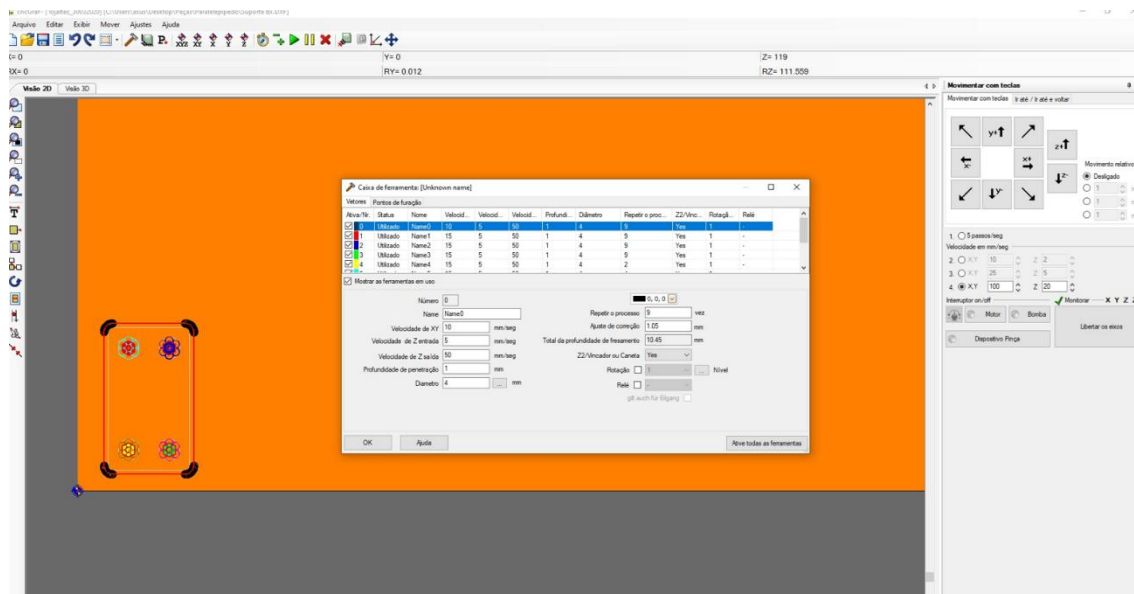


Figura A-9: Exemplo de parametrização da base da peça paralelepípedica no software da roteadora CNC.

A Figura A-10 a) demonstra a abertura de furos cónicos feita na coluna de furar utilizando o escareador. A figura A-10 b) apresenta a abertura do rasgo na parte inferior da peça que constitui a base.



a)



b)

Figura A-10: Operações feitas na coluna de furar e na fresadora.

- a) Abertura de cónicos na parte superior da peça paralelepípedica; b) Abertura de rasgo com a fresadora na base dessa peça.

A figura A-11 apresenta a peça paralelepípedica em várias vistas e com todos os elementos que a constituem.



Figura A-11: Peça paralelepípedica com todos os elementos que a constituem, em várias perspectivas.

A figura A-12 apresenta uma foto da peça paralelepípedica para que possamos ter uma ideia das dimensões do volume da peça. As dimensões são 40 mm de largura, 80 mm de comprimento e 25 mm de profundidade, pois a parte superior da peça tem 5 mm de espessura, as partes intermédias 10 mm e a base tem 10 mm de espessura.



Figura A-12: Foto da peça paralelepípedica com as devidas dimensões na tela a verde.

A figura A-13 apresenta o desenho 3D de duas subpeças que constituem uma única peça, que irá fixar o escorregão ao perfil onde se encontra o Tapete 1 no qual deslizarão as peças.

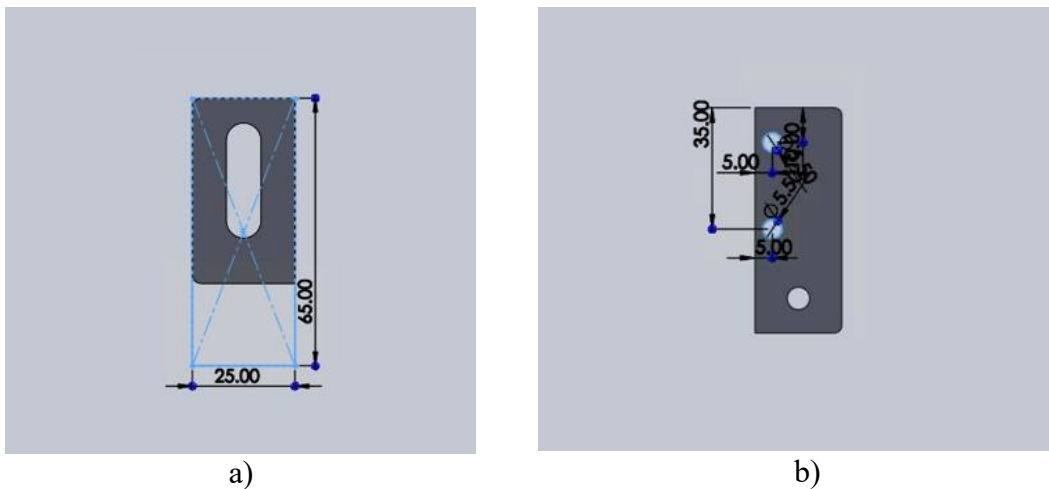


Figura A-13: Desenho 3 D das peças que constituem os suportes do escorregão.

- a) Parte que fixa no tapete 1; b) Parte que está ligada a um varão roscado que fixa uma peça em baixo do escorregão.

A figura A-14 apresenta o programa do software da roteadora CNC da peça da figura A-12 a).



Figura A-14: Programa da peça da Figura A-12 a).

A figura A-15 apresenta o programa do software da peça da figura A-12 b).

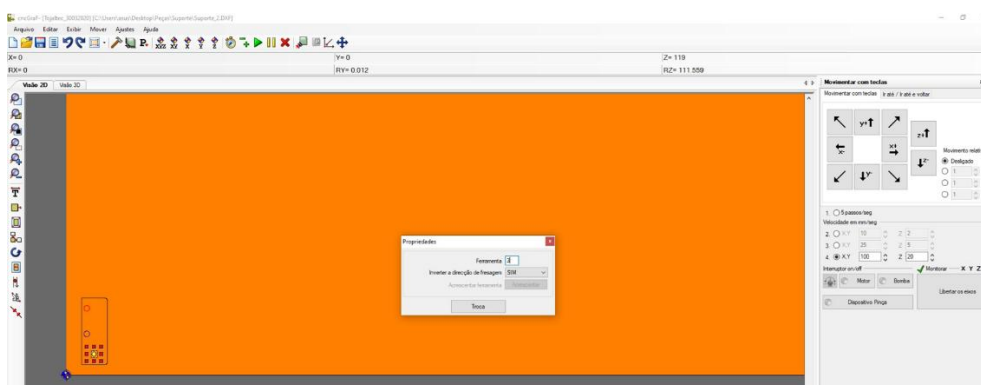


Figura A-15: Programa da peça da figura A-12 b).

De seguida apresento a peça que se encontra logo no início do tapete 1, que faz de batente da peça quando é empurrada pelo cilindro B, após ser elevada pelo monta-cargas. De notar que o ficheiro do desenho 3D foi convertido para DXF, depois incorporado no software da roteadora CNC, a seguir as subpeças foram maquinadas na roteadora CNC, numa subpeça fizeram-se furações na coluna de furar com uma broca de 4,2 mm e roscas na máquina de roscar a M5. Finalmente as subpeças foram unidas por parafusos. A figura A-16 mostra a vista em perspetiva do desenho 3D.

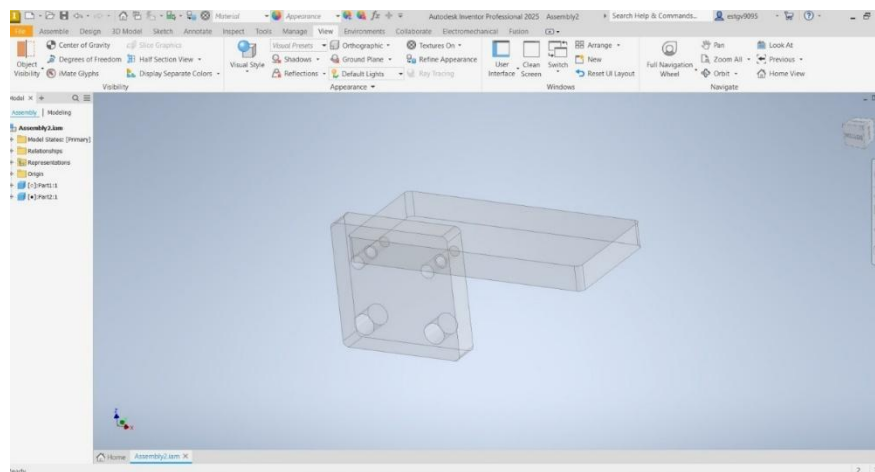


Figura A-16: Vista do desenho 3 D do batente.

Por último as figuras A-17 a), b) e c) apresentam uma coluna de furar, uma roscadora pneumática e um torno para apoiar as peças quando estão a ser roscadas ou furadas.



a)



b)



c)

Figura A-17: Ferramentas utilizadas no trabalho. a) Coluna de furar industrial. b) Roscadora pneumática. c) Torno de coluna.

ANEXO B:

Main:

A Figura B-1 apresenta a vista geral do Menu Geral, “Main” antes de dar início ao Programa do Autômato.

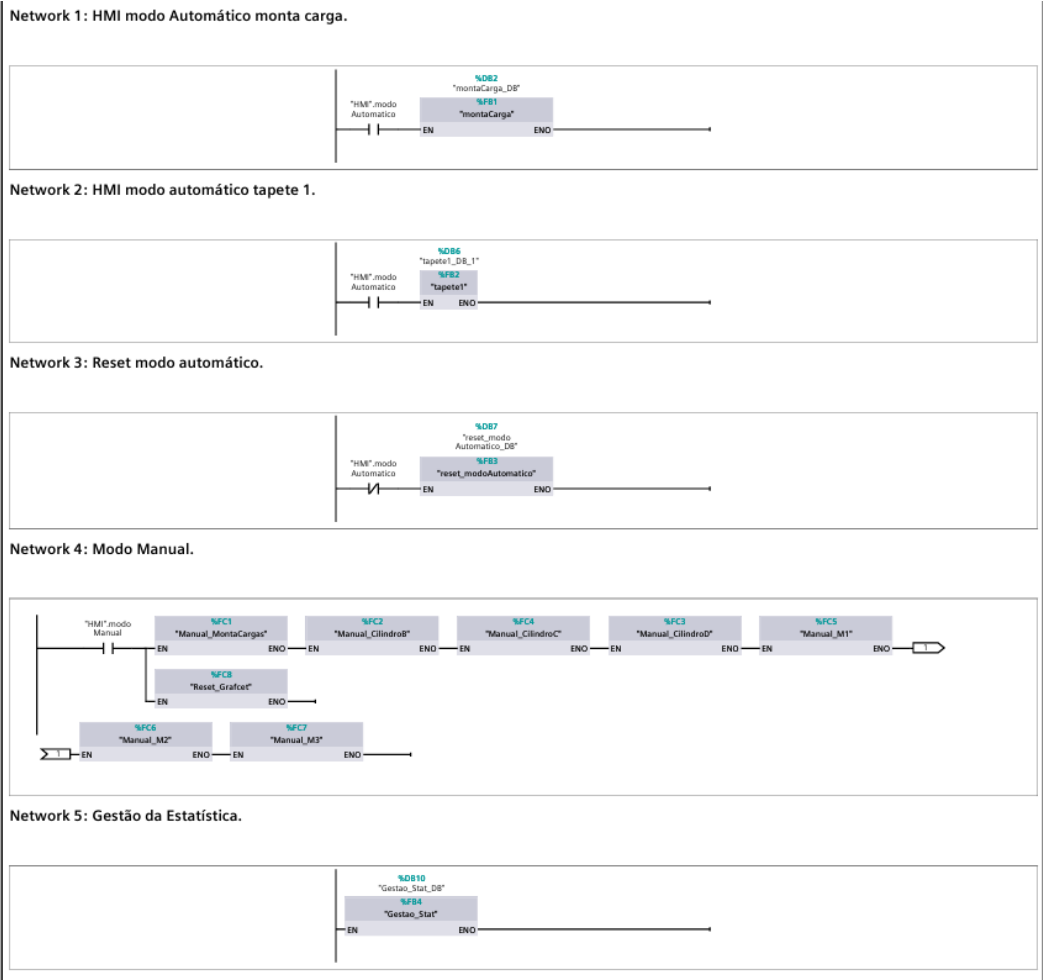


Figura B-1: Main.

ANEXO C

Monta-cargas:

A figura 25 apresenta as variáveis de diversos tipos, as etapas e as ações no Tia Portal do Monta Carga.

Totally Integrated Automation Portal

montaCarga [FB1]

montaCarga Properties

General

Name

montaCarga

Number

1

Type

FB

Language

LAD

Numbering

Automatic

Information

Title

Version

0.1

Author

User-defined ID

Comment

Family

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Write-able from HMI/OPC UA/Web API	Visible in HMI engineering	Setpoint	Supervision	Comment
Input									
Output									
InOut									
Static									
T1	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True		
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False		
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False		
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False		
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False		
Temp									
Constant									

Network 1: Etapa 0 Programacao

Network 2: Etapa 1 Programacao temporizacao

Network 3: Etapa 2 Programação

Network 4: Etapa 3 Programação

Totally Integrated Automation Portal					
montaCarga [FB1]					
montaCarga Properties					
General					
Name	montaCarga	Number	1	Type	FB
Numbering	Automatic			Language	LAD
Information					
Title		Author		Comment	
Version	0.1	User-defined ID		Family	
Name	Data type	Default value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA/Web API	Write-Visible in HMI engineering HMI/OPC UA/Web API
Input					
Output					
InOut					
▼ Static					
▼ T1	TON_TIME		Non-retain	True	True
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False
IN	Bool	false	Non-retain	True	True
Q	Bool	false	Non-retain	True	False
Temp					
Constant					
Network 1: Etapa 0 Programacao					
Network 2: Etapa 1 Programacao temporizacao					
Network 3: Etapa 2 Programação					
Network 4: Etapa 3 Programação					

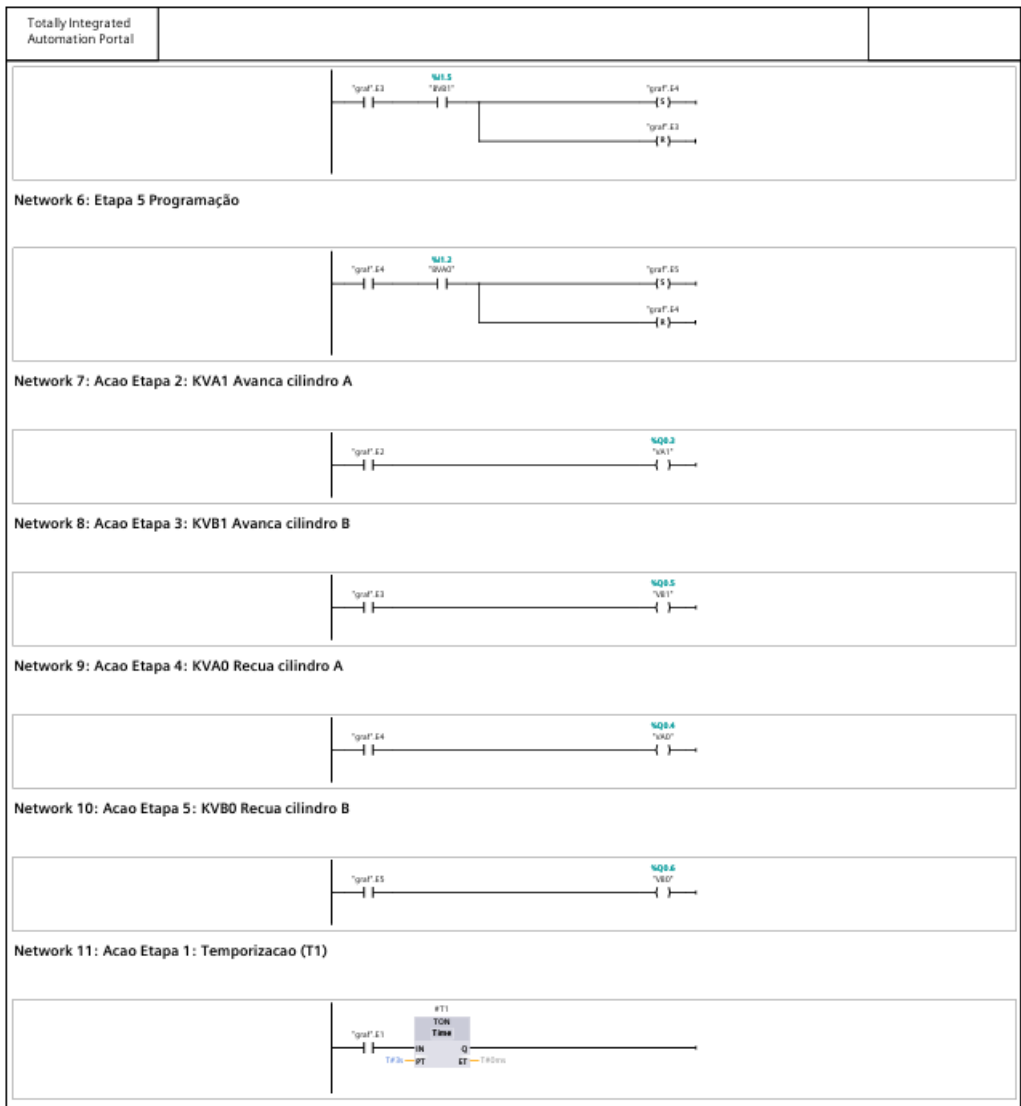


Figura C-1: *Grafcet* monta-cargas.

ANEXO D

Tapete 1:

A figura D-1 que se segue apresenta todas as variáveis, Etapas e ações que envolvem o Tapete 1.

tapete1 [FB2]

tapete1 Properties

General

Name	tapete1	Number	2	Type	FB	Language	LAD
Numbering	Automatic						

Information

Title		Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

Name	Data type	Default value	Retain	Accessible from HMU/OPC UA/Web API	Writ-Visible in able HMI engi- from HMU/ OPC UA/ Web API	Setpoint	Supervi- sion	Comment
Input								
Output								
InOut								
▼ Static								
bitUnico	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
bitBVBO	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
▼ T2	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True	
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False	
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False	
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False	
▼ IEC_Timer_0_Instance	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True	
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False	
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False	
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False	
▼ T3	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True	
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False	
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False	
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False	
▼ IEC_Timer_0_Instance_1	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True	
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False	
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False	
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False	
▼ T4	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True	
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False	
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False	
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False	
▼ T5	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True	
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False	
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False	
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False	
▼ T6	TON_TIME		Non-retain	True	True	True	True	
PT	Time	T#0ms	Non-retain	True	True	True	False	
ET	Time	T#0ms	Non-retain	True	False	True	False	
IN	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False	
Q	Bool	false	Non-retain	True	False	True	False	
Temp								
Constant								

Network 1: Etapa 10 Programacao Etapa inicial

%M1.0

T#0.0s

↑

%grd#510

↓

%grd#516

↑

#T5.Q

↓

%grd#516

↑

%grd#520

↑

#T5.Q

↓

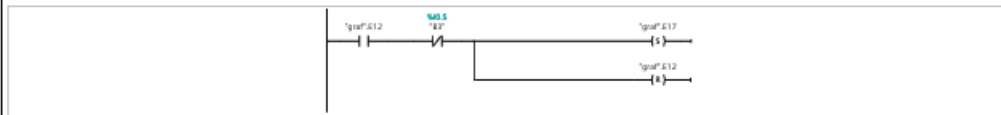
%grd#520

↑

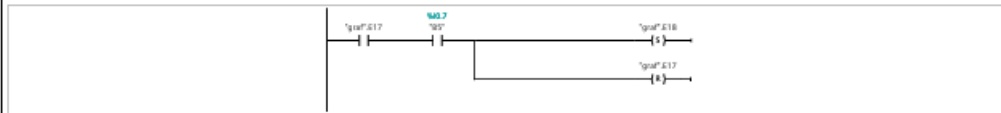
Network 2: Etapa 11 Programacao deteta o cilindro B recuado com b0 no flanco positivo		

Totally Integrated Automation Portal		
Network 3: Etapa 12 Programacao		
Network 4: Etapa 13 Deteta peça metálica		
Network 5: Etapa 14 transicao sensor capacitivo cilindro C		
Network 6: Etapa 15 Avanca cilindro C		
Network 7: Etapa 16 Aciona o tapete 2		

Network 8: Etapa 17 Deteta peca nao metalica



Network 9: Etapa 18 Transicao sensor capacitivo cilindro D



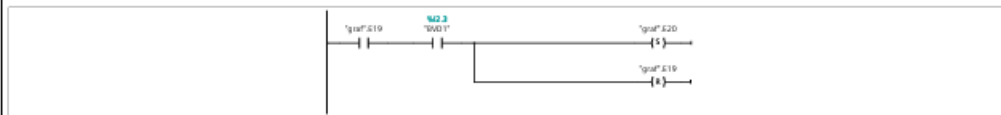
Network 10: Etapa 19 avanca cilindro D



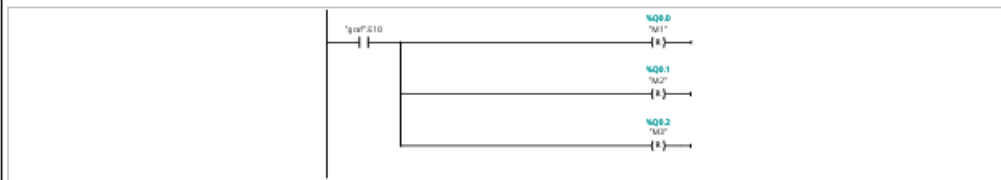
Totally Integrated Automation Portal



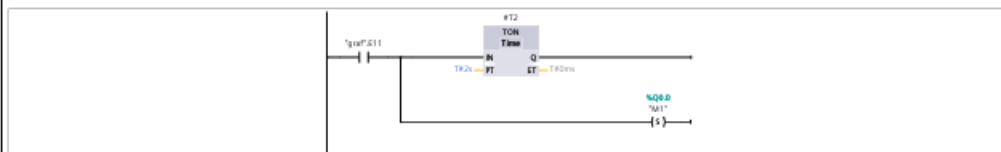
Network 11: Etapa 20 Aciona Tapete 3



Network 12: acao Etapa 10



Network 13: acao etapa11



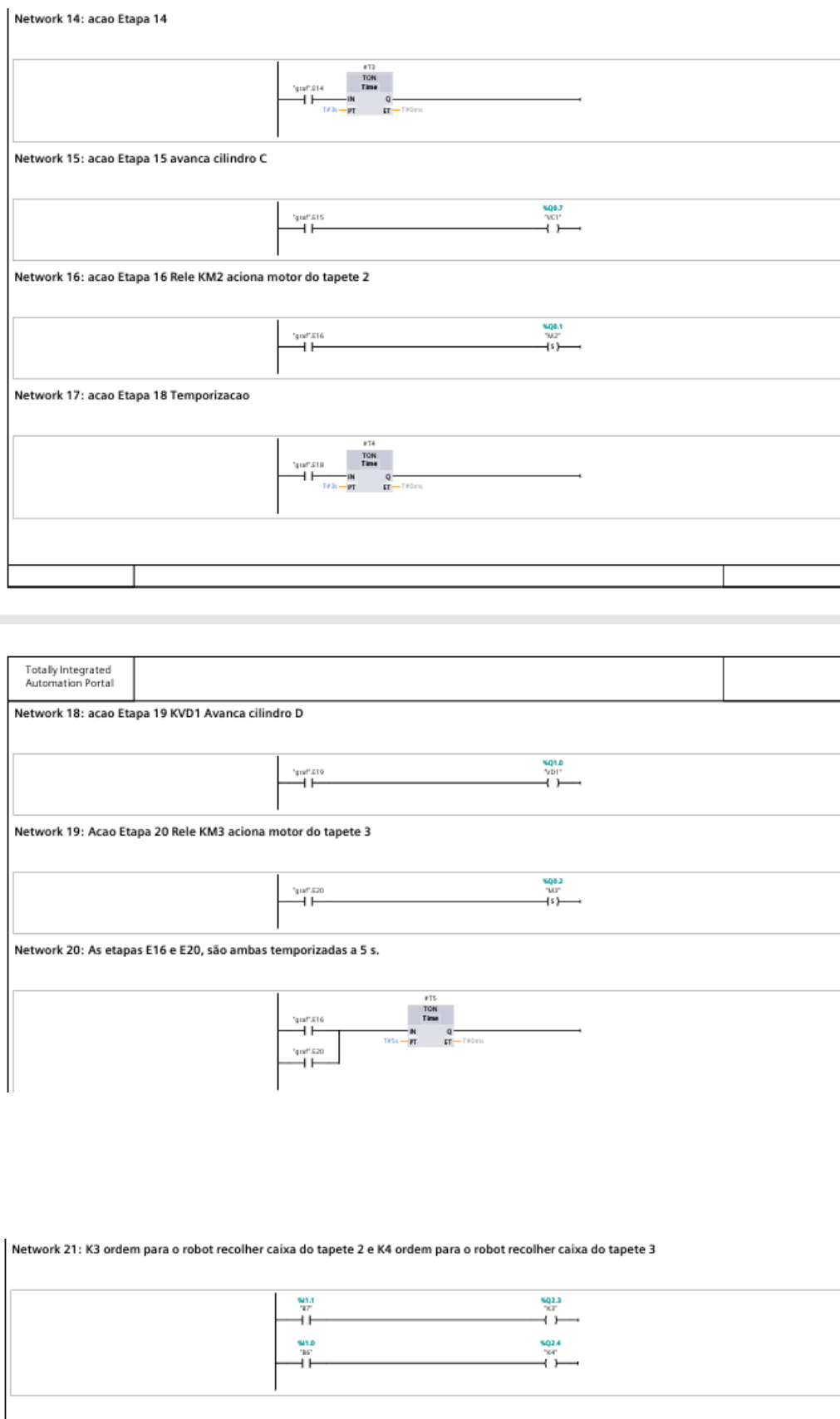


Figura D-1: *Grafcet* tapete 1.

ANEXO E:

Reset grafcet:

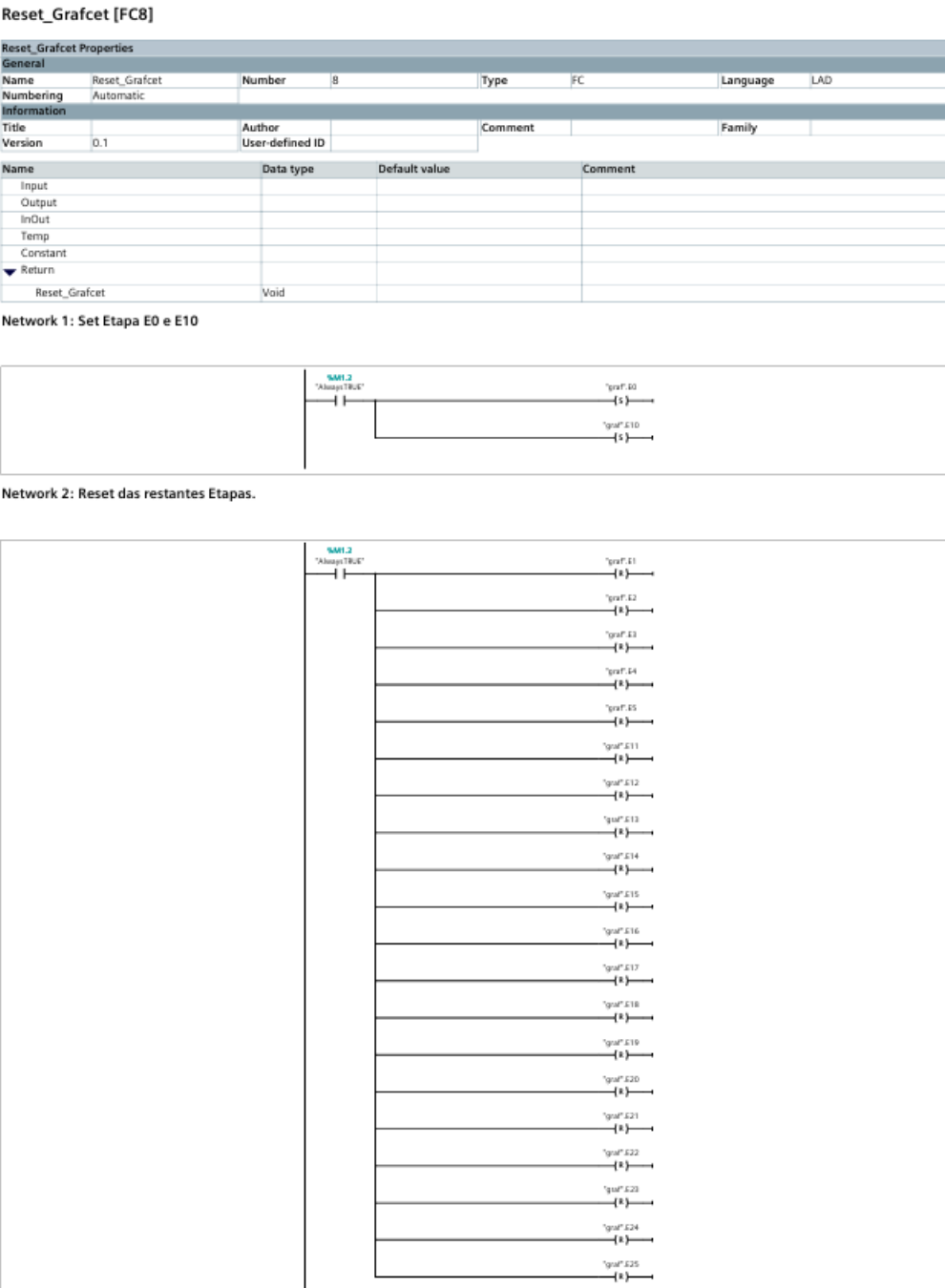
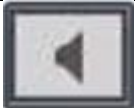


Figura E-1: Reset grafcet.

ANEXO F

A tabela F-1 apresenta os símbolos e ações que cada símbolo representa na HMI com o ecrã em Modo Manual e no caso dos círculos com o ecrã em Modo Manual e/ou Automático.

Tabela F-1: Símbolos e ações que representam na HMI.

Símbolo	Ação
	Quando esta seta é premida, poderá acionar os cilindros monta cargas, B, C e D, para além de poder colocar em marcha os motores dos tapetes 1, 2 e 3.
	Quando esta seta é premida, irá fazer recuar o cilindro monta cargas e o cilindro B, este símbolo só se aplica a esses dispositivos, porque são ambos cilindros de duplo efeito.
	Quando o círculo está a vermelho, significa que o seu estado está desativado.
	Quando o círculo está a verde, significa que o seu estado está ativado.