



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Sistema de Comando Remoto de uma Linha de Produção Automatizada

Pedro Miguel Abreu Amaral

Dissertação

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Energia e Automação Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho
Professor Doutor Miguel Francisco Martins de Lima

Outubro de 2025



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Sistema de Comando Remoto de uma Linha de Produção Automatizada

Pedro Miguel Abreu Amaral

Dissertação

Mestrado em Eng.º Eletrotécnica – Energia e Automação Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho
Professor Doutor Miguel Francisco Martins de Lima

Outubro de 2025

RESUMO

A presente dissertação descreve o desenvolvimento de um sistema de controlo remoto aplicado a uma linha de produção automatizada, concretizado através de uma Célula Flexível de Fabrico (CFF). O sistema integra robôs industriais ABB, máquinas CNC, um sistema de transporte, um armazém e um autómato programável Siemens S7-1200, garantindo este a coordenação e supervisão de todos os processos.

O trabalho envolveu a programação dos robôs em RAPID, a implementação da lógica de controlo no PLC, o desenvolvimento de uma interface HMI para operação local e a criação de uma página web que possibilita o controlo remoto. Foram também integrados mecanismos de monitorização de alarmes, registo da produção em bases de dados locais e online e rotinas de segurança, de modo a assegurar a fiabilidade e segurança do sistema.

Os resultados obtidos mostram que a solução desenvolvida permite ao operador monitorizar e controlar a célula em tempo real, tanto localmente como à distância, aumentando a flexibilidade, a eficiência e a segurança operacional. Este trabalho contribui, assim, para a aplicação prática dos conceitos da Indústria 4.0, servindo de modelo replicável em outros contextos industriais.

AGRADECIMENTOS

A presente dissertação assinala a conclusão de uma etapa muito significativa da minha vida. Foi um percurso marcado por intenso trabalho e dedicação, mas não teria sido possível chegar até aqui sem o apoio de várias pessoas, às quais manifesto o meu mais sincero agradecimento.

Agradeço especialmente aos meus orientadores, os Professores Doutores António Ferrolho e Miguel Lima, pela orientação, disponibilidade, críticas construtivas e palavras de incentivo, não só neste projeto, mas em todo o meu percurso na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.

Ao mestre João Olás, pelo apoio constante, disponibilidade e atenção durante a realização deste trabalho, bem como pela partilha de conhecimentos, que foi essencial para a sua concretização.

Agradeço também a todos os professores e colegas do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da ESTGV pela colaboração e contributo para o sucesso deste projeto.

À minha família e amigos, pelo incentivo, pela coragem que sempre me transmitiram e pelo apoio na superação dos obstáculos surgidos ao longo deste percurso. Sem a vossa presença e confiança, teria sido muito mais difícil alcançar os objetivos definidos.

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
ABREVIATURAS E SIGLAS	xv
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	1
1.2 Estrutura do relatório	2
2 Revisão histórica	3
2.1 Evolução tecnológica da indústria	3
2.2 <i>Industrial Internet of Things</i>	4
2.2.1 Arquitetura de uma plataforma IIoT	4
2.3 Automação industrial	7
2.3.1 Definição e conceitos fundamentais	7
2.3.2 Evolução da automação industrial	8
2.3.3 Tipos de automação	8
2.4 Robótica industrial	9
2.4.1 Definição de robótica industrial	9
2.4.2 Evolução da robótica industrial	9
2.4.3 Características de robôs industriais	11
2.4.3.1 Tipos de juntas/graus de liberdade	11
2.4.3.2 Características dinâmicas do robô industrial	13
2.4.3.3 Carga e área de trabalho de um robô industrial	14
2.4.4 Tipos de robôs industriais	15
2.4.4.1 Robôs articulados	15
2.4.4.2 Robôs cartesianos	15
2.4.4.3 Robôs cilíndricos	15
2.4.4.4 Robôs SCARA	15
2.4.4.5 Robôs delta	16
2.4.4.6 Robôs polar	16

ÍNDICE GERAL

2.4.4.7	AGV	16
2.4.5	Vantagens da robótica industrial	16
2.5	Célula flexível de fabrico/Sistema flexível de fabrico	17
2.5.1	Vantagens e desvantagens dos SFF ou CFF	17
3	Arquitetura de hardware e software.....	19
3.1	Hardware utilizado.....	19
3.2	Transportador.....	20
3.3	Setor do armazém	25
3.3.1	Robô manipulador	26
3.3.1.1	Ferramenta de trabalho	28
3.3.2	Estação de descarregamento de produtos acabados.....	29
3.4	Setor de fabrico	30
3.4.1	Robô manipulador	30
3.4.1.1	Ferramenta de trabalho	31
3.4.2	Fresadora EMCO Concept Mill 155	33
3.4.3	Torno EMCO Concept Turn 55	34
3.5	Controlo e segurança da CFF	35
3.6	Software utilizado.....	37
3.6.1	<i>RobotStudio</i>	37
3.6.2	TIA Portal	38
3.6.3	<i>SolidWorks</i>	38
3.6.4	<i>TouchFinder</i>	39
3.6.5	<i>MasterCam</i>	39
4	Trabalho desenvolvido.....	41
4.1	Gestor da CFF.....	41
4.2	Simulação da CFF.....	44
4.2.1	Modelação dos componentes da CFF	45
4.2.2	Integração final no <i>RobotStudio</i>	48
4.3	Programação RAPID	52
4.3.1	Setor de armazenamento.....	52
4.3.1.1	Carregamento da matéria-prima	52
4.3.1.2	Descarregamento do produto acabado.....	54

4.3.2	Setor de fabrico.....	56
4.3.2.1	Descarregamento das paletes de MP para os <i>buffers</i>	56
4.3.2.2	Pedido de peças para fabrico	56
4.3.2.3	Carregamento das máquinas CNC.....	57
4.3.2.4	Carregamento da paleta do produto acabado.....	60
4.3.3	Registo local da produção.....	60
4.3.4	Segurança da CFF.....	61
4.4	Sistema de visão	63
4.4.1	Parametrização do sistema de visão	64
4.4.2	Envio de dados para o PLC	66
4.5	HMI – <i>Human-Machine Interface</i>	67
4.6	Página web.....	75
4.6.1	Acesso remoto	83
4.6.1.1	Configuração do router para o acesso remoto	84
4.6.1.2	Solução implementada.....	84
5	Conclusões e propostas para trabalhos futuros.....	85
5.1	Conclusões.....	85
5.2	Propostas para trabalhos futuros	86
	Referências	87
Anexo A	Interface robótica.....	91
Anexo B	GRAFNETs.....	96
Anexo C	Esquema das ligações do PLC (gestor da CFF).....	99
Anexo D	Esquema elétrico 0/24V e esquema de potencia (gestor da CFF)	100
Anexo E	Endereços de memória da camara FQ2 Séries	101
Anexo F	Configuração do router para o acesso remoto	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução histórica da Indústria [2].	4
Figura 2 – Arquitetura de uma plataforma IIoT [4].	5
Figura 3 – Tipos de automação [7].	8
Figura 4 – Primeiro robô industrial - Unimate [12].	10
Figura 5 – Exatidão versus Repetibilidade [15].	13
Figura 6 – Robô industrial ABB IRB 140 [17].	14
Figura 7 – <i>Layout</i> da CFF do laboratório de automação e robótica [15].	19
Figura 8 – Célula flexível de fabrico.	20
Figura 9 – Configuração do transportador.	21
Figura 10 – Paletes do transportador.	21
Figura 11 – Estrutura da codificação das paletes.	22
Figura 12 – Disposição dos sensores indutivos.	23
Figura 13 – <i>Stopper</i> do sistema de transporte.	23
Figura 15 – Armazém da matéria-prima da fresadora.	26
Figura 16 – Robô ABB IRB 1400 [24].	27
Figura 17 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 1400 (lado direito).	28
Figura 18 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 1400 (lado esquerdo).	29
Figura 19 – Estação de descarregamento de produtos acabados.	29
Figura 20 – <i>Buffers</i> de peças do setor de fabrico.	30
Figura 21 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 140 (lado esquerdo).	32
Figura 22 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 140 (lado direito).	32
Figura 23 – Fresadora EMCO Concept Mill 155.	33
Figura 24 – Torno EMCO Concept Turn 55.	34
Figura 25 – Botoneiras de controlo.	36
Figura 26 – Sensores óticos de intrusão.	36
Figura 27 – Balizas de sinalização luminosa e sonora.	37
Figura 28 – Funcionamento CAD/CAM/CNC [15].	40
Figura 29 – Antigo gestor da CFF.	41
Figura 30 – Novo <i>layout</i> da maquete do gestor da CFF.	42
Figura 31 – Novo gestor da CFF.	43
Figura 32 – Menus do software <i>SolidWorks</i> .	44
Figura 33 – Estrutura 3D da fresadora.	44
Figura 34 – Representação da estrutura do armazém e das paletes.	45
Figura 35 – Representação do transportador da CFF.	46
Figura 36 – Representação da CNC fresadora e torno.	47
Figura 37 – Elementos desenvolvidos no software <i>SolidWorks</i> .	48
Figura 38 – Representação da CFF no <i>RobotStudios</i> .	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 39 – <i>Line sensor</i> instalado no <i>gripper</i> do robô.....	50
Figura 40 – “Função” responsável por pegar/largar as peças do <i>gripper</i>	50
Figura 41 – <i>Plane sensors</i> instalados nas paletes.	51
Figura 42 – Função responsável por fazer o movimento da paleta entre o setor do armazém e o setor de fabrico.	51
Figura 43 – Carregamento da paleta PMPT.	53
Figura 44 – Posição de inspeção da paleta no tapete transportador.	53
Figura 45 – Resultados das inspeções às paletes.	54
Figura 46 – Inspeção da paleta de produtos acabados.....	55
Figura 47 – Descarregamento do produto acabado.	55
Figura 48 – Rotina responsável por receber e processar pedidos de peças para fabrico.	57
Figura 49 – Pontos de carregamento das máquinas CNC.....	58
Figura 50 – Carregamento do torno.....	59
Figura 51 – Rotinas TRAP e <i>interrupts</i> associados.....	59
Figura 52 – Registo local da produção efetuado pelo robô.	61
Figura 53 – Registo local de alarmes e eventos de segurança da CFF.....	62
Figura 54 – Comunicação entre o PLC e as câmeras FQ2.	63
Figura 55 – Parametização do protocolo e endereço IP da camara do setor de fabrico.	64
Figura 56 – Identificação de peças com o julgamento OK.....	65
Figura 57 – Identificação de peças com o julgamento NG.....	65
Figura 58 – Zonas e avaliação da inspeção das peças na paleta.	66
Figura 59 – Tratamento de dados e identificação da peça.....	67
Figura 60 – Organização dos ecrãs na HMI.	68
Figura 61 – Ecrã de inicialização (CFF).	69
Figura 62 – Ecrã de legendas.....	70
Figura 63 – Ecrã de informações do projeto.....	70
Figura 64 – Ecrã de seleção do armazém.	71
Figura 65 – Ecrã da paleta PMPF do setor de armazém.....	72
Figura 66 – Ecrã de produção do torno.	72
Figura 67 – Ecrã dos alarmes do setor do armazém.	73
Figura 68 – Ecrã dos comandos.....	74
Figura 69 – Bloco responsável por criar a página web.....	75
Figura 70 – Definição do nível de acesso dos utilizadores.....	76
Figura 71 – Ficheiros do webserver.....	77
Figura 72 – Ecrã de entrada do webserver.....	77
Figura 73 – Página inicial do webserver.....	78
Figura 74 – Processo de <i>login</i> e geração de <i>token</i>	79
Figura 75 – Página web da paleta PPAF do setor do armazém.	79
Figura 76 – Geração e download da tabela em ficheiro excel.	80
Figura 77 – Ficheiro excel gerado pela página web.	80
Figura 78 – Limpeza dos dados da tabela.....	81

Figura 79 – Página web da produção do torno do setor de fabrico.	82
Figura 80 – Página web alarmes do setor de armazém.	82
Figura 81 – Página web de comandos da CFF.	83
Figura 82 – Acesso remoto à CFF através do software AnyDesk.	84
Figura B-1 – GRAFCET do carregamento e inspeção da paleta PPAF no setor de fabrico. ...	96
Figura B-2 – GRAFCET do envio de dados da paleta PMPF do setor de armazém para a página web.	97
Figura B-3 – GRAFCET do alerta de paragem manual no setor de armazém.	98
Figura E-1 – Endereços de memória do sistema de visão FQ2 [35].	102
Figura F-1 – Definição do IP público estático.	103
Figura F-2 – Configuração da regra de “ <i>Port Forwarding</i> ” para o PLC.	103
Figura F-3 – Configuração do domínio dinâmico DDNS.	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de juntas de robôs e os seus graus de liberdade [14].	12
Tabela 2 – Codificação das paletes.....	22
Tabela 3 – Principais características do robô ABB IRB 1400 [24] e [25].	27
Tabela 4 – Combinação do estado lógico dos sensores indutivos.	28
Tabela 5 – Principais características do robô ABB IRB 140 [17].....	31
Tabela 6 – Principais características da fresadora EMCO Concept Mill 155 [26].....	34
Tabela 7 – Principais características do torno EMCO Concept Turn 55 [27].	35
Tabela A-1 – Interface de comunicação entre o PLC e os sensores/atuadores da CFF.....	91
Tabela A-2 – Interface de comunicação entre o PLC e controlador do robô IRB 1400.....	92
Tabela A-3 – Interface de comunicação entre o PLC e controlador do robô IRB 140.....	93
Tabela A-4 – Interface de comunicação entre o torno CNC e controlador do robô IRB 140. .	94
Tabela A-5 – Interface de comunicação entre a fresadora CNC e controlador do robô IRB 140.	95

ABREVIATURAS E SIGLAS

CFF	Célula Flexível de Fabrico
CNC	Controlo Numérico Computadorizado
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
RAPID	<i>Robot Application Programming Interface and Development</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
TIA Portal	<i>Totally Integrated Automation Portal</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IIOT	<i>Industrial Internet of Things</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
OPC UA	<i>Open Platform Communications Unified Architecture</i>
AMQP	<i>Advanced Message Queuing Protocol</i>
CoAP	<i>Constrained Application Protocol</i>
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i>
AGVs	<i>Automated Guided Vehicles</i>
SFF	Sistema Flexível de Fabrico
GRAF CET	<i>Graphe Fonctionnel de Commande Étape/Transition</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
NC	<i>Numerical Control</i>
DC	Corrente Continua
AC	Corrente Alternada

ABREVIATURAS E SIGLAS

MP	Matéria-Prima
PA	Produto Acabado
PMPT/PMPF	Paleta Matéria-Prima (Torno/Fresadora)
PPAT/PPAF	Paleta Produto Acabado (Torno/Fresadora)
BMPT/BMPF	<i>Buffer</i> Matéria-Prima (Torno/Fresadora)
BPAT/BPAF	<i>Buffer</i> Produto Acabado (Torno/Fresadora)
FIFO	<i>First In, First Out</i>
PROFINET	<i>Process Field Network</i>
OCR	<i>Optical Character Recognition</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i>
DB	<i>Data Block</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
DDNS	<i>Dynamic Domain Name System</i>

1 Introdução

A Indústria 4.0 introduziu um novo paradigma nos sistemas produtivos, baseado na digitalização, interligação e integração dos processos de fabrico. A necessidade crescente de flexibilidade, eficiência e controlo em tempo real tem impulsionado o desenvolvimento de soluções que permitem monitorizar e controlar remotamente as linhas de produção.

Neste contexto, o presente trabalho de dissertação centra-se no desenvolvimento de um sistema de controlo remoto para uma linha de produção automatizada, concretizado por meio de uma Célula Flexível de Fabrico (CFF). Esta célula integra robôs industriais ABB, máquinas CNC, um sistema de transporte, um armazém e um autómato programável Siemens S7-1200, sendo este responsável por assegurar a comunicação e a coordenação entre todos os componentes.

O projeto consistiu na implementação de uma solução prática e robusta, capaz de coordenar o funcionamento contínuo de todos os elementos da célula. No setor do armazém, o robô assegura o carregamento e descarregamento das paletes de matérias-primas e de produtos acabados, movimentando-as através do transportador e abastecendo os *buffers* do setor de produção, de modo a preparar o processamento futuro solicitado pelo operador.

A nível de controlo, a solução desenvolvida disponibiliza duas formas de operação: localmente, através de uma interface HMI (*Human Machine Interface*) dedicada, e remotamente, por meio de uma página web interativa, acessível em qualquer dispositivo com ligação à internet. Esta combinação não só permite a supervisão em tempo real, como também a execução de pedidos de fabrico, a gestão de alarmes e a monitorização da produção, reforçando a eficiência e a flexibilidade da CFF.

Adicionalmente, a integração destas plataformas possibilitou o registo da produção, tanto localmente como em bases de dados *online*, bem como a implementação de mecanismos de segurança operacional fundamentais para garantir a fiabilidade e a continuidade do processo.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo conceber e validar um sistema de controlo remoto para uma linha de produção automatizada, concretizada numa CFF, que inclui robôs ABB, máquinas CNC, um transportador, um armazém e um PLC Siemens S7-1200. O sistema pode ser operado localmente (HMI) ou remotamente (página web). Em conformidade com este enquadramento, foram definidos os seguintes objetivos:

- Programar os robôs ABB IRB1400 (armazém) e IRB140 (fabrico) na linguagem RAPID, de modo a garantir o funcionamento autónomo, seguro e repetível dos ciclos de carregamento/descarregamento de paletes, a gestão de *buffers* e a interação com as máquinas CNC;

- Desenvolver o controlo central no PLC Siemens S7-1200 (TIA Portal) e a HMI associada, assegurando:
 - A leitura/atuação fiável de sensores, atuadores e *stoppers*;
 - Disponibilização das variáveis/serviços necessários à operação local e remota.
- Conceber e implementar uma interface web integrada no servidor web do PLC para monitorização e controlo remoto da CFF, permitindo:
 - Iniciar/parar a célula;
 - Efetuar pedidos de fabrico para o torno e para a fresadora;
 - Consultar produções e alarmes em tempo real.
- Integrar e sincronizar os robôs, PLC/HMI e interface web, mantendo a consistência dos estados entre os modos local e remoto.

1.2 Estrutura do relatório

O presente relatório encontra-se organizado em cinco capítulos principais e 6 anexos.

No **capítulo 1** é apresentado o enquadramento do tema, os objetivos definidos para o trabalho e a organização do documento.

O **capítulo 2** aborda os principais conceitos relacionados com a Indústria 4.0 e a evolução dos sistemas de automação industrial, servindo de base teórica para o desenvolvimento do projeto.

O **capítulo 3** descreve os equipamentos e as ferramentas de software envolvidos na Célula Flexível de Fabrico (CFF), detalhando as respetivas características e funções no sistema.

O **capítulo 4** apresenta a implementação prática do projeto, incluindo a programação dos robôs, a lógica de controlo no PLC, a configuração da HMI, o desenvolvimento da página web e os mecanismos de monitorização e segurança.

O **capítulo 5** sintetiza os resultados alcançados, avaliando o grau de cumprimento dos objetivos propostos, e apresenta algumas considerações sobre possíveis melhorias e trabalhos futuros.

Os **anexos** reúnem a documentação técnica de suporte relevante, como esquemas, interfaces e mapeamentos.

2 Revisão histórica

2.1 Evolução tecnológica da indústria

Ao longo da história, a indústria sofreu transformações significativas que impactaram profundamente a nossa sociedade. Estas mudanças, conhecidas como revoluções industriais, representam saltos tecnológicos e organizacionais que redefiniram a forma como produzimos bens e serviços.

A primeira revolução industrial, que ocorreu entre 1760 e 1840, foi marcada pela introdução de máquinas a vapor e sistemas hidráulicos, que marcaram o início da mecanização. A mecanização substituiu o trabalho manual, aumentando a produtividade e eficiência, especialmente nos setores têxtil e ferroviário. Inovações como a máquina a vapor e o tear mecânico impulsionaram o surgimento de fábricas, levando à urbanização e a transformações nas relações laborais.

Na segunda metade do século XIX (1850-1870), surgiu a segunda Revolução Industrial com a introdução da eletricidade, que possibilitou a produção em massa. Henry Ford popularizou as linhas de montagem, padronizando produtos e otimizando a divisão do trabalho. Entre as inovações importantes contavam-se o motor de combustão interna, o telefone e a lâmpada elétrica, que aceleraram o crescimento económico e a expansão dos transportes e das comunicações.

A terceira revolução industrial, que teve início por volta de 1950, introduziu a automação, integrando a eletrônica e a tecnologia da informação. A utilização de computadores, robôs e PLC automatizou os processos, aumentando a sua precisão e eficiência. As inovações, como os microprocessadores, a internet e a robótica industrial, impulsionaram a globalização e iniciaram a era digital.

Por fim, a quarta revolução industrial, também conhecida como Indústria 4.0, teve início por volta de 2011 e continua em desenvolvimento até aos dias de hoje. Esta fase é caracterizada pela digitalização avançada e pela comunicação interligada através da Internet das Coisas (IoT). Os sistemas ciberfísicos, a inteligência artificial e o *Big Data* permitem a comunicação em tempo real entre máquinas, produtos e pessoas, criando fábricas inteligentes e altamente flexíveis. Inovações como a manufatura aditiva (impressão 3D), gêmeos digitais e a análise de dados em larga escala estão a impulsionar novos modelos de negócio. O foco desta era industrial está na personalização em massa, na flexibilidade produtiva e na otimização de recursos através da integração de tecnologias digitais avançadas nos processos de produção [1].

A Figura 1 ilustra de forma clara a evolução histórica da indústria, destacando as principais características de cada revolução industrial, desde a mecanização da indústria até à utilização da Internet das Coisas nos dias de hoje.

EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA



Figura 1 – Evolução histórica da Indústria [2].

2.2 Industrial Internet of Things

A Indústria 4.0 é caracterizada pela integração de tecnologias avançadas e conceitos inovadores que transformam os ecossistemas industriais, dando origem a fábricas inteligentes e interligadas. Um dos principais pilares desta revolução é a Internet das Coisas Industrial ou *Industrial Internet of Things* (IIoT), que é um subconjunto da Internet das Coisas ou *Internet of Things* (IoT), destinado especificamente a aplicações em ambientes industriais.

A IIoT estabelece uma vasta rede de dispositivos inteligentes, como sistemas ciberfísicos, tecnologias de informação e plataformas de computação em nuvem. Estes componentes comunicam entre si de forma contínua e automatizada, permitindo a monitorização e análise em tempo real dos processos produtivos. Além disso, a IIoT possibilita o controlo remoto de sistemas industriais, otimizando a eficiência, melhorando a segurança e permitindo ajustes rápidos e precisos em operações complexas. Deste modo, as empresas podem reduzir custos, aumentar a produtividade e tomar decisões baseadas em dados altamente confiáveis [3].

2.2.1 Arquitetura de uma plataforma IIoT

A arquitetura de uma plataforma IIoT é fundamental para compreender como os sistemas industriais modernos são estruturados e operam na era da Indústria 4.0. Uma plataforma IIoT

típica é composta por várias camadas interligadas, cada uma desempenhando um papel crucial na recolha, transmissão, processamento e utilização de dados industriais.

A arquitetura de uma plataforma IIoT, como a mostrada na Figura 2, geralmente inclui as seguintes camadas principais [4]:

1. Componentes Físicos;
2. Métodos de Comunicação;
3. Agregação de Dados;
4. Armazenamento e Análise de Dados;
5. Interface do Utilizador.

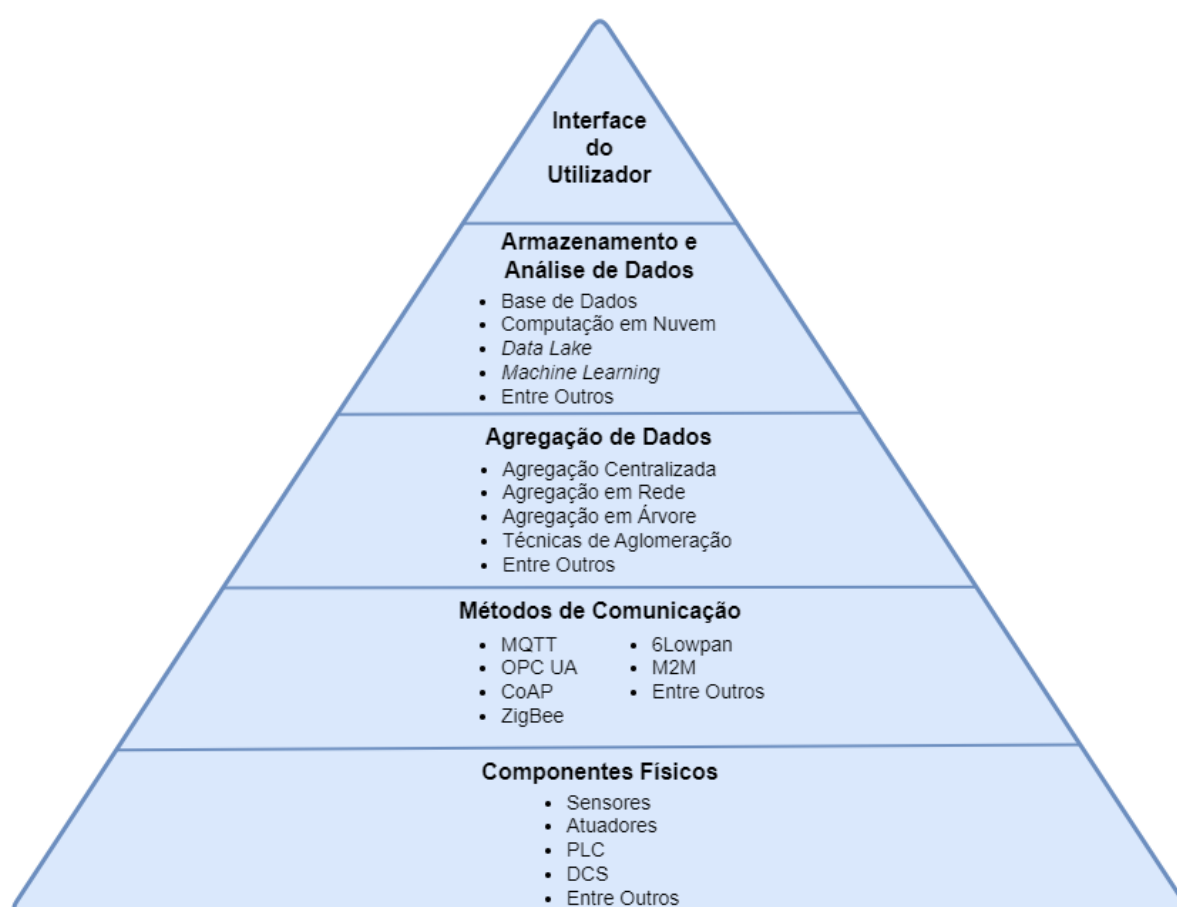


Figura 2 – Arquitetura de uma plataforma IIoT [4].

1. Componentes físicos

Esta camada constitui a base da arquitetura IIoT e consiste em dispositivos físicos e sensores distribuídos pelo ambiente industrial. Esta inclui uma variedade de equipamentos, como sensores, atuadores, controladores lógicos programáveis (PLC), sistemas de controlo distribuído e outros dispositivos de campo. Estes componentes são responsáveis pela recolha

dos dados brutos do processo industrial, como temperatura, pressão, vibração, o consumo de energia, estado das máquinas, entre outros. A seleção e implementação desses dispositivos são fundamentais para garantir a precisão e a fiabilidade dos dados coletados.

2. Métodos de comunicação

A camada de comunicação é responsável pela transmissão eficiente e segura dos dados recolhidos pelos componentes físicos para as camadas de nível superior. Esta camada utiliza uma variedade de protocolos e tecnologias de comunicação, com e sem fios, adaptados às necessidades específicas do ambiente industrial. Os protocolos mais comuns incluem o MQTT, o OPC UA, o AMQP e o CoAP, que são concebidos para responder às necessidades únicas de comunicação industrial, como uma latência baixa, uma elevada fiabilidade e uma segurança robusta.

3. Agregação de dados

A agregação de dados consiste na recolha, normalização e preparação dos dados brutos provenientes dos componentes físicos para posterior processamento num único pacote de saída. A agregação de dados consiste em consolidar informações de diferentes dispositivos e sistemas, muitas vezes em formatos variados, num formato uniforme. Este processo pode incluir a filtragem de dados irrelevantes, a correção de erros e a sincronização temporal. A camada de agregação de dados é fundamental para garantir a qualidade e a consistência dos dados antes da sua análise ou armazenamento. Existem quatro tipos principais de agregação de dados: centralizado, em rede, baseado em árvore e baseado em técnicas de aglomeração.

4. Armazenamento e análise de dados

Esta etapa é o núcleo do processamento de informações numa plataforma IIoT. Inclui sistemas de armazenamento de dados em larga escala, como *data lakes* ou bancos de dados distribuídos, capazes de lidar com o volume, velocidade e variedade de dados gerados em ambientes industriais. Além do armazenamento, esta camada inclui ferramentas avançadas de análise de dados, como o *machine learning*, a inteligência artificial e a análise preditiva. Estas ferramentas processam os dados agregados para extrair informações úteis, identificar padrões, prever avarias nos equipamentos e otimizar processos industriais.

5. Interface do utilizador

A camada de interface do utilizador é responsável por apresentar as informações processadas de forma clara e acessível aos utilizadores finais. Geralmente, isso envolve painéis interativos, relatórios personalizados e sistemas de alerta que permitem aos operadores e gestores acompanhar o desempenho em tempo real, tomar decisões informadas e responder rapidamente a eventos críticos. Interfaces bem estruturadas são essenciais para transformar os dados

complexos em representações visuais intuitivas e facilmente acessíveis, facilitando a tomada de decisões.

A segurança é uma preocupação fundamental nos sistemas IIoT e está presente em todas as camadas da arquitetura. Esta engloba diversos mecanismos de segurança, como técnicas de encriptação, autenticação de vários fatores e controlo de acesso baseado em funções.

Esta etapa abrange também políticas e procedimentos de segurança, como atualizações regulares de *firmware*, gestão de *patches* e auditorias de segurança. A implementação robusta de mecanismos de segurança é fundamental para proteger dados sensíveis, prevenir acessos não autorizados e garantir a integridade e a disponibilidade contínuas do sistema IIoT [4].

A implementação de sistemas IIoT está a transformar fundamentalmente os processos industriais, oferecendo níveis sem precedentes de eficiência, flexibilidade e inteligência operacional. Ao integrar dispositivos físicos, redes de comunicação avançadas e análise de dados em tempo real, a IIoT permite às indústrias otimizar as suas operações, reduzir custos e responder rapidamente a alterações nas condições do mercado. À medida que a tecnologia continua a evoluir, espera-se que o impacto da IIoT se torne ainda mais significativo, redefinindo os fundamentos da produção industrial e da gestão de operações.

2.3 Automação industrial

A automação industrial representa um marco significativo na evolução dos processos produtivos, transformando fundamentalmente a forma como as indústrias operam e produzem bens.

2.3.1 Definição e conceitos fundamentais

A automação industrial consiste na aplicação de tecnologias avançadas e sistemas de controlo, como computadores, robôs e sensores, para operar e regular processos industriais com uma intervenção mínima por parte dos seres humanos. Este conceito abrange uma vasta gama de componentes tecnológicos, incluindo sistemas mecânicos, elétricos, eletrónicos, informáticos e robóticos, que visam controlar, monitorizar e otimizar as operações em fábricas e linhas de produção [5].

Os objetivos principais da automação industrial consistem em:

- Aumento da produtividade e eficiência;
- Aumento da qualidade e consistência dos produtos;
- Redução dos custos operacionais;
- Aprimoramento da segurança no local de trabalho;
- Capacidade de operação contínua e flexibilidade na produção.

2.3.2 Evolução da automação industrial

A evolução da automação industrial está diretamente relacionada com o progresso tecnológico do setor, conforme abordado no capítulo 2.1. Desde as primeiras inovações introduzidas durante a Revolução Industrial, no século XVIII, a automação passou por várias fases de transformação significativas [6].

Cada fase representou um avanço significativo na capacidade de automatizar os processos produtivos, desde os mecanismos puramente mecânicos até aos atuais sistemas digitais, caracterizados pela sua elevada interligação. Esta evolução progressiva criou as bases dos modernos conceitos de automação flexível e do paradigma da Indústria 4.0, no qual a integração de tecnologias digitais, sensores inteligentes e redes de comunicação desempenham um papel central na eficiência e flexibilidade dos sistemas produtivos.

2.3.3 Tipos de automação

A automação industrial pode ser classificada em diferentes categorias como se pode ver na Figura 3, cada uma com características distintas que atendem a diferentes necessidades de produção e flexibilidade. Estes tipos de automação são fundamentais para compreender como as indústrias podem adaptar os seus processos às suas necessidades e exigências específicas [6] e [7].

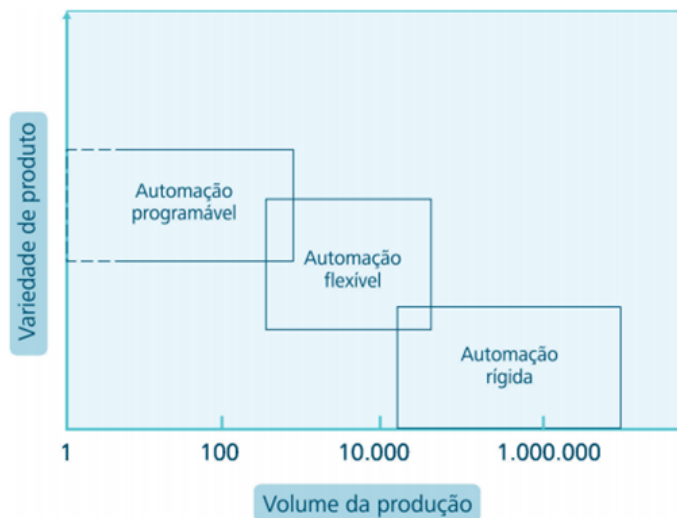


Figura 3 – Tipos de automação [7].

Os principais tipos de automação são os seguintes:

- A automação rígida baseia-se numa linha de produção projetada para a produção de um produto específico. Apresenta elevadas taxas de produção, mas o equipamento é inflexível na adaptação à variedade de produtos.

- A automação programável é utilizada quando o equipamento de produção é concebido com a capacidade de modificar a sequência das operações de modo a acomodar diferentes configurações de produtos, sendo controlado por um programa interpretado pelo sistema. Podem ser utilizados diferentes programas para fabricar novos produtos. Este tipo de automação é utilizado quando o volume de produção de cada artigo é baixo.
- A automação flexível é o tipo de automação intermédio entre a automação rígida e a automação programável. O equipamento deve ser programado para produzir uma variedade de produtos com algumas características ou configurações diferentes, no entanto, a variedade destas características é normalmente mais limitada que a permitida pela automação programável.

2.4 Robótica industrial

A robótica industrial tem sido um pilar fundamental na modernização dos processos de produção, promovendo avanços significativos em termos de eficiência, precisão e segurança. Desde a sua introdução, os robôs industriais revolucionaram a produção, ao automatizar tarefas repetitivas e perigosas, e estabelecer novos padrões de produtividade e qualidade.

2.4.1 Definição de robótica industrial

De acordo com a norma ISO 8373:2021, um robô industrial é definido como um "manipulador multipropósito, controlado automaticamente, reprogramável, programável em três ou mais eixos, que pode ser fixado no local ou a uma plataforma móvel para uso em aplicações de automação num ambiente industrial" [8].

Estes sistemas são concebidos para executar uma variedade de funções, como montagem, soldadura, pintura, embalagem e inspeção de qualidade, com elevada precisão e eficiência.

2.4.2 Evolução da robótica industrial

O termo "robótica" tem origem na palavra "robô", que foi introduzida pelo escritor checo Karel Capek, que, em 1920, usou pela primeira vez a palavra "robota" (trabalho forçado, trabalho escravo) numa peça teatral "R.U.R - Rossum's Universal Robots" para designar um ser mecânico, originando a palavra "robot" em inglês, que foi traduzida para português como "robô" [9].

Desde então, o termo "robô" tem sido fundamental na ficção científica e no desenvolvimento tecnológico, tendo levado à criação do campo de estudo conhecido como "robótica".

Em 1950, o escritor Isaac Asimov consolidou o conceito de robôs na cultura popular com seu livro "I, Robot", no qual introduziu as Três Leis da Robótica, sendo elas [10]:

Revisão histórica

- Primeira Lei: “Um robô não pode ferir um ser humano ou, por omissão, permitir que um ser humano sofra algum mal”;
- Segunda Lei: “Um robô deve obedecer às ordens que lhe sejam dadas por seres humanos, exceto nos casos em que tais ordens contrariem a Primeira Lei”;
- Terceira Lei: “Um robô deve proteger sua própria existência, desde que tal proteção não entre em conflito com a Primeira e a Segunda Lei”.

Estas leis foram concebidas por Asimov como uma forma de explorar as implicações éticas e morais da criação de robôs inteligentes e autônomos, visando garantir a segurança e o bem-estar dos seres humanos.

A Robótica Industrial teve início em 1954, quando George Devol, patenteou um projeto de um braço mecânico que resultou no primeiro robô industrial Unimate o qual pode ser visto na Figura 4. Posteriormente em 1961 Joseph Engelberger, físico e engenheiro que colaborava com Devol, criou a empresa Unimation e a série de robôs Unimate 1000, surgindo assim os primeiros braços robóticos produzidos em massa para automação de fábricas [11].



Figura 4 – Primeiro robô industrial - Unimate [12].

A partir do desenvolvimento pioneiro do Unimate, a robótica industrial passou por uma evolução contínua e acelerada. Ao longo das décadas seguintes, engenheiros e cientistas trabalharam incansavelmente para melhorar as capacidades, a precisão e a versatilidade dos robôs industriais.

Esta inovação constante resultou no surgimento de diversos tipos de robôs industriais, cada um concebido para responder a necessidades específicas em diferentes setores da indústria. A evolução tecnológica permitiu o desenvolvimento de robôs mais compactos e ágeis, capazes de realizar tarefas cada vez mais complexas e delicadas [13].

2.4.3 Características de robôs industriais

Os robôs industriais são uma componente fundamental da automação moderna, oferecendo versatilidade, precisão e eficiência em diversos processos de produção. Estes sistemas mecânicos programáveis estão disponíveis em várias configurações, cada uma projetada para atender a necessidades específicas no ambiente industrial.

A diversidade de tipos de robôs industriais reflete a ampla gama de tarefas que podem realizar, desde operações simples e repetitivas até processos complexos que requerem alta precisão e flexibilidade. Cada tipo de robô possui características únicas em termos de estrutura, alcance, capacidade de carga e graus de liberdade, o que influencia diretamente a sua aplicação em diferentes cenários industriais.

2.4.3.1 Tipos de juntas/graus de liberdade

O movimento de um robô industrial é definido pelas suas juntas, que determinam os graus de liberdade disponíveis. Cada junta corresponde a um tipo específico de deslocamento linear ou rotacional, sendo que a combinação destas define a mobilidade, a precisão e a flexibilidade do robô. Por este motivo, é essencial compreender os diferentes tipos de juntas para avaliar as capacidades de um sistema robótico e a sua adequação a diferentes aplicações industriais [14].




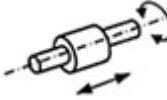
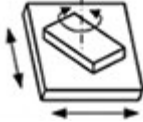

Os principais tipos de juntas que compõem os robôs industriais são os seguintes:

- **Junta de rotação:** A junta de rotação permite o movimento rotacional em torno de um único eixo. Esta junta é fundamental em aplicações robóticas que exigem movimentos circulares, como o braço de um robô articulado, permitindo-lhe girar o seu manipulador ou ferramenta em torno de um ponto fixo.
- **Junta prismática:** A junta prismática, ou linear, possibilita o movimento linear ao longo de um eixo. Este tipo de junta é essencial em robôs que realizam tarefas como empurrar, puxar ou posicionar cargas numa única direção. Os robôs equipados com juntas prismáticas podem ajustar a sua extensão com grande precisão, o que os torna ideais para operações de montagem, manipulação de materiais e outras aplicações que exijam um movimento linear contínuo.
- **Junta esférica:** A junta esférica concede três graus de liberdade de movimento rotacional em três planos diferentes. Esta junta é utilizada em robôs que necessitam de uma elevada flexibilidade operacional, por exemplo, em braços robóticos utilizados em operações de montagem complexa, onde é essencial uma ampla gama de movimentos.

- **Junta cilíndrica:** A junta cilíndrica combina os movimentos rotacionais e lineares, oferecendo dois graus de liberdade. O eixo do cilindro permite rotação, enquanto o pistão pode deslizar ao longo deste. Este tipo de junta é adequado para aplicações que requerem uma abordagem híbrida de movimento, como em máquinas de CNC ou em robôs que realizam tarefas de perfuração que exigem a combinação de rotação com um movimento linear preciso.
- **Junta planar:** A junta planar permite o movimento em três eixos dentro de um único plano, oferecendo três graus de liberdade. Esta junta é menos comum, mas pode ser encontrada em robôs projetados para tarefas de deslizamento ou em plataformas robóticas que operam em superfícies planas.
- **Junta helicoidal:** A junta helicoidal, também conhecida como junta de parafuso, converte o movimento rotacional em movimento linear através da rotação de um parafuso. Esta junta é fundamental em situações que exigem um avanço linear preciso, resultante da rotação, como nos sistemas de elevação ou de ajuste de posições em robôs industriais. A precisão do movimento linear obtido por meio da rotação de um parafuso é inestimável em aplicações que exigem um controlo de posição rigoroso.

A Tabela 1 apresenta os diferentes tipos de juntas de robôs, bem como os respetivos graus de liberdade. Esta informação é essencial para compreender as capacidades e limitações dos sistemas robóticos, facilitando a escolha da junta mais adequada para cada aplicação específica.

Tabela 1 – Tipos de juntas de robôs e os seus graus de liberdade [14].

Designação	Geometria	Graus de Liberdade
Rotação		1
Prismática		1
Esférica		3
Cilíndrica		2
Planar		3
Helicoidal		1

2.4.3.2 Características dinâmicas do robô industrial

As características dinâmicas de um robô industrial são fundamentais para avaliar o seu desempenho e adequação a diferentes tarefas. Estas características influenciam diretamente a precisão e a eficiência com que o robô executa as suas operações. Três aspetos fundamentais das características dinâmicas são a exatidão, a repetibilidade e a resolução [15] e [16] :

- A exatidão refere-se à capacidade do robô de posicionar o seu *end-effector* num ponto específico do espaço de trabalho com precisão. Consiste na diferença entre a posição comandada e a posição real alcançada pelo robô. Uma elevada exatidão significa que o robô consegue atingir pontos no espaço muito próximos das coordenadas desejadas.
- A repetibilidade é a capacidade do robô de regressar repetidamente ao mesmo ponto no espaço com consistência. Esta capacidade mede a variação nas posições alcançadas quando o robô tenta atingir o mesmo ponto várias vezes.
- A resolução de um robô industrial refere-se à menor mudança incremental de movimento que o sistema de controlo do robô consegue comandar e executar. É determinada por fatores como a precisão dos sensores de posição, a resolução dos encoders ou resolvers no caso dos robôs da ABB e a capacidade do sistema de controlo.

A Figura 5 representa de forma mais clara os conceitos da exatidão e repetibilidade de um robô.

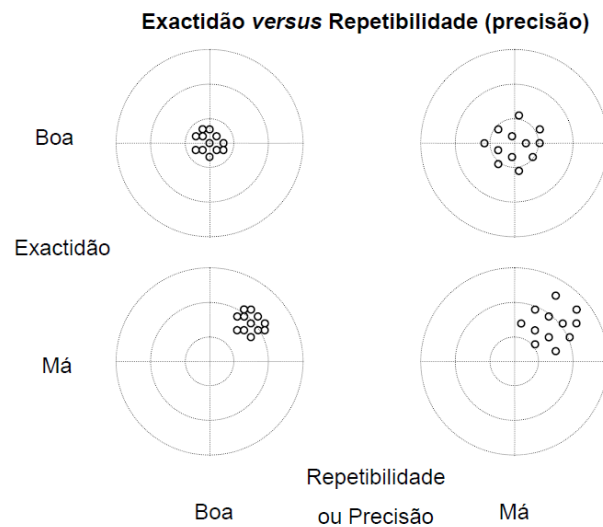


Figura 5 – Exatidão versus Repetibilidade [15].

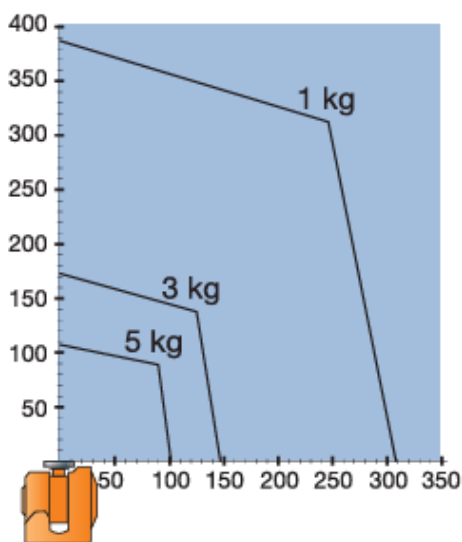
2.4.3.3 Carga e área de trabalho de um robô industrial

A carga e a área de trabalho são características fundamentais que definem as capacidades operacionais de um robô industrial, influenciando diretamente a sua capacidade de aplicação e eficiência em diferentes cenários de produção [16].

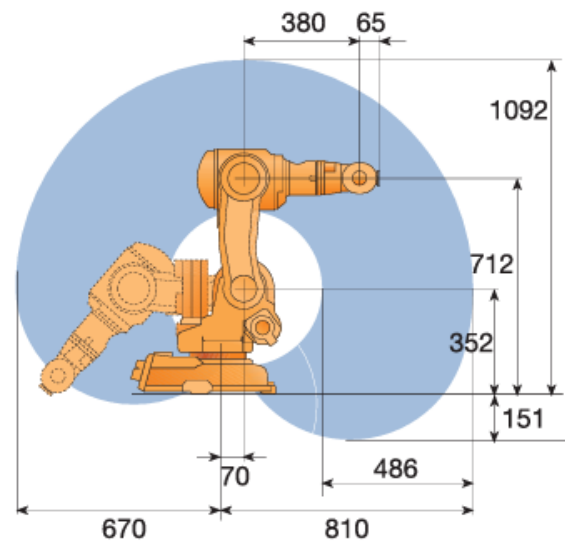
A carga e a área de trabalho são caracterizadas da seguinte forma:

- A carga de trabalho corresponde ao peso máximo que um robô industrial pode manipular com segurança e precisão. Esta característica é fundamental para determinar a adequação do robô a tarefas específicas. A capacidade de carga varia significativamente entre modelos e tipos de robôs diferentes, podendo ir desde poucos quilogramas até várias toneladas.
- A área de trabalho ou espaço de trabalho define a área tridimensional dentro da qual o robô pode efetivamente operar. Este volume é determinado pela configuração física do robô, incluindo o comprimento dos seus braços e o tipo e alcance das suas juntas.

Na Figura 6 estão representadas a carga de trabalho e a área de trabalho que o robô ABB IRB 140 suporta.



a) Carga de trabalho



b) Área de trabalho

Figura 6 – Robô industrial ABB IRB 140 [17].

2.4.4 Tipos de robôs industriais

Neste subcapítulo, são apresentados os principais tipos de robôs industriais, sendo analisadas as suas características técnicas, vantagens operacionais e aplicações práticas. Cada categoria de robô foi desenvolvida para resolver problemas específicos, combinando precisão, velocidade e flexibilidade de acordo com as exigências do ambiente industrial [18] e [19].

2.4.4.1 Robôs articulados

Os robôs articulados, também conhecidos como braços robóticos, são os mais versáteis e comuns na indústria. Possuem múltiplas juntas rotativas, geralmente de 4 a 10 eixos, que lhes permitem imitar o movimento de um braço humano. A sua flexibilidade e versatilidade torna-os ideais para tarefas como a soldadura, a pintura e a montagem de componentes complexos, entre outros.

2.4.4.2 Robôs cartesianos

Os robôs cartesianos, também conhecidos como robôs de pórtico, são projetados com um sistema de coordenadas retangular, tal como os eixos XYZ num gráfico.

A sua estrutura simples torna-os ideais para operações de *pick-and-place*, impressão 3D industrial e inspeção de qualidade. Oferecem alta repetibilidade e são frequentemente utilizados em sistemas de embalagem.

2.4.4.3 Robôs cilíndricos

Os robôs cilíndricos estão equipados com um braço extensível que realiza movimentos de rotação sobre uma base circular fixa. Esta base consiste num poste cilíndrico que sustenta uma configuração de rotação única e duas lineares. Devido ao seu design compacto, os robôs cilíndricos são ideais para operar em espaços restritos, podendo aceder a objetos sob diversos ângulos dentro de um raio determinado. Geralmente são utilizados para tarefas de soldadura, embalagem e alimentação de máquinas.

2.4.4.4 Robôs SCARA

Os robôs SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) são concebidos para movimentos rápidos e precisos no plano horizontal, mantendo simultaneamente a rigidez no eixo vertical. Geralmente, têm 3 a 4 eixos. Estes robôs são normalmente utilizados para operações de *pick-and-place*, adequadas para a construção de dispositivos eletrónicos, manipulação de alimentos, entre outros.

2.4.4.5 Robôs delta

Os robôs delta, também conhecidos como robôs paralelos, distinguem-se pela sua estrutura única de braços paralelos ligados a uma plataforma móvel. São projetados para operações de alta velocidade, possuindo a maior velocidade para *pick and place* entre todos os tipos de robôs. São frequentemente utilizados nas indústrias alimentar e farmacêutica para tarefas como a embalagem de alimentos e a manipulação de produtos frágeis.

2.4.4.6 Robôs polar

Os robôs polares, também designados robôs esféricos, são caracterizados por um braço robótico capaz de executar movimentos multidirecionais a partir de uma base estacionária. Esta configuração singular é composta por duas juntas rotativas e uma junta linear, que lhes conferem versatilidade e precisão nas operações. Estes robôs são principalmente utilizados em aplicações de palatização e na carga e descarga de equipamentos em ambientes industriais.

2.4.4.7 AGV

Os robôs móveis ou AGV (*Automated Guided Vehicles*) são plataformas autónomas que se movem livremente pelo ambiente industrial. Equipados com sistemas de navegação por laser, visão ou marcadores magnéticos, são essenciais para o transporte de materiais em armazéns e em linhas de produção flexíveis. A sua capacidade de adaptação a *layouts* dinâmicos e a integração com sistemas IIoT tornam-nos componentes fundamentais na logística moderna e na implementação de fábricas inteligentes.

2.4.5 Vantagens da robótica industrial

A utilização de robôs industriais proporciona vantagens significativas que transformam os processos de fabrico e produção modernos. Estas vantagens não só melhoram a eficiência operacional, como também têm um impacto positivo na qualidade do produto, na segurança dos trabalhadores e na competitividade global das empresas. As principais vantagens incluem [18] e [19]:

- **Aumento da produtividade:** os robôs podem operar de forma contínua, 24 horas por dia, 7 dias por semana, sem necessidade de pausas, o que aumenta significativamente a produção;
- **Melhoria da qualidade:** a precisão e consistência dos robôs resultam em produtos de qualidade superior e mais uniformes;
- **Redução de custos:** Apesar do investimento inicial, os robôs reduzem os custos operacionais a longo prazo, minimizando erros e desperdícios;

- **Aumento da segurança:** os robôs podem realizar tarefas perigosas ou em ambientes hostis, reduzindo os riscos para os trabalhadores;
- **Flexibilidade:** muitos robôs industriais modernos podem ser reprogramados, permitindo uma rápida adaptação a novos produtos ou processos;
- **Coleta de dados:** os robôs podem recolher e transmitir dados precisos sobre o processo de produção, facilitando a análise e a melhoria contínua.

A adoção da robótica industrial permite às empresas manter a competitividade num mercado global em rápida evolução, respondendo eficazmente à procura de maior eficiência, qualidade e flexibilidade na produção. Além disso, a integração de robôs industriais está alinhada com os princípios da Indústria 4.0, preparando as empresas para os desafios futuros da produção digital e interligada.

2.5 Célula flexível de fabrico/Sistema flexível de fabrico

Uma Célula Flexível de Fabrico (CFF) pode-se definir como sendo uma configuração integrada e controlada por computador de máquinas-ferramenta de controlo numérico, equipamento auxiliar de produção e um sistema de manuseamento de materiais, concebida para produzir simultaneamente pequenas a médias séries de uma vasta gama de produtos, de elevada qualidade, a baixo custo [20].

Um Sistema Flexível de Fabrico (SFF), também conhecido como *Flexible Manufacturing System* (FMS), é uma configuração avançada que integra duas ou mais CFF. Esta estrutura proporciona uma vantagem competitiva significativa, graças à sua notável flexibilidade operacional. A principal característica de um SFF é a sua capacidade de adaptação rápida e eficiente para produzir uma ampla variedade de produtos com características diferentes, ou até mesmo introduzir novos itens na linha de produção. Esta versatilidade é alcançada pelo facto de serem constituídos por sistemas programáveis, tais como robôs manipuladores, máquinas de controlo numérico, veículos guiados automaticamente ou por trilhos, entre outros [15].

2.5.1 Vantagens e desvantagens dos SFF ou CFF

A implementação de SFF ou CFF proporciona benefícios substanciais que vão para além da simples automação de tarefas repetitivas. Estas soluções permitem uma transformação completa dos processos de produção, resultando em melhorias significativas em diversos aspetos. As vantagens destes sistemas são [15] e [21]:

- Maior flexibilidade e versatilidade do processo de produção;
- Maior segurança para os operadores;
- Melhor qualidade do produto;

Revisão histórica

- Aumento da produtividade;
- Produção por encomenda;
- Produção de produtos de acordo com as especificações do cliente;
- Menor desperdício.

Apesar destes tipos de sistemas terem grandes vantagens, estes também apresentam algumas desvantagens como:

- Elevado investimento inicial;
- Maior custo de manutenção;
- Exige mão de obra qualificada.

3 Arquitetura de hardware e software

Tal como já foi referido anteriormente, o presente trabalho tem como principal objetivo desenvolver um sistema de comando remoto de uma linha de produção automatizada. Esta linha de produção irá ser representada pela CFF disponível no Laboratório de Automação e Robótica, com o *layout* mostrado na Figura 7.

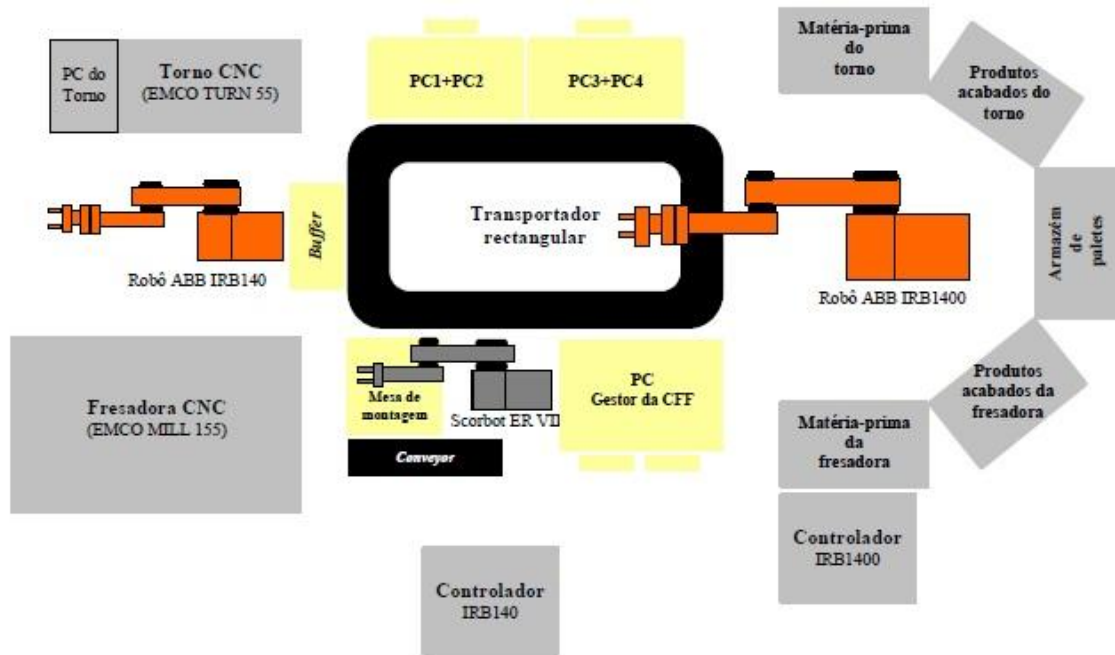


Figura 7 – *Layout* da CFF do laboratório de automação e robótica [15].

3.1 Hardware utilizado

Para o desenvolvimento deste projeto, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Robô ABB IRB 1400, juntamente com o respetivo controlador;
- Robô ABB IRB 140, juntamente com o respetivo controlador;
- Fresadora *EMCO Concept MILL 155*;
- Torno *EMCO MILL 55*;
- Controlador lógico programável (PLC) Siemens S7-1200 CPU1215C;
- Uma HMI KTP600 Basic;
- Duas câmaras industriais Omron FQ2-S45100N;

Arquitetura de hardware e software

- Botoneiras para interação manual;
- Três sensores óticos de intrusão para segurança;
- Três balizas de sinalização luminosa e sonora para comunicação visual e auditiva;
- Uma câmara “Web” para visualização remota.

A Figura 8 apresenta uma visão geral da célula flexível de fabrico utilizada durante os ensaios práticos realizados no Laboratório de Automação e Robótica no âmbito deste trabalho.



a) Setor do armazém



b) Setor de fabrico

Figura 8 – Célula flexível de fabrico.

Para assegurar a coordenação entre estes equipamentos, todos os componentes comunicam entre si através da interface robótica mapeada, o que permite a sincronização fiável entre robôs, PLC, CNC, sensores e atuadores ao longo da CFF. Este mapeamento de sinais, que inclui endereços e funções, encontra-se detalhado no Anexo A.

3.2 Transportador

Para assegurar a ligação entre o setor do armazém e o setor de produção existe um sistema de transporte constituído por uma esteira transportadora retangular alimentado por um motor trifásico, conforme ilustrado na Figura 9.

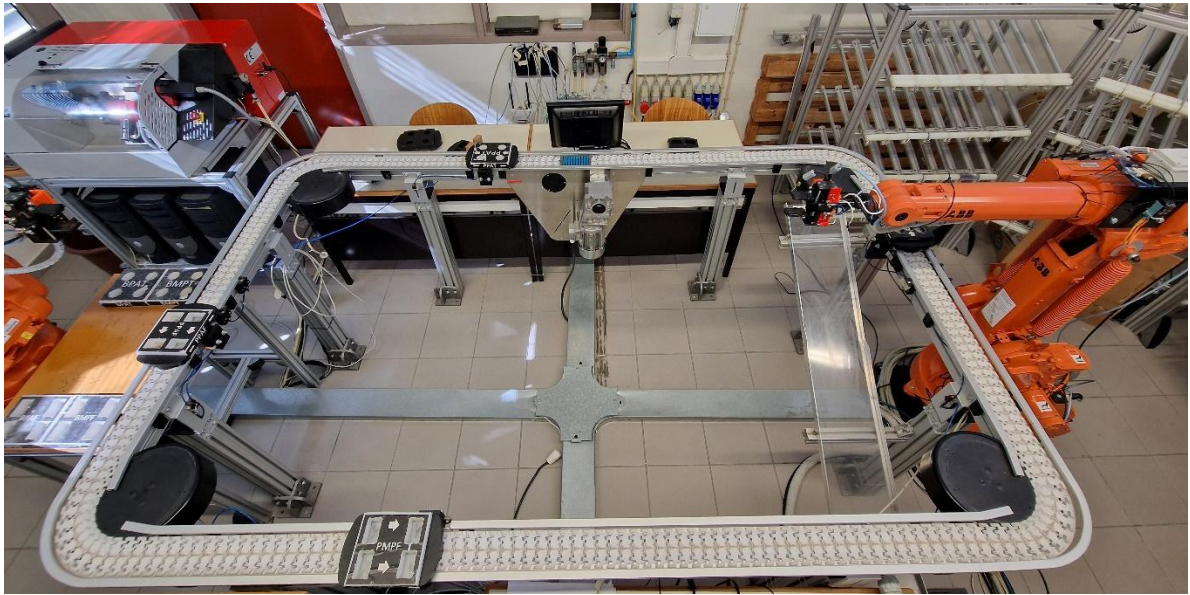
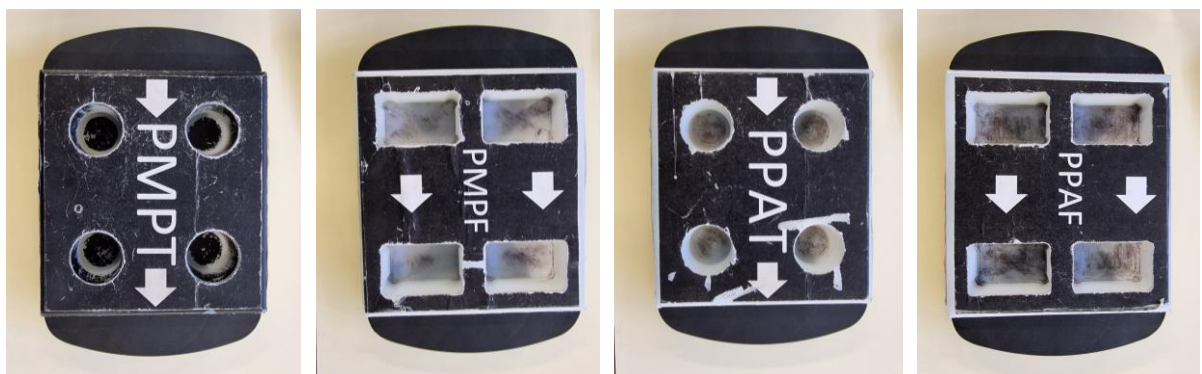


Figura 9 – Configuração do transportador.

O transportador opera apenas num sentido, no sentido anti-horário. Através deste sistema, tanto a matérias-primas como os produtos acabados são movimentados em paletes, que podem ser transferidas para o setor de armazenamento ou para o setor de produção. Em cada um destes setores está presente um robô manipulador, responsável por manusear as peças e colocá-las no local apropriado.

Existem quatro tipos de paletes utilizadas no sistema, duas destinadas à matéria-prima no qual uma para o torno, designada por “PMPT”, e outra para a fresadora, designada por “PMPF” e duas destinadas aos produtos acabados, nomeadamente a “PPAT” e a “PPAF”, conforme representadas na Figura 10.



a) PMPT

b) PMPF

c) PPAT

d) PPAF

Figura 10 – Paletes do transportador.

Cada paleta possui uma codificação única, que permite distingui-la das demais. Como apresentado na Figura 11, cada paleta pode conter até quatro peças metálicas, distribuídas pelas extremidades. A disposição destas peças forma um código específico que permite a sua identificação automática no sistema.

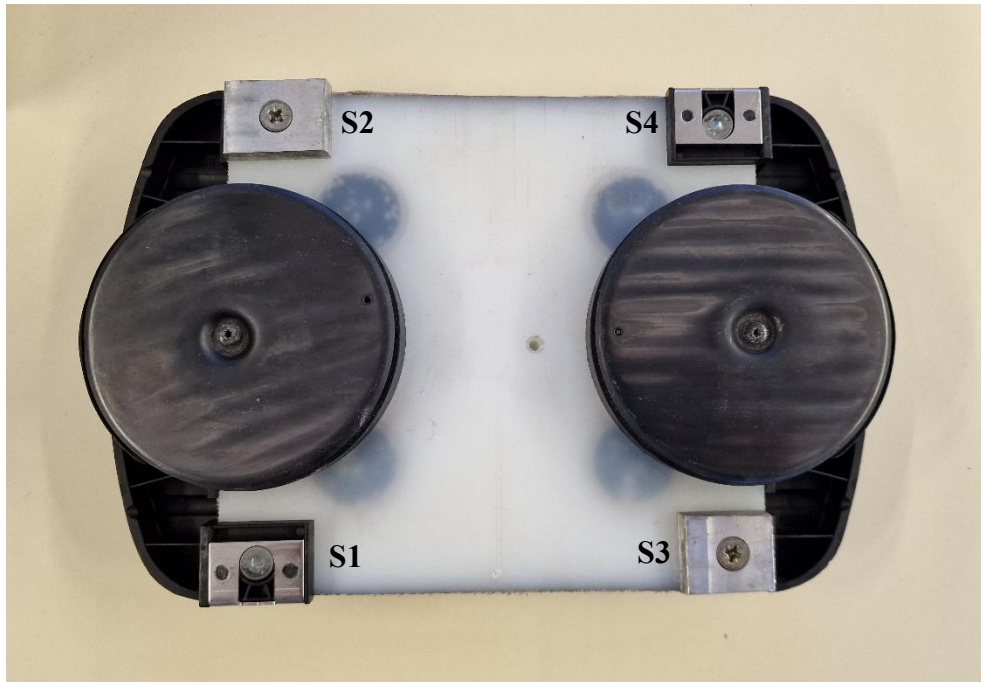


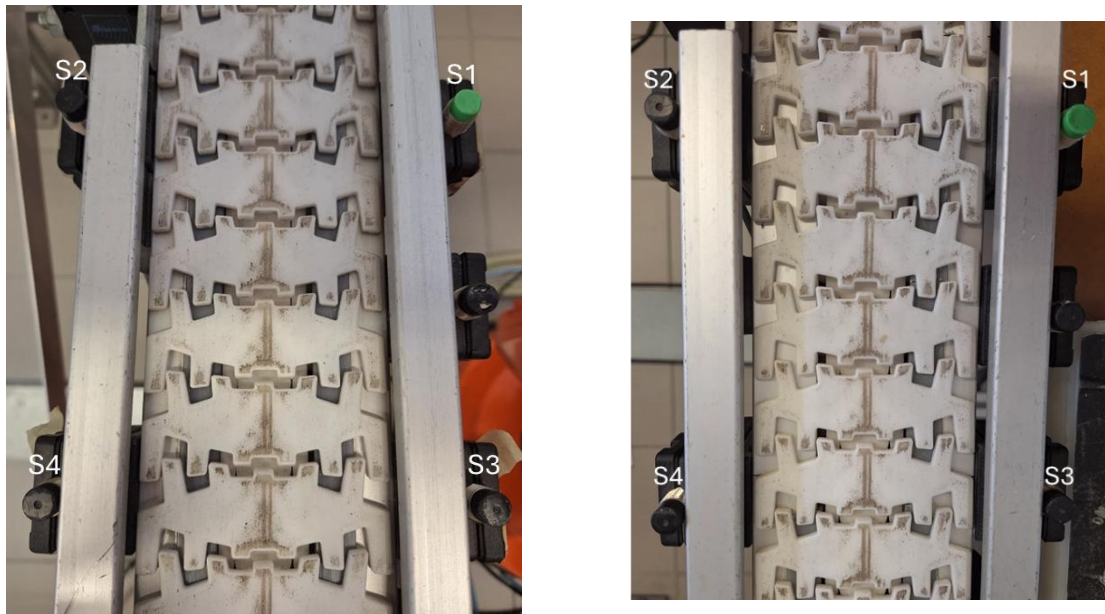
Figura 11 – Estrutura da codificação das paletes.

A Tabela 2 apresenta as respectivas codificações para cada tipo de paleta.

Tabela 2 – Codificação das paletes.

Tipo de Paleta	Codificação
PMPT	S1 * S2 * S3 * S4
PMPF	S1 * /S2 * /S3 * S4
PPAT	S1 * /S2 * S3 * S4
PPAF	/S1 * /S2 * /S3 * S4

Para que as paletes possam ser identificadas pelo sistema, são utilizados quatro sensores indutivos em cada setor, conforme ilustrado na Figura 12. Estes sensores estão dispostos de forma a corresponder exatamente à localização das peças metálicas presentes nas paletes, garantindo a leitura correta da respectiva codificação.



a) Setor do armazém

b) Setor de fabrico

Figura 12 – Disposição dos sensores indutivos.

Para realizar a paragem das paletes é utilizado um *stopper* pneumático em cada setor, conforme ilustrado na Figura 13. Estes dispositivos são acionados por meio do Controlador Lógico Programável (PLC) da CFF, permitindo o controlo preciso do movimento das paletes no sistema.

Adicionalmente, existem mais dois *stoppers* posicionados estrategicamente ao longo da linha de transporte, de modo a garantir uma distribuição mais uniforme das paletes e a otimizar o desempenho global do sistema.

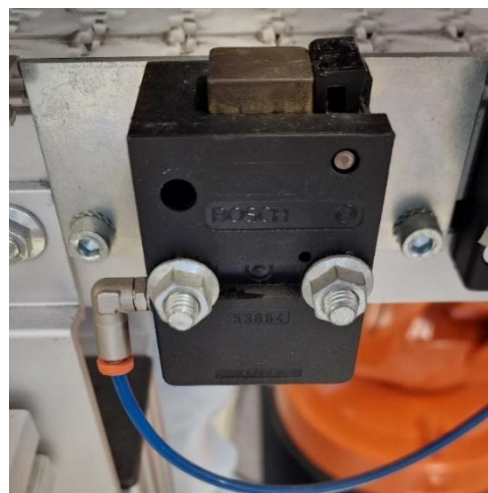


Figura 13 – *Stopper* do sistema de transporte.

Para estruturar e implementar a lógica de controlo do PLC, recorreu-se ao GRAFCET (*Grphe Fonctionnel de Commande Étape/Transition*), amplamente utilizado na automação industrial para modelar sistemas sequenciais. A utilização do GRAFCET permitiu descrever de forma clara e sistemática os diferentes estados do processo e as respetivas transições, facilitando a programação no TIA Portal e garantindo a coerência entre as condições de entrada e as ações de saída [22] e [23].

No GRAFCET ilustrado na Figura 14, que corresponde à paragem e ao descarregamento da paleta PPAF no setor do armazém, é possível observar que na etapa 0, é realizado o *set* dos *stoppers* (permitindo a sua descida) e o *reset* das variáveis de saída associadas à ocupação da paleta e ao tipo de paleta. A transição para a etapa seguinte ocorre quando a memória PPAF (que indica se a paleta está carregada) se encontra ativa, quando as entradas I0.0 a I0.3 confirmam a correta codificação da paleta PPAF através das peças metálicas, e após a estabilização de 100 ms do temporizador TON, evitando assim leituras incorretas.

Na etapa 1, procede-se ao *reset* dos *stoppers* para imobilizar a paleta, acionando também a saída Q3.1, sinalizando ao robô que a paleta está pronta para descarregar e inspecionar, e é ativada a memória “Peça_Fresa_Arm”.

Quando o robô atinge a posição de inspeção, a entrada I5.1 é validada, prosseguindo para a etapa 2. Nesta etapa, a saída Q3.1 é desativada e a memória “Pedido_Insp_Arm” é ativada, o que desencadeia a subfunção responsável por acionar a câmara de inspeção. Após a conclusão da inspeção e o registo das posições das peças, a variável “Insp_Concluida_Arm” é ativada, o que leva à etapa 3, na qual as memórias “Insp_Concluida_Arm” e “Pedido_Insp_Arm” são reiniciadas.

Em seguida, quando o robô termina o descarregamento da paleta, a entrada I3.1 é ativada, informando o PLC de que a paleta se encontra vazia. Esta condição conduz à etapa 4, onde a memória PPAF e a variável “Peça_Fresa_Arm” são reiniciadas. Além disso, é acionado um temporizador de 500 ms, que assegura o retorno ao estado inicial (etapa 0), reiniciando o ciclo.

Outros GRAFCET desenvolvidos ao longo do projeto, que descrevem diferentes funções implementadas no PLC, encontram-se documentados no Anexo B.

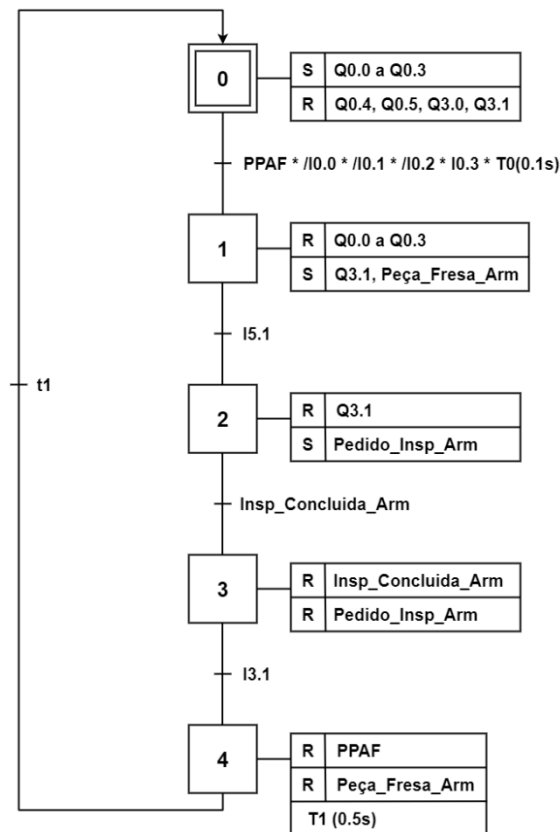


Figura 14 –GRAFCET da paragem e descarregamento da paleta PPAF no setor do armazém.

3.3 Setor do armazém

O setor do armazém é responsável por descarregar os produtos acabados e carregar as matérias-primas nas respetivas paletes, de modo a assegurar o correto abastecimento do sistema de produção.

Este setor é composto por um robô manipulador ABB IRB 1400, por quatro armazéns de matérias-primas e por uma estação de descarregamento dedicada aos produtos finais. Os quatro armazéns estão divididos em dois grupos: dois destinados à matéria-prima para a fresadora e dois destinados à matéria-prima para o torno.

Cada armazém é constituído por quatro linhas de armazenamento, sendo que cada linha possui oito fileiras onde a matéria-prima é armazenada, conforme ilustrado na Figura 15.



Figura 15 – Armazém da matéria-prima da fresadora.

3.3.1 Robô manipulador

Como mencionado anteriormente, o robô instalado no setor do armazém é um ABB IRB 1400, um robô industrial com capacidade de carga de 5 kg, conforme representado na Figura 16 a). Este robô apresenta uma repetibilidade de $\pm 0,05$ mm, característica essencial para este trabalho, dado o elevado número de tarefas repetitivas que necessita de executar com elevada precisão [24].

O robô ABB IRB 1400 possui seis graus de liberdade e um punho esférico, permitindo-lhe realizar tarefas diversificadas, como a manipulação de materiais, a soldadura a arco, a montagem e outras aplicações industriais.

A Figura 16 b) representa a volume de trabalho do robô, com um alcance máximo de 1,44 m, o qual é suficiente para aceder a todos os armazéns de matérias-primas disponíveis no setor.

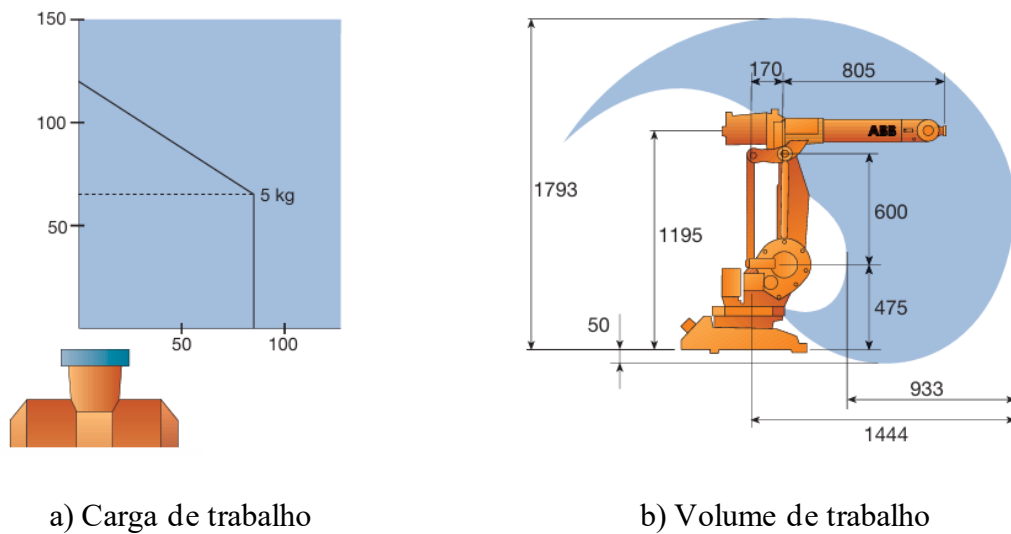


Figura 16 – Robô ABB IRB 1400 [24].

As principais características técnicas do robô utilizado no setor do armazém encontram-se descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais características do robô ABB IRB 1400 [24] e [25].

Tipo	Antropomórfico
Número de eixos	6
Carga máxima	5 kg
Repetibilidade	±0.05 mm
Alcance	1,14 m
Peso	225 Kg
Dimensões da base	620 x 450 mm
Movimento de eixos	
Eixo 1	±340°
Eixo 2	±140°
Eixo 3	±135°
Eixo 4	±300°
Eixo 5	±230°
Eixo 6	±600°
Velocidade dos eixos	
Eixo 1	±110°/s
Eixo 2	±110°/s
Eixo 3	±135°/s
Eixo 4	±300°/s
Eixo 5	±280°/s
Eixo 6	±280°/s

3.3.1.1 Ferramenta de trabalho

Para o desenvolvimento deste trabalho, a ferramenta instalada no robô ABB IRB 1400 foi um *gripper* (pinça), desenvolvido de forma a permitir a manipulação das peças envolvidas no processo, nomeadamente peças cilíndricas (peças do torno) e peças retangulares (peças da fresadora).

Este *gripper*, como ilustrado na Figura 17, está equipado com duas fibras óticas responsáveis pela verificação da posição das peças nas paletes. Possui também dois sensores indutivos, cuja função é verificar o estado do *gripper*, permitindo distinguir entre três situações: *gripper* aberto, *gripper* fechado sem peça e *gripper* fechado com peça.

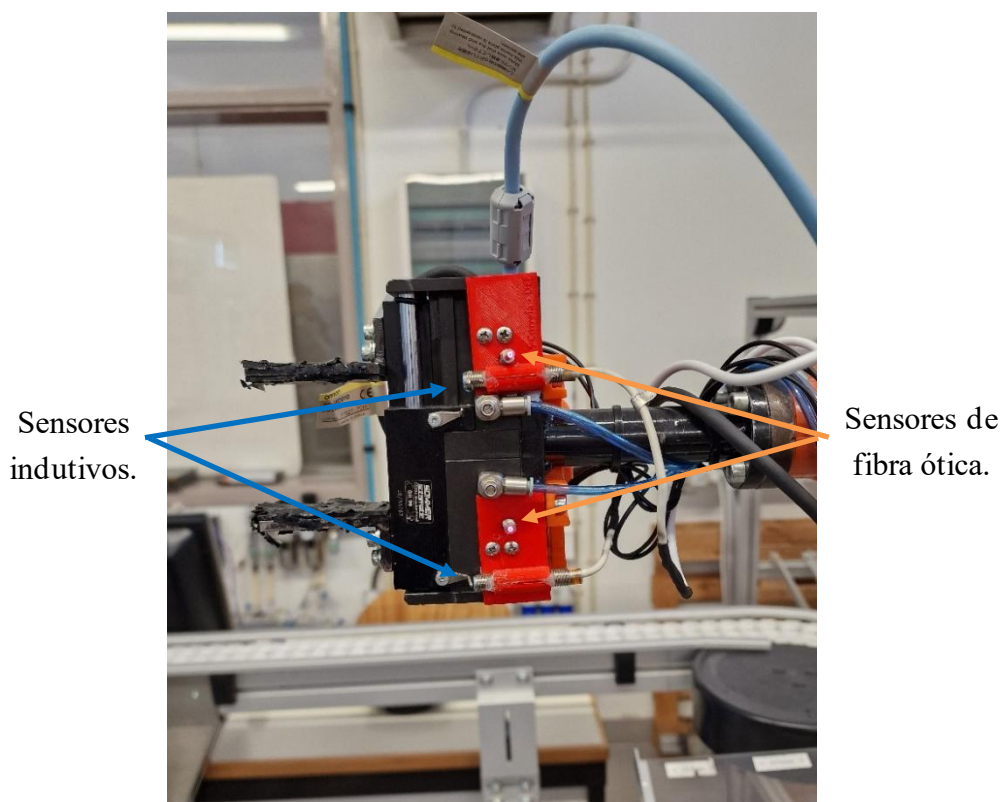


Figura 17 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 1400 (lado direito).

A Tabela 4 apresenta a lógica de estados com base na combinação dos sinais provenientes dos sensores indutivos.

Tabela 4 – Combinação do estado lógico dos sensores indutivos.

Estado do <i>gripper</i>	Sensor indutivo 1	Sensor indutivo 2
Aberto	1	0
Fechado sem peça	0	0
Fechado com peça	0	1

A Figura 18 apresenta também uma câmera de visão OMRON FQ2-S45100N, posicionada no lado direito do *gripper*. A principal função desta câmera é identificar o número e a posição das peças nas paletes, substituindo as fibras óticas pois permite uma identificação mais eficiente e robusta, contribuindo para o aumento da fiabilidade do sistema.

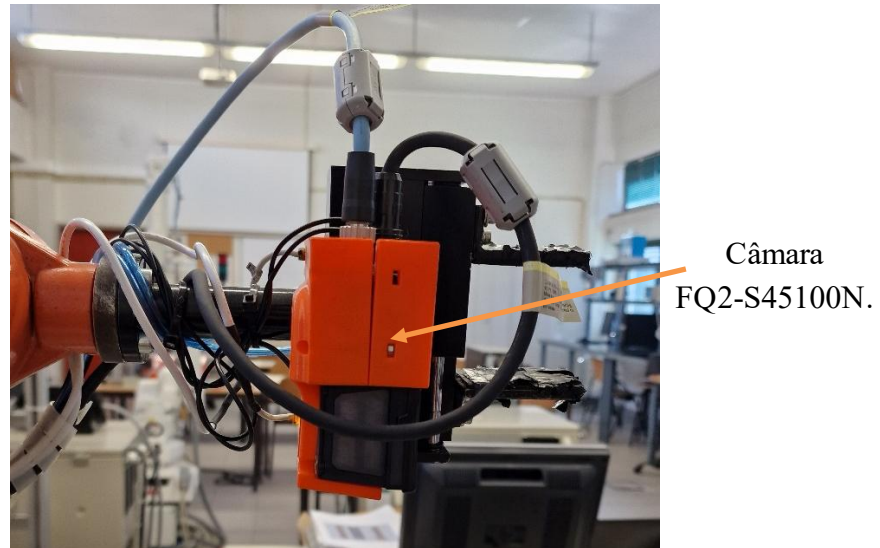


Figura 18 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 1400 (lado esquerdo).

3.3.2 Estação de descarregamento de produtos acabados

A estação de descarregamento, representada na Figura 19, é o local onde são depositados os produtos acabados provenientes da fresadora e do torno. Após serem posicionados na esteira inclinada, os produtos deslizam por ação da gravidade até atingirem uma zona fora da área operacional da CFF, permitindo que sejam posteriormente removidos manualmente por um operador, sem comprometer a segurança.



a) Esteira (vista lateral)



b) Esteira (vista frontal)

Figura 19 – Estação de descarregamento de produtos acabados.

3.4 Setor de fabrico

O setor de fabrico é responsável pelo processamento das peças de trabalho, englobando as operações de maquinação necessárias à produção. Este setor é composto por um robô manipulador ABB IRB 140, uma fresadora EMCO Concept Mill 155 e um torno EMCO Concept Turn 55.

Adicionalmente, estão instalados quatro *buffers*, conforme ilustrado na Figura 20: dois destinados à matéria-prima (um para cada máquina CNC) e dois destinados aos produtos acabados, também associados individualmente a cada máquina. Estes *buffers* têm como principal objetivo otimizar o tempo de operação do robô manipulador, permitindo um maior nível de autonomia e eficiência no ciclo produtivo.



Figura 20 – *Buffers* de peças do setor de fabrico.

3.4.1 Robô manipulador

O robô utilizado neste setor é o ABB IRB 140, um robô industrial compacto com uma capacidade de carga de 5 kg, conforme ilustrado na Figura 6.a). Com uma repetibilidade de $\pm 0,03$ mm, este robô é especialmente adequado para aplicações que exigem elevada precisão e repetibilidade, como é o caso das tarefas realizadas neste trabalho [17].

Tal como o modelo ABB IRB 1400, o IRB 140 possui seis graus de liberdade e um punho esférico, características que lhe conferem grande versatilidade na execução de operações como a manipulação de materiais, a soldadura a arco, a montagem e outras aplicações industriais.

A Figura 6 b) apresenta a área de trabalho do robô, que tem um alcance máximo de 0,88 m, o que é suficiente para aceder às duas máquinas CNC e aos *buffers* de matérias-primas e produtos acabados.

As principais características técnicas do robô encontram-se resumidas na Tabela 5.

Tabela 5 – Principais características do robô ABB IRB 140 [17].

Tipo	Antropomórfico
Número de eixos	6
Carga máxima	5 kg
Repetibilidade	±0.03 mm
Alcance	0,88 m
Peso	98 Kg
Dimensões da base	400 x 450 mm
Movimento de eixos	
Eixo 1	±360°
Eixo 2	±200°
Eixo 3	±280°
Eixo 4	±400°
Eixo 5	±240°
Eixo 6	±800°
Velocidade dos eixos	
Eixo 1	±200°/s
Eixo 2	±200°/s
Eixo 3	±260°/s
Eixo 4	±360°/s
Eixo 5	±360°/s
Eixo 6	±450°/s

3.4.1.1 Ferramenta de trabalho

A ferramenta instalada no robô ABB IRB 140, representada na Figura 21, é um *gripper* (pinça) pneumática, igual ao utilizado no robô IRB 1400. Este dispositivo permite a manipulação segura e precisa das peças utilizadas no processo produtivo, tanto cilíndricas (provenientes do torno) como retangulares (provenientes da fresadora).

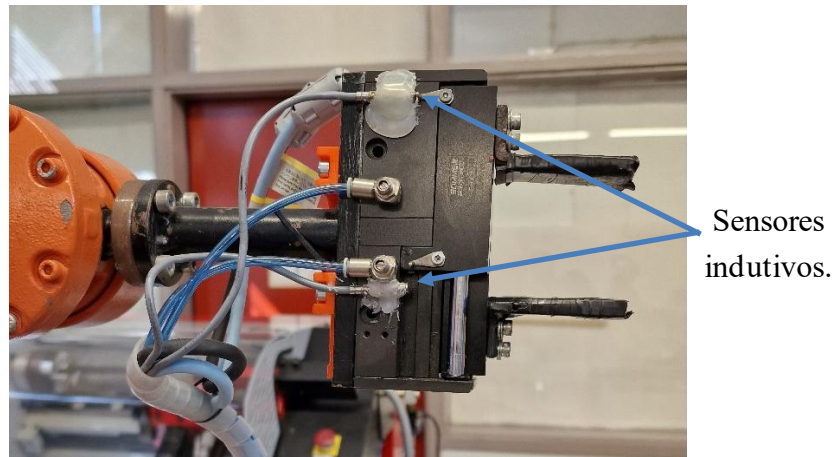


Figura 21 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 140 (lado esquerdo).

O *gripper* possui também dois sensores indutivos, cuja função é verificar o estado do *gripper*, permitindo distinguir entre três situações distintas: *gripper* aberto, *gripper* fechado sem peça e *gripper* fechado com peça, a combinação dos sinais dos sensores indutivos tal como no *gripper* do robô IRB 1400 estão apresentados na Tabela 4.

O robô IRB 140 está também equipado com uma câmara de visão OMRON FQ2-S45100N, montada no lado direito do *gripper*, conforme apresentado na Figura 22. A principal função desta câmara é também identificar o número e a posição das peças nas paletes.

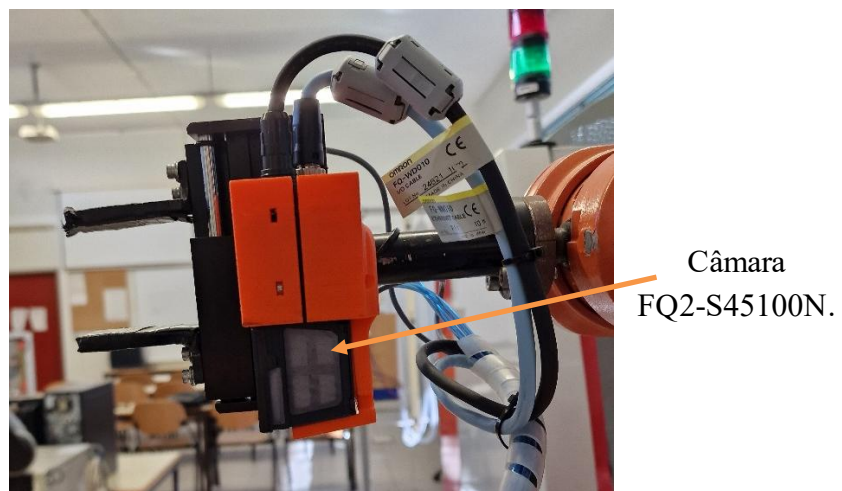


Figura 22 – Ferramenta de trabalho do robô ABB IRB 140 (lado direito).

3.4.2 Fresadora EMCO Concept Mill 155

Como referido anteriormente, o setor de fabrico dispõe de duas máquinas CNC, sendo uma delas a fresadora EMCO Concept Mill 155, representada na Figura 23. Esta fresadora é responsável pelo processamento de peças retangulares e foi concebida para ambientes de formação técnica e produção de pequenas séries, mantendo padrões industriais de desempenho e precisão.



Figura 23 – Fresadora EMCO Concept Mill 155.

A Concept Mill 155 opera com três eixos de trabalho (X, Y e Z) e está equipada com uma “estação” automática com capacidade para até 10 ferramentas, permitindo a realização de operações de maquinação contínuas e diversificadas sem intervenção manual [26].

Entre os principais tipos de operações que esta fresadora pode executar, destacam-se:

- Perfuração (*drilling*);
- Fresagem de superfícies (*facing*);
- Fresagem de contornos (*contour milling*);
- Fresagem de roscas (*thread milling*);
- Desbaste (*roughing*).

A Tabela 6 apresenta um resumo das principais características técnicas da fresadora EMCO Concept Mill 155:

Tabela 6 – Principais características da fresadora EMCO Concept Mill 155 [26].

Número de eixos	3 (X, Y, Z)
Área de trabalho (X/Y/Z)	300 / 200 / 300 mm
Número de ferramentas	10
Faixa de velocidade (padrão/opcional)	150 – 5000 rpm / 150 – 10000 rpm
Superfície útil da mesa	520 x 180 mm
Carga máxima	20 kg
Dimensões da máquina (L x P x A)	1502 x 1284 x 1925 mm
Peso total	700 kg

3.4.3 Torno EMCO Concept Turn 55

O setor de produção inclui também o torno EMCO Concept Turn 55, uma máquina CNC compacta de bancada, especialmente concebida para aplicações de formação técnica e produção de pequenas séries. Esta máquina é responsável pelo processamento de peças cilíndricas, conforme ilustrado na Figura 24.



Figura 24 – Torno EMCO Concept Turn 55.

O Concept Turn 55 opera com dois eixos (X e Z) e integra uma “estação” automática com oito posições para ferramentas, permitindo a realização contínua de múltiplas operações de maquinação [27].

Entre os principais tipos de operações que esta máquina pode realizar, destacam-se:

- Torneamento exterior (*external turning*);
- Torneamento interior (*interior turning*);
- Faceamento (*facing*);
- Furação (*drilling*);
- Roscagem (*threading*).

A Tabela 7 apresenta as principais características técnicas do torno EMCO Concept Turn 55:

Tabela 7 – Principais características do torno EMCO Concept Turn 55 [27].

Número de eixos	2 (X, Z)
Área de trabalho (X/Y/Z)	48mm / 236mm
Número de ferramentas	8
Faixa de velocidade	120 – 4000 rpm
Comprimento máximo da peça	215 mm
Diâmetro máximo de torneamento	52 mm
Dimensões da máquina (L x P x A)	840 x 695 x 400 mm
Peso total	85 kg

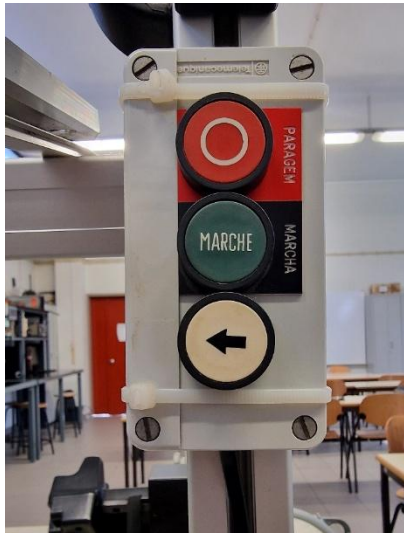
3.5 Controlo e segurança da CFF

Considerando que a CFF do laboratório integra equipamentos com potencial de risco para a integridade física dos operadores, a segurança é um aspeto essencial no funcionamento de todo o sistema. A célula está equipada com diversos dispositivos de proteção e monitorização, concebidos para garantir a segurança dos utilizadores e prevenir danos nos equipamentos durante a operação.

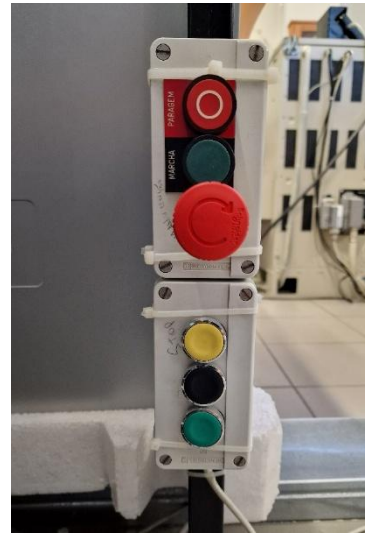
O sistema de controlo da CFF inclui duas botoneiras principais que permitem o controlo local dos setores envolvidos. Uma está dedicada ao setor do armazém, conforme ilustrado na Figura 25 a), e a outra ao setor de fabrico, visível na Figura 25 b).

Ambas as botoneiras estão equipadas com:

- Um botão de "OK do operador" (botão a verde), utilizado para retomar o ciclo de produção após interrupções;
- Um botão de paragem de emergência (botão a vermelho), que permite interromper de forma imediata o funcionamento do sistema, garantindo a segurança em situações de risco.



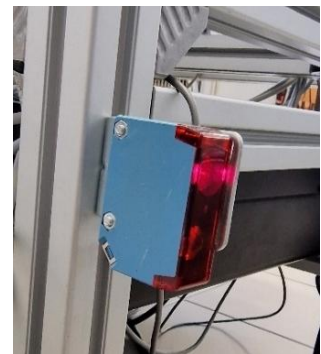
a) Setor do armazém



b) Setor de fabrico

Figura 25 – Botoneiras de controlo.

Para reforçar o sistema de segurança da CFF, foram também instalados sensores óticos de presença, com o objetivo de monitorizar o acesso às zonas operacionais dos manipuladores. No total, foram integrados três sensores óticos: dois nas entradas do setor do armazém e um na entrada do setor de produção, conforme ilustrado na Figura 26.



a) Setor do armazém

b) Setor de fabrico

Figura 26 – Sensores óticos de intrusão.

A localização estratégica destes sensores garante que nenhuma pessoa entre inadvertidamente no volume de trabalho dos robôs manipuladores enquanto estes se encontram em movimento. Sempre que um dos sensores deteta a presença de uma pessoa na zona protegida, o sistema atua de forma automática, interrompendo imediatamente o movimento do manipulador.

Qualquer acionamento destes sensores, ou uma paragem forçada através das botoneiras de controlo ou através da HMI local ou da interface web, ativa automaticamente um sistema de sinalização luminosa e sonora, através das balizas instaladas nos respetivos setores, conforme demonstrado na Figura 27.



a) Setor do armazém



b) Setor de fabrico

Figura 27 – Balizas de sinalização luminosa e sonora.

3.6 Software utilizado

Para o desenvolvimento deste projeto, foi necessário utilizar diversas ferramentas de software, cada uma com um papel específico no planeamento, simulação, programação e modelação do sistema implementado. Esta secção descreve brevemente os principais programas informáticos utilizados, destacando a sua função e relevância para o progresso do trabalho.

3.6.1 *RobotStudio*

O *RobotStudio*, desenvolvido pela ABB, é uma ferramenta de simulação, programação e visualização de robôs industriais em ambiente virtual. Esta ferramenta permite criar modelos virtuais dos robôs ABB, simular os seus movimentos, testar lógicas de operação e validar programas antes da sua execução [28].

No contexto deste projeto, o *RobotStudio* foi utilizado para:

- Programar os ciclos de trabalho dos robôs ABB IRB 140 e IRB 1400;
- Testar sequências de manipulação e verificar alcances e tempos de ciclo;

- Detetar e corrigir possíveis colisões ou interferências no ambiente de trabalho.

A simulação em ambiente virtual permitiu otimizar o *layout* da célula, garantir a segurança operacional e reduzir significativamente o tempo de configuração no sistema físico.

3.6.2 TIA Portal

O TIA Portal (*Totally Integrated Automation Portal*), desenvolvido pela Siemens, é uma plataforma de engenharia integrada que permite programar e configurar autómatos programáveis (PLC), interfaces HMI, sistemas de comunicação industrial e outros componentes essenciais de automação [29].

No âmbito deste projeto, o TIA Portal foi utilizado para:

- Desenvolver o programa de controlo da célula, incluindo a gestão de sensores, atuadores, *stoppers* pneumáticos, bem como o envio e receção de sinais digitais e analógicos;
- Configurar e programar uma interface HMI para permitir a monitorização local do sistema, oferecendo ao operador uma interface intuitiva para visualização de estados, identificação de falhas e controlo direto do processo;
- Implementar um *Web Server*, que permite o acesso remoto à célula através de um navegador web, com funcionalidades de consulta de variáveis, diagnóstico do sistema e execução de comandos básicos.

A utilização do TIA Portal revelou-se essencial para a criação de um sistema de controlo centralizado, robusto e escalável, contribuindo significativamente para a eficiência, segurança e fiabilidade da operação da CFF.

3.6.3 SolidWorks

O *SolidWorks* é um software de CAD tridimensional, amplamente utilizado para a modelação e montagem de peças e sistemas mecânicos com um elevado nível de detalhe e precisão [30].

Durante o desenvolvimento deste projeto, o *SolidWorks* foi utilizado para:

- Criar modelos 3D detalhados dos componentes físicos da célula, incluindo os armazéns, o transportador, a fresadora, a torno, entre outros;
- Exportar os modelos para outras plataformas, nomeadamente o *RobotStudio*, permitindo uma integração direta e precisa dos elementos físicos no ambiente de simulação robótica;
- Desenhar o *layout* da maquete do sistema de controlo com PLC, facilitando a organização física dos seus componentes e respetiva interligação.

A utilização do *SolidWorks* revelou-se essencial para garantir uma representação fiel do ambiente físico da CFF, apoiando eficazmente as fases de conceção, simulação e documentação técnica do projeto.

3.6.4 *TouchFinder*

O *TouchFinder* é um programa informático desenvolvido pela OMRON para configurar, parametrizar e monitorizar as câmaras inteligentes da série FQ2. Este programa disponibiliza uma interface gráfica intuitiva que permite configurar os modos de operação, ajustar os parâmetros de aquisição de imagem e definir zonas de inspeção com elevada precisão [31].

No âmbito deste projeto, o *TouchFinder* revelou-se fundamental para:

- Parametrizar o sistema de visão instalado no *gripper* dos robôs ABB IRB 140 e IRB 1400, nomeadamente as câmaras FQ2-S45100N;
- Definir as áreas de inspeção e os objetos a detetar (peças retangulares e circulares), recorrendo a ferramentas como a pesquisa de formas, a largura de borda, a área, entre outras;
- Visualizar em tempo real os resultados das inspeções, facilitando a validação do julgamento (OK/NG) para cada peça analisada.

A utilização do *TouchFinder* assegurou uma integração precisa do sistema de visão no processo de fabrico automatizado e garantiu a fiabilidade da inspeção das paletes.

3.6.5 *MasterCam*

O *Mastercam* é um software CAD/CAM (*Computer-Aided Design* e *Computer-Aided Manufacturing*) amplamente utilizado para desenhar peças, definir estratégias de corte, configurar ferramentas e simular operações de maquinação, sendo ideal para preparação de programas destinados a equipamentos CNC, como fresadoras e tornos [32] e [33].

Neste projeto, o *Mastercam* foi essencial para:

- Desenhar e gerar os percursos de maquinação das peças retangulares, destinadas à fresadora EMCO Concept Mill 155;
- Desenhar e criar os percursos de torneamento das peças cilíndricas, destinadas ao torno EMCO Concept Turn 55;
- Gerar ficheiros NC (*Numerical Control*) compatíveis com os controladores das máquinas CNC utilizadas na célula.

A Figura 27 apresenta uma visão geral do processo CAD/CAM/CNC, desde a modelação da peça até à sua maquinação no equipamento CNC [15].

Arquitetura de hardware e software

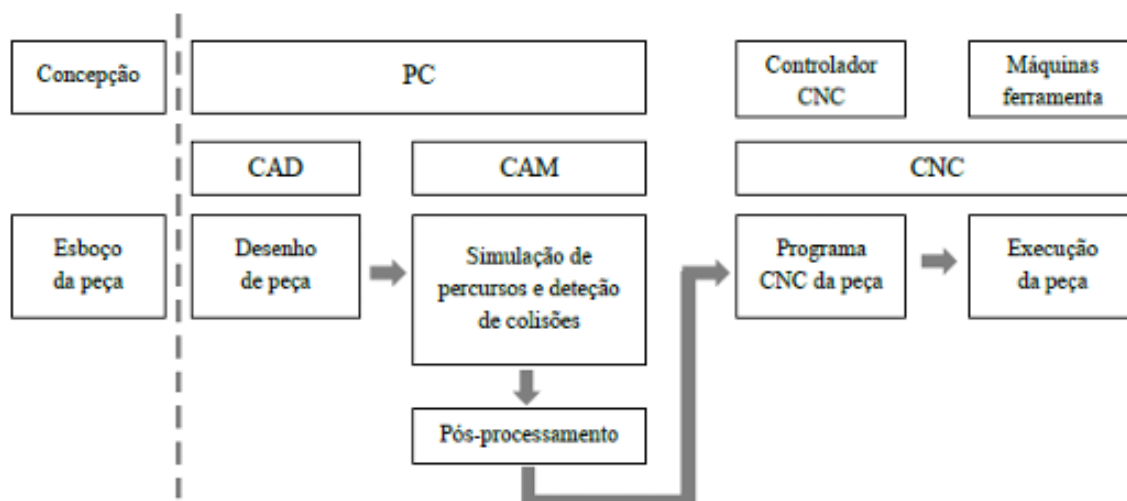


Figura 28 – Funcionamento CAD/CAM/CNC [15].

4 Trabalho desenvolvido

Neste capítulo, é apresentado detalhadamente todo o trabalho realizado ao longo deste projeto, com o objetivo de atingir as metas propostas para esta dissertação.

4.1 Gestor da CFF

Para responder à necessidade de integrar uma nova interface homem-máquina (HMI) no projeto e garantir uma solução definitiva para a CFF, foi proposto o desenvolvimento de uma nova maquete, que substitui o antigo gestor da CFF, apresentado na Figura 29. Esta alteração tem como objetivo disponibilizar o espaço físico necessário para a implementação da nova HMI.

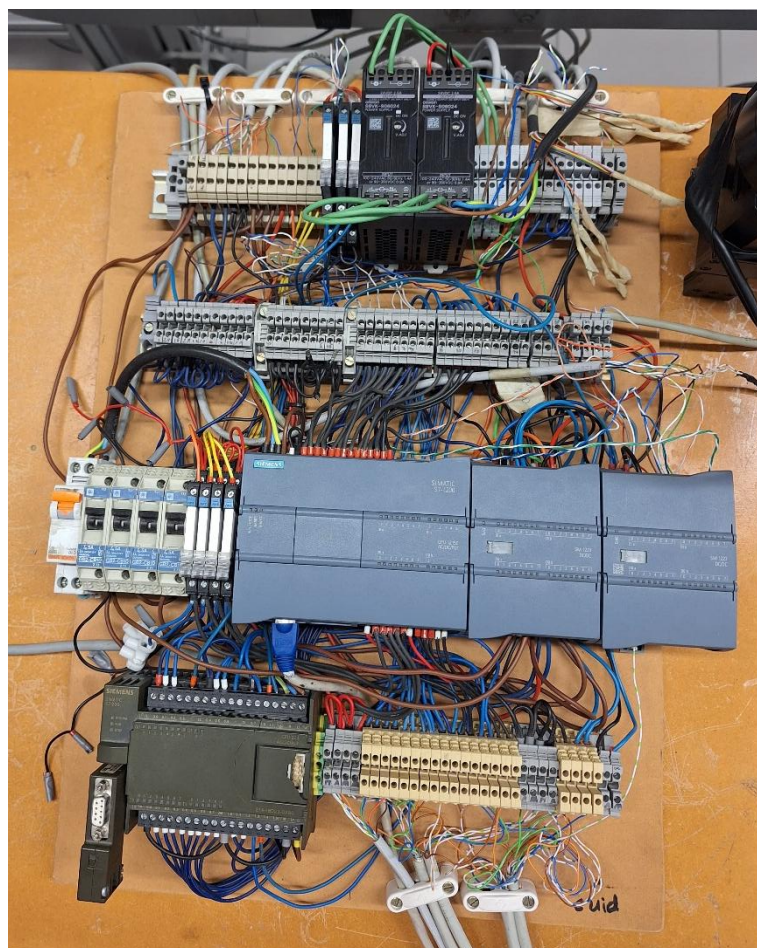


Figura 29 – Antigo gestor da CFF.

Trabalho desenvolvido

Para o desenvolvimento da nova maquete, recorreu-se ao software *SolidWorks*, utilizando modelos CAD dos componentes a integrar, como o PLC Siemens S7-1215, módulos de expansão, disjuntores, entre outros. Com base nesses modelos, foi concebido o novo *layout* apresentado na Figura 30.

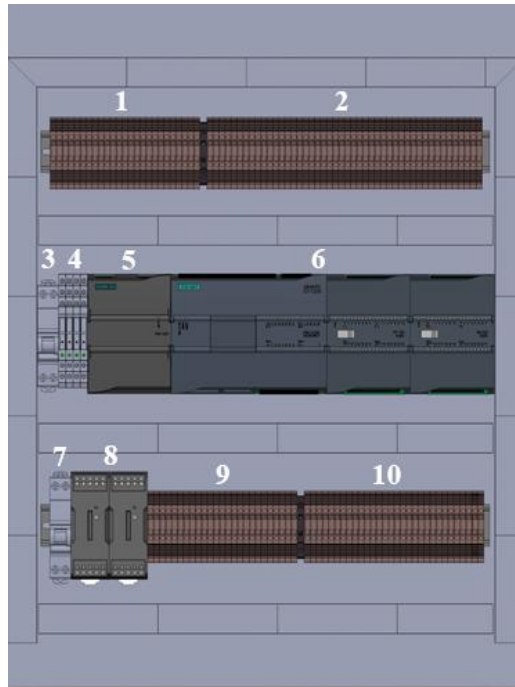


Figura 30 – Novo *layout* da maquete do gestor da CFF.

No novo *layout*, os principais componentes e respetivas funções estão organizados da seguinte forma:

1. Ligadores para os 24V DC;
2. Ligadores das entradas do PLC;
3. Disjuntor que alimenta o PLC e o transformador AC/DC;
4. Relés que acionam os *stoppers* do transportador;
5. Transformador AC/DC (230V AC para 24V DC);
6. PLC Siemens S7-1215 e dois módulos de expansão;
7. Disjuntor que alimenta os transformadores das câmaras OMRON FQ2-S45100N;
8. Transformador das câmaras OMRON FQ2-S45100N;
9. Ligadores para os 0V DC;
10. Ligadores das saídas do PLC.

Após a definição e validação do novo *layout*, procedeu-se à sua implementação prática na maquete física. Todos os componentes foram organizados e instalados de acordo com a

disposição previamente planeada, respeitando a lógica de funcionamento e as ligações do antigo gestor da CFF. As ligações elétricas foram cuidadosamente realizadas para garantir a correta alimentação, comunicação e funcionamento dos diferentes elementos, assegurando a operacionalidade do sistema de acordo com os requisitos do projeto.

A Figura 31 apresenta o novo gestor da CFF já montado, evidenciando a integração dos principais componentes e a preparação do sistema para a futuras expansões.

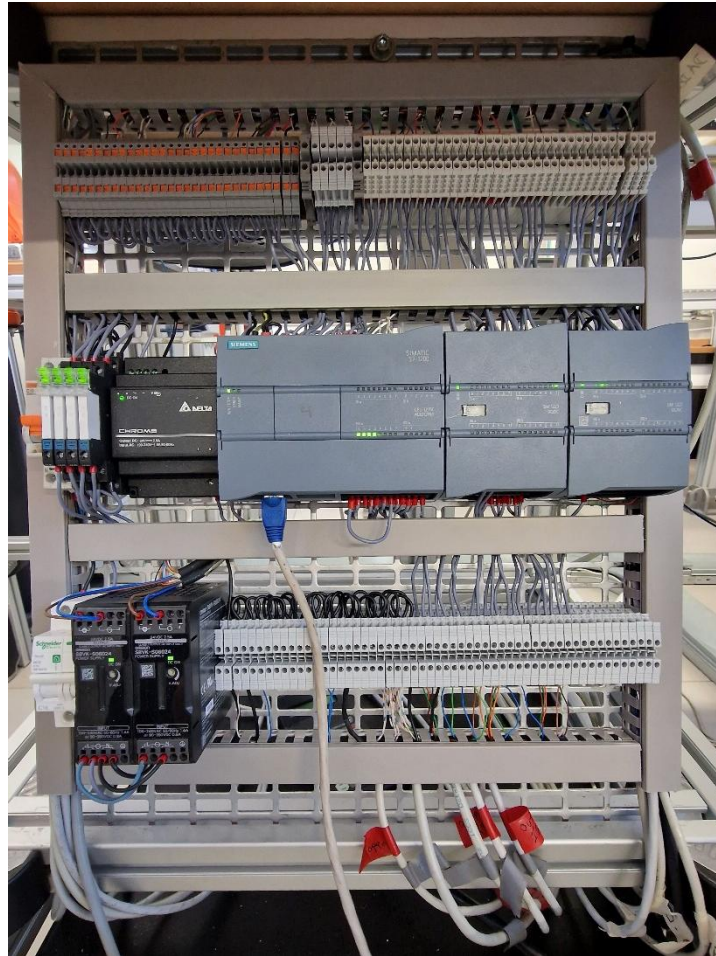


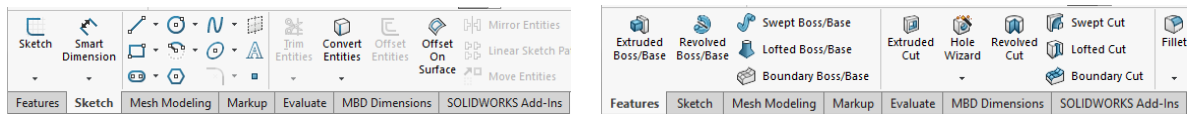
Figura 31 – Novo gestor da CFF.

Para complementar a montagem física do novo gestor da CFF, foram desenvolvidos os respectivos esquemas elétricos com o objetivo de documentar e suportar tecnicamente todas as ligações efetuadas. Estes esquemas encontram-se apresentados nos Anexo C e D, onde é possível visualizar, respetivamente, o mapeamento das entradas e saídas do PLC, a distribuição da alimentação elétrica em corrente contínua (DC) e o esquema de potência em corrente alternada (AC). A elaboração destes diagramas revelou-se fundamental para assegurar a correta organização do sistema, bem como a sua segurança e fiabilidade operacional.

4.2 Simulação da CFF

Para simular a CFF no software *RobotStudio*, foi necessário modelar previamente todos os seus componentes físicos. Para tal, foi utilizado o software de desenho *SolidWorks*, onde foram desenvolvidos os modelos tridimensionais das estruturas e equipamentos da célula.

O processo iniciou-se com a criação dos esboços bidimensionais (2D) das peças, utilizando a ferramenta *Sketch*. Posteriormente, com recurso à ferramenta "*Features > Extruded Boss/Base*", os esboços foram convertidos em modelos tridimensionais (3D). A Figura 32 apresenta os menus utilizados no *SolidWorks* para estas operações.

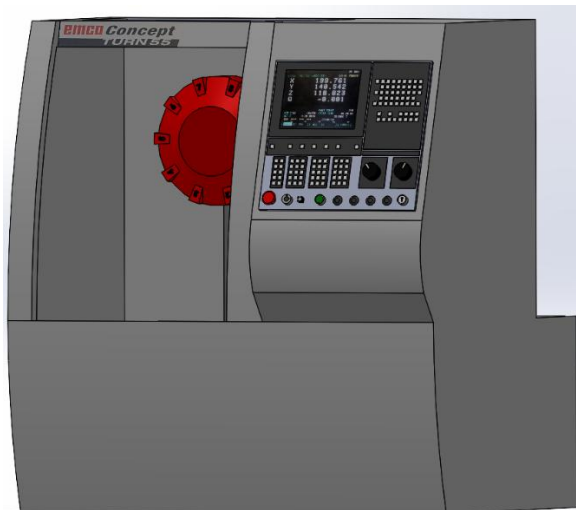


a) Menu *Sketch* (2D)

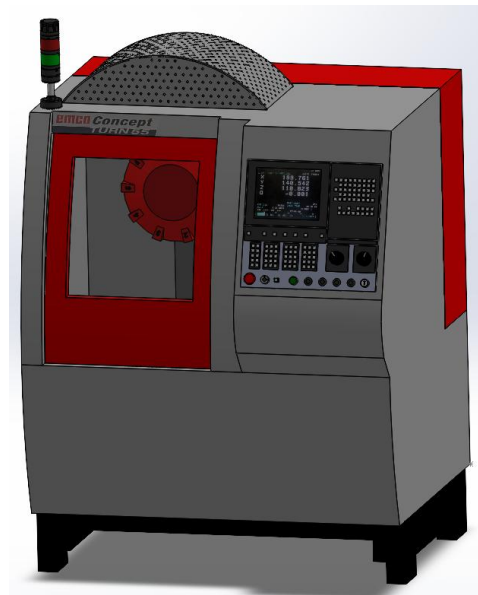
b) Menu *Features* (3D)

Figura 32 – Menus do software *SolidWorks*.

Em diversas situações, foi necessário modelar separadamente partes das estruturas, conforme é visível na Figura 33 a). Após a modelação individual, os componentes foram agrupados em conjuntos (*assemblies*) no próprio *SolidWorks*, permitindo a criação de representações completas das máquinas e estruturas da CFF, conforme ilustrado na Figura 33 b).



a) Parte da estrutura da fresadora.



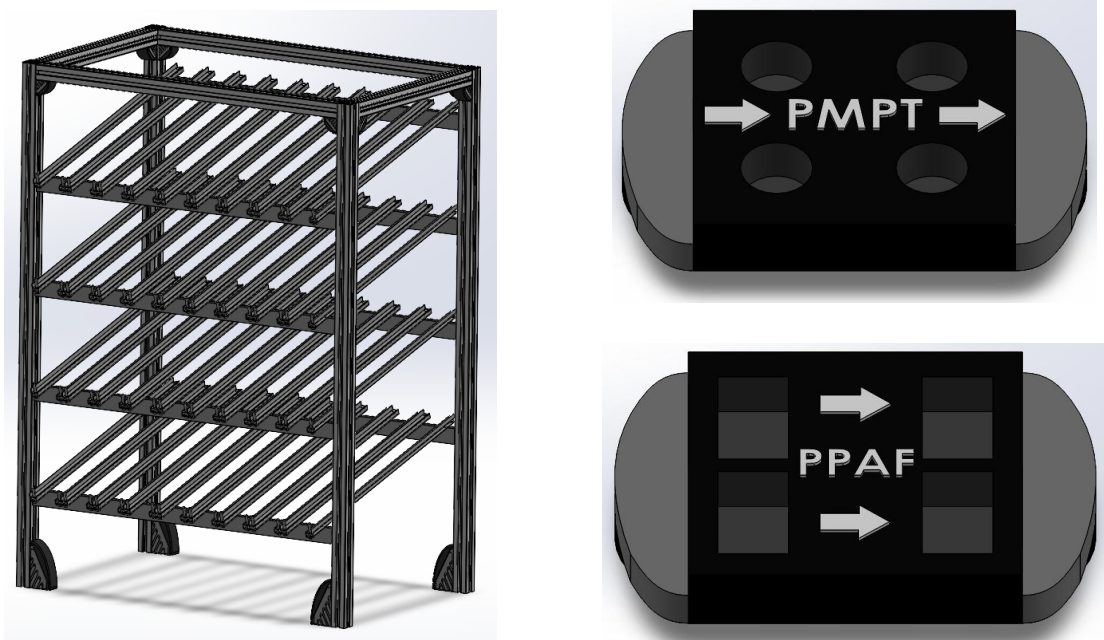
b) *Assembly* da fresadora.

Figura 33 – Estrutura 3D da fresadora.

O *SolidWorks* permite a exportação dos modelos tridimensionais no formato .SAT, o qual é compatível com o software *RobotStudio*. Esta funcionalidade possibilitou a inserção precisa dos componentes da célula no ambiente virtual de simulação, garantindo a fidelidade geométrica e espacial da CFF. Este procedimento revelou-se fundamental para validar, de forma virtual, a integração e o funcionamento dos diferentes elementos do sistema.

4.2.1 Modelação dos componentes da CFF

A modelação começou pelos armazéns de armazenamento e pelas paletes destinadas ao transporte de matérias-primas e produtos acabados. Estes elementos foram desenhados de forma a garantir uma representação fiel das dimensões e características físicas observadas no ambiente real da célula. As paletes foram desenhadas com base nos diferentes tipos utilizados na CFF (peças para a fresadora e para o torno). Já a estrutura dos armazéns foi concebida com múltiplos compartimentos, de modo a respeitar a sua capacidade de armazenamento e a sua disposição no espaço físico, permitindo a simulação correta das operações de descarga das peças. Estes elementos encontram-se ilustrados na Figura 34.



a) Estrutura do armazém

b) Paletes da matéria-prima/produto acabado

Figura 34 – Representação da estrutura do armazém e das paletes.

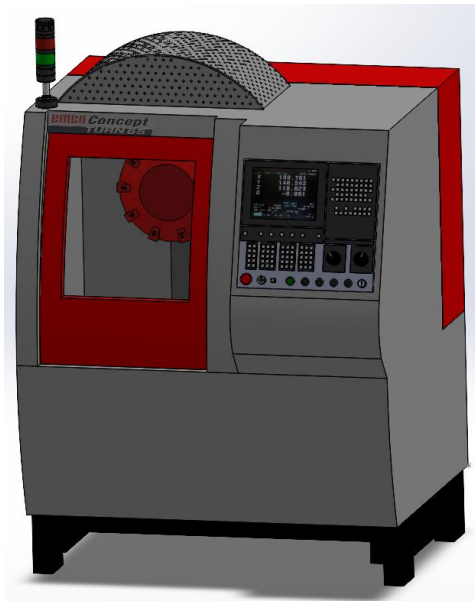
Trabalho desenvolvido

Seguidamente, foi modelada a estrutura do transportador, considerando o seu percurso retangular, bem como a localização dos *stoppers* e dos sensores ao longo do trajeto. Esta abordagem permitiu simular com precisão o comportamento do transportador, incluindo as zonas de paragem, os sentidos de movimento e a interação com os robôs manipuladores. A Figura 35 apresenta a representação tridimensional do componente em questão.



Figura 35 – Representação do transportador da CFF.

Para representar o setor de fabrico, foram modeladas as máquinas CNC utilizadas no processo de maquinação: a fresadora EMCO Concept Mill 155 (Figura 36 a)) e o torno EMCO Concept Turn 55 (Figura 36 b)). Cada máquina foi desenhada com base nas suas dimensões reais, incluindo os principais detalhes estruturais (corpo, mesa de trabalho e zona de operação), garantindo o correto posicionamento no *layout* virtual e a validação dos alcances operacionais dos robôs.



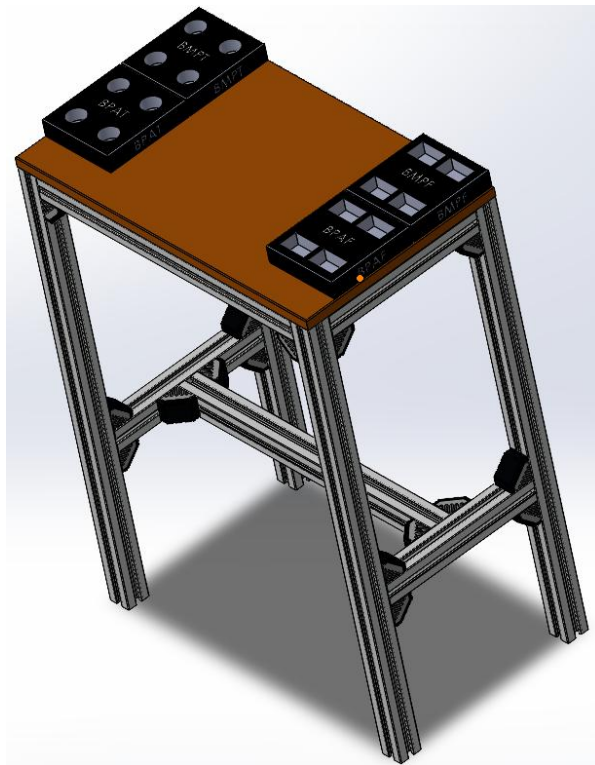
a) Fresadora



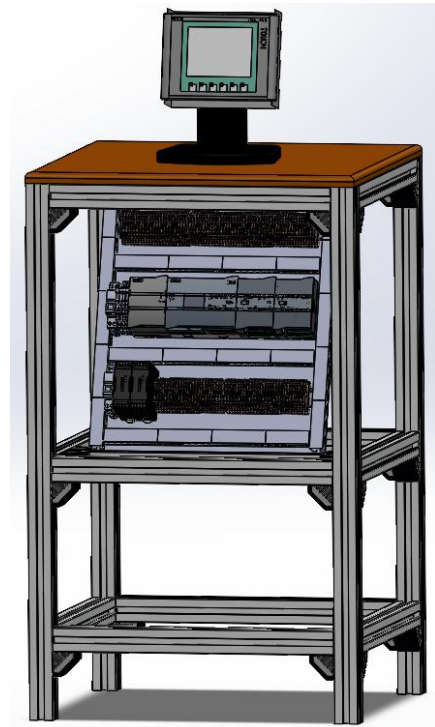
b) Torno

Figura 36 – Representação da CNC fresadora e torno.

Por fim, foram modelados os restantes elementos constituintes da célula, nomeadamente os *buffers* de matérias-primas e de produtos acabados, que funcionam como áreas temporárias de armazenamento. Adicionalmente, foi também desenvolvido o modelo do gestor da CFF, o qual inclui o quadro de comando com o PLC, relés e outros elementos de interface, bem como a interface HMI, fundamental para simular a interação do operador com o sistema. Estes elementos encontram-se representados na Figura 37.



a) *Buffers* das peças no setor de fabrico



b) Gestor da CFF e HMI

Figura 37 – Elementos desenvolvidos no software *SolidWorks*.

4.2.2 Integração final no *RobotStudio*

A Figura 38 apresenta a célula flexível de fabrico já completamente modelada e integrada no ambiente virtual do *RobotStudio*, permitindo visualizar a configuração final do *layout* da CFF. Esta representação virtual reproduz com rigor a disposição física dos componentes, possibilitando a análise e validação do funcionamento do sistema em condições próximas das reais, antes da sua implementação prática.

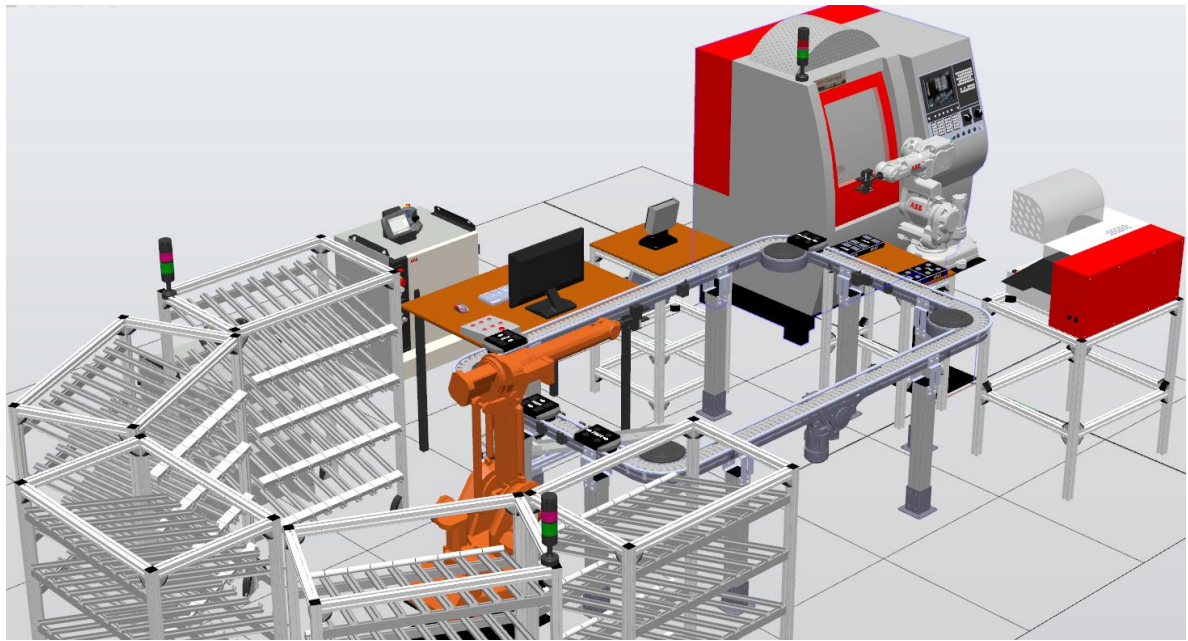


Figura 38 – Representação da CFF no *RobotStudio*.

Para garantir uma simulação realista e funcional, foram desenvolvidos vários mecanismos, como a abertura e o fecho do *gripper*, bem como a movimentação das portas do torno e da fresadora. Estes mecanismos permitiram replicar com precisão os movimentos físicos dos equipamentos, garantindo que o comportamento virtual correspondesse ao esperado no ambiente real.

Para além dos mecanismos, foram criados vários *smart components* com o objetivo de automatizar e coordenar operações essenciais, tais como:

- A movimentação da matéria-prima e do produto acabado;
- O transporte das paletes ao longo do tapete transportador;
- Sincronização de sensores e atuadores para a manipulação de peças.

O exemplo apresentado na Figura 39, mostra o *line sensor* instalado no manipulador do robô. Este sensor é responsável por detetar a presença de objetos (matéria-prima ou produto acabado) e ativar o mecanismo de fixação (*Attacher*), permitindo que o robô transporte a peça até ao destino pretendido, por exemplo, uma paleta.

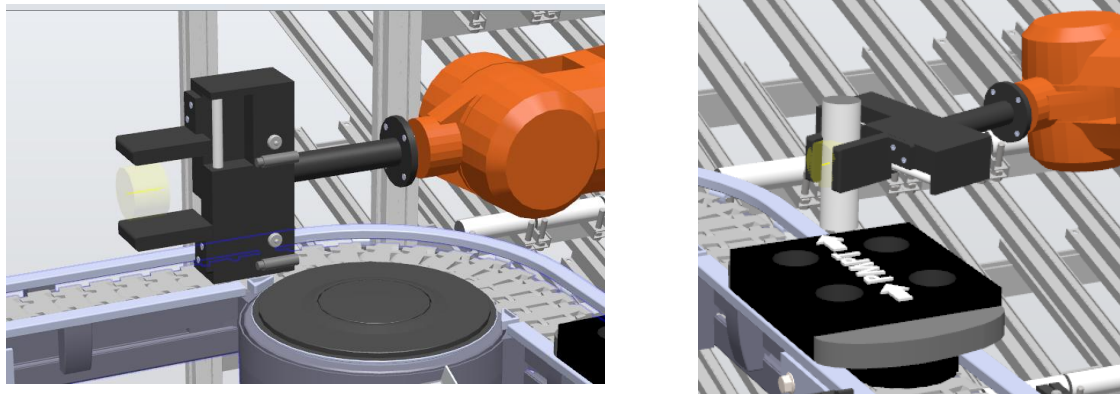


Figura 39 – *Line sensor* instalado no *gripper* do robô.

Para coordenar todos estes movimentos com o programa RAPID em execução no robô, foi necessário recorrer à funcionalidade "*Simulation – Station Logic*". Nesta fase, procedeu-se à interligação lógica de todos os elementos virtuais, como o *Line Sensor*, o *Attacher*, o *Detacher*, entre outros, garantindo que a simulação reproduz com fidelidade a lógica de funcionamento do sistema físico. A Figura 40 exemplifica a configuração destas ligações, evidenciando a função responsável por comandar a operação de pegar e largar peças com o "*gripper*".

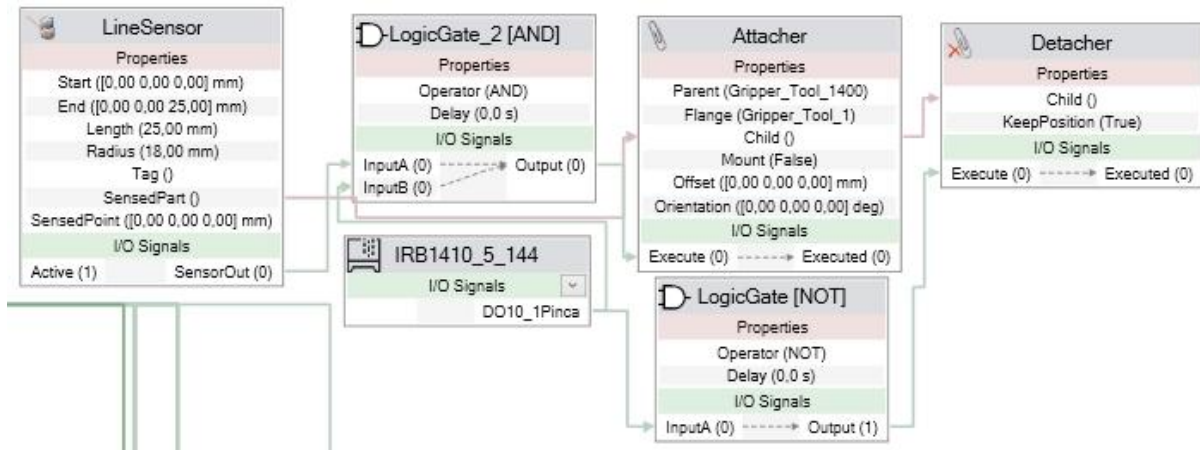


Figura 40 – “Função” responsável por pegar/largar as peças do *gripper*.

Adicionalmente, foi implementada a funcionalidade de movimentação das paletes entre o setor do armazém e o setor de fabrico. Para isso, tornou-se necessário associar corretamente as peças às paletes, o que foi conseguido através da instalação de quatro *plane sensors*, um em cada posição onde as peças seriam colocadas. Como ilustrado na Figura 41, quando um desses sensores é interrompido, é acionado o mecanismo de *attachment* entre a peça detetada e a respetiva paleta.

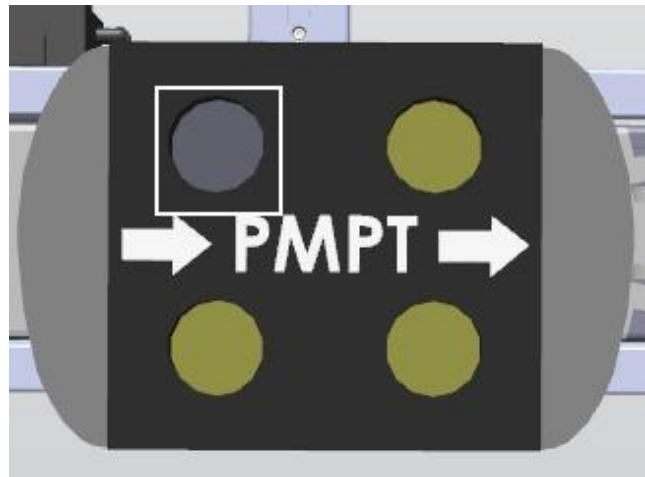


Figura 41 – *Plane sensors* instalados nas paletes.

Para simular o deslocamento da paleta, foram definidos cinco movimentos sequenciais, dos quais três são lineares (movimentos 1, 3 e 5) e dois são rotacionais (movimentos 2 e 4). Em seguida, foi criada uma variável denominada *Transport_Pal*, que ao ser ativada, executa esses cinco movimentos em sequência, simulando assim a deslocação da paleta desde o setor do armazém até ao setor de fabrico. A Figura 42 ilustra o conjunto de movimentos responsáveis por esta funcionalidade.

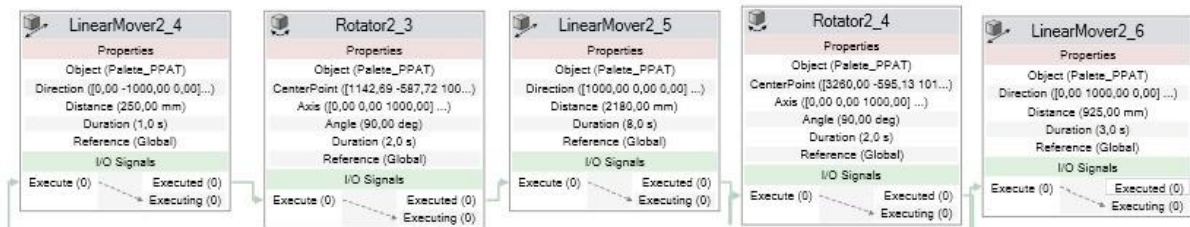


Figura 42 – Função responsável por fazer o movimento da paleta entre o setor do armazém e o setor de fabrico.

Este conjunto de integrações e automatismos, desenvolvidos no *RobotStudio*, permitiu criar uma representação virtual fiel da célula de fabrico flexível, na qual todos os fluxos de trabalho, as interações entre os equipamentos e as respostas aos eventos foram devidamente testados e validados antes da implementação física.

4.3 Programação RAPID

Nos subcapítulos seguintes, é detalhada a lógica de programação desenvolvida para cada um dos setores da CFF.

4.3.1 Setor de armazenamento

Com o auxílio da simulação em *RobotStudio*, foram criadas rotinas que asseguram o carregamento e o descarregamento das paletes que circulam ao longo do transportador. As rotinas implementadas, cada uma dedicada a uma operação específica, estão identificadas pelas seguintes designações:

- “rCarrPMPT” – Carregamento da paleta PMPT;
- “rCarrPMPF” – Carregamento da paleta PMPF;
- “rDescPPAT” – Descarregamento da paleta PPAT;
- “rDescPPAF” – Descarregamento da paleta PPAF.

Para garantir a correta coordenação entre os robôs e o PLC, foi fundamental analisar a interface de comunicação robótica apresentada no Anexo A. Esta comunicação é possível graças à ligação direta entre as entradas do PLC e as saídas do controlador do robô, bem como entre as saídas do PLC e as entradas do controlador, permitindo a troca de sinais essenciais para coordenar as operações de forma automatizada.

4.3.1.1 Carregamento da matéria-prima

Após a identificação do tipo de paleta pelos sensores indutivos instalados no transportador, é iniciado o processo de carregamento da respetiva matéria-prima. O robô desloca-se automaticamente até ao armazém correspondente ao tipo de paleta e procede ao seu enchimento com as peças necessárias.

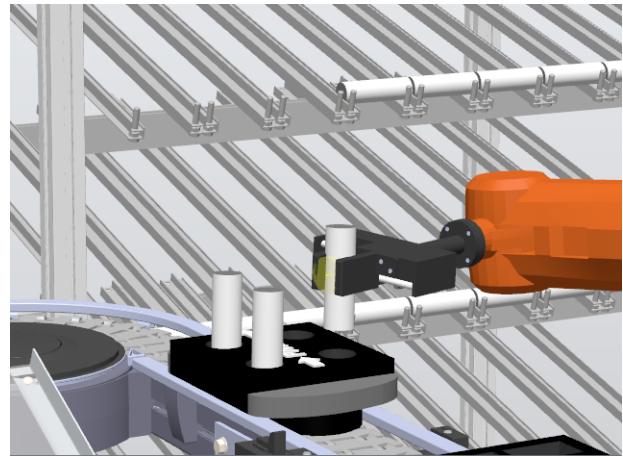
Durante este processo, o robô verifica sequencialmente cada uma das oito colunas do armazém. Se a coluna inicialmente selecionada não tiver matérias-primas, o robô continua a inspeção pelas restantes colunas até encontrar peças disponíveis para o carregamento. Se, após percorrer todas as colunas, não for detetada qualquer peça, é gerada uma mensagem de aviso ao operador através do *Teach Pendant*, informando-o da ausência de peças no armazém.

Neste caso, o operador tem duas opções: pode optar por reiniciar a pesquisa no armazém, permitindo ao robô realizar uma nova verificação, ou pode encaminhá-lo para a posição de repouso.

A Figura 43 apresenta, de forma comparativa, o processo de carga da paleta de matérias-primas (PMPT) no setor de armazenamento, apresentando tanto a operação realizada no ambiente real a) como a respetiva simulação desenvolvida no *RobotStudio* b).



a) Carregamento da PMPT real

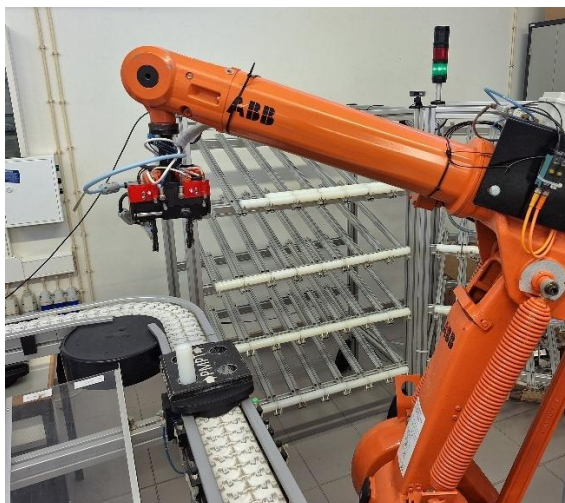


b) Simulação do carregamento da PMPT

Figura 43 – Carregamento da paleta PMPT.

Durante esta fase, o sistema de visão captura imagens da paleta e efetua uma análise detalhada, correlacionando os dados obtidos no momento da ativação com os padrões de inspeção previamente ensinados. Este procedimento assegura a verificação precisa da presença e da posição das peças na paleta, garantindo que o carregamento está em conformidade com os requisitos do processo produtivo.

A Figura 44 ilustra o momento da inspeção da paleta no tapete transportador, evidenciando diferentes cenários de ocupação.



a) Inspeção PMPT com uma peça.

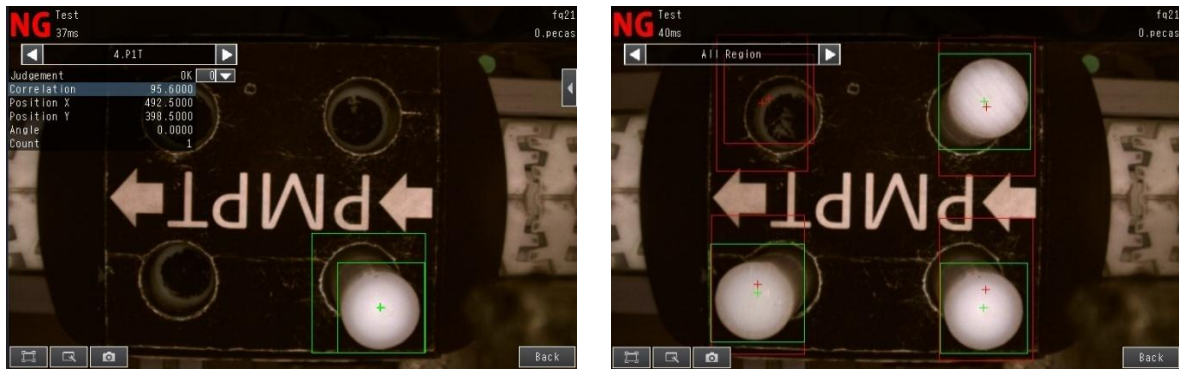


b) Inspeção PMPT com três peças.

Figura 44 – Posição de inspeção da paleta no tapete transportador.

Trabalho desenvolvido

As inspeções exemplificadas na Figura 44 estão detalhadas na Figura 45, onde é possível visualizar a correspondência entre as posições das peças detetadas e as referências previamente estabelecidas no sistema. As imagens apresentadas foram obtidas diretamente pelo sistema de visão instalado no *gripper* do robô.



a) Correlação da PMPT com uma peça.

b) Correlação da PMPT com três peças.

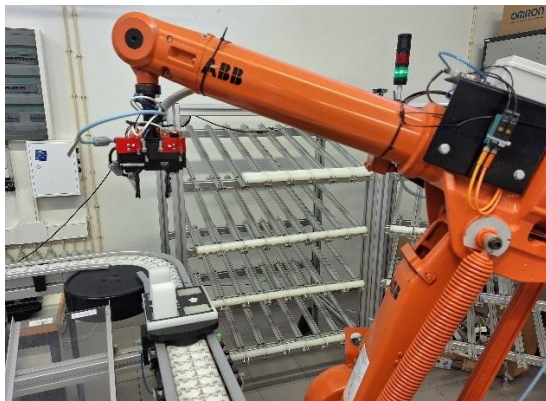
Figura 45 – Resultados das inspeções às paletes.

4.3.1.2 Descarregamento do produto acabado

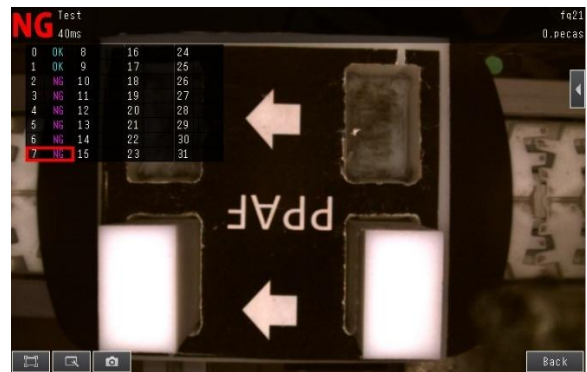
Após a conclusão da maquinação das peças no setor de fabrico, estas são transportadas de volta ao setor de armazém, utilizando as paletes PPAT e PPAF, para serem descarregadas na rampa de saída. Ao chegar ao setor de armazém, a paleta de produtos acabados é submetida a uma inspeção pelo sistema de visão, que identifica o número de peças presentes na paleta e determina a sua posição.

Concluída a verificação, o robô transfere as peças da paleta para a rampa, recorrendo às rotinas "rDesc_PPAT" ou "rDesc_PPAF", consoante o tipo de paleta. Se a paleta chegar vazia ao setor de armazém, continua o seu percurso pelo transportador sem intervenção do robô.

A Figura 46 ilustra este processo, mostrando o robô a inspecionar e a identificar as peças na paleta de produtos acabados.



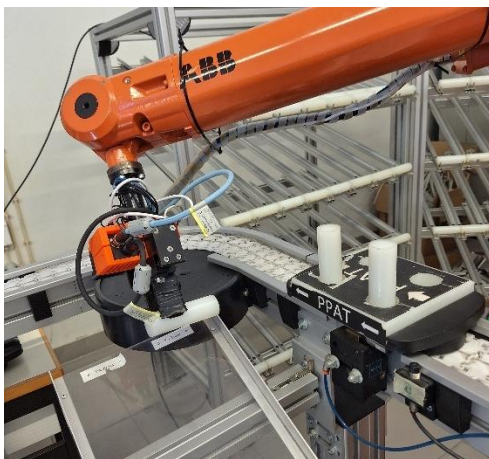
a) Inspeção da paleta.



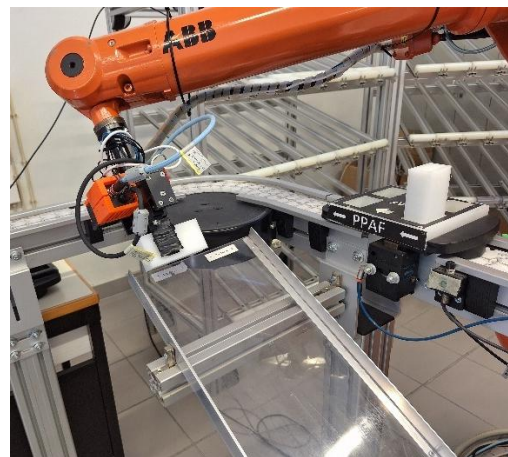
b) Identificação das peças existentes na paleta.

Figura 46 – Inspeção da paleta de produtos acabados.

A Figura 47 mostra o processo de transferência do produto acabado (PA) do transportador para a rampa de saída. Esta fase evidencia os pontos específicos onde as peças são colocadas pelo robô, tanto as provenientes do torno como as provenientes da fresadora.



a) Descarregamento do PA do torno.



b) Descarregamento do PA da fresadora.

Figura 47 – Descarregamento do produto acabado.

4.3.2 Setor de fabrico

Para garantir a correta execução das operações no setor de fabrico, foram desenvolvidas várias rotinas específicas que asseguram o carregamento e o descarregamento de paletes no transportador, bem como a gestão de *buffers* e de máquinas CNC. Cada rotina foi concebida para cumprir uma função operacional específica, possibilitando a automatização e a sincronização dos diferentes processos. As principais rotinas implementadas são as seguintes:

- “rDescEstToBuffT” – Carregamento do *buffer* de MP do Torno;
- “rDescEstToBuffF” – Carregamento do *buffer* de MP da Fresadora;
- “rDescBuffToEstF” – Descarregamento do *buffer* de PA do Torno;
- “rDescBuffToEstT” – Descarregamento do *buffer* de PA da Fresadora;
- “rDesCarrTorno” – Ciclo completo de carregamento e descarregamento do Torno;
- “rDesCarrFresa” – Ciclo completo de carregamento e descarregamento da Fresadora;
- “CarregaTorno” – Faz o primeiro carregamento do Torno;
- “CarregaFresa” – Faz o primeiro carregamento da Fresadora;
- “rPedePecas” – Rotina responsável por receber e processar pedidos de peças para fabrico.

4.3.2.1 Descarregamento das paletes de MP para os *buffers*

Tal como no setor do armazém, os sensores indutivos instalados ao longo do transportador são responsáveis por detetar o tipo de palete presente. Se a variável “PecasAtuBMPT” ou “PecasAtuBMPF” for igual a zero, o que indica que o respetivo *buffer* de matérias-primas está vazio, e uma paleta do tipo PMPT (para o torno) ou PMPF (para a fresadora) passar junto ao sensor, o sistema ativa o *stopper*, imobilizando a paleta na posição correta para o processo de descarga.

Em seguida, o sistema de visão instalado no *gripper* do robô IRB 140 inspeciona a paleta, identificando a quantidade e a posição das peças. Com base nessa informação, as peças são transferidas da paleta para o respetivo *buffer* de matérias-primas, utilizando as rotinas “rDescEstToBuffT” ou “rDescEstToBuffF”, conforme o tipo de paleta.

4.3.2.2 Pedido de peças para fabrico

O pedido de fabrico de peças é enviado ao robô através das entradas analógicas "AI11_1" e "AI11_2" do controlador. Como estas entradas operam na gama de -10 V a +10 V e as saídas analógicas do PLC funcionam entre 0 e 20 mA, foi necessário efetuar uma conversão de

corrente para tensão. Para esse efeito, foram utilizados dois módulos conversores de corrente para tensão, um por cada entrada analógica [34].

Para garantir uma leitura fiável e evitar erros de interpretação dos sinais analógicos, foi definido que o número máximo de peças a solicitar por cada máquina CNC seria de 10 peças por pedido, o que corresponde a uma conversão de 1 V por peça.

É importante salientar que, embora o limite por pedido seja de 10 peças, o sistema permite a realização de vários pedidos sucessivos. Sempre que um novo pedido é recebido, o valor correspondente é adicionado à variável interna do robô responsável por contabilizar a quantidade total de peças a fabricar, garantindo a correta acumulação da produção solicitada.

A Figura 48 mostra o código da rotina “rPedePecas”, que lê o valor proveniente das entradas analógicas, o converte e o armazena numa variável inteira, a qual será utilizada posteriormente no processo de fabrico pelas máquinas CNC.

```

PROC rPedePecas()
  PecasPedT:=PecasPedT+Round(AInput(AI11_1));
  PecasPedF:=PecasPedF+Round(AInput(AI11_2));
  TPErase;
  TPWrite "Numero Pecas Pedidas Torno: "+ ValToStr ( PecasPedT );
  TPWrite "Numero Pecas Pedidas Fresa: "+ ValToStr ( PecasPedF );
  IF PecaNaFresa=false inicializaF:=1;
  IF PecaNoTorno=false inicializaT:=1;
  SetDO D012_4,1;           !Avisa o PLC que recebeu o pedido de peças para fabricar
  WaitTime 2;
  SetDO D012_4,0;
ENDPROC

```

Figura 48 – Rotina responsável por receber e processar pedidos de peças para fabrico.

4.3.2.3 Carregamento das máquinas CNC

O carregamento das máquinas CNC só é efetuado se houver, pelo menos, uma peça de material disponível no *buffer* correspondente e um pedido de fabrico ativo. Só quando ambas as condições estão verificadas é que o robô inicia a execução das rotinas "CarregaFresa" ou "CarregaTorno", consoante a máquina em questão.

Devido ao elevado valor e à sensibilidade dos equipamentos CNC, os movimentos realizados no seu interior devem ser executados com grande precisão. Para garantir a segurança e a fiabilidade durante a manipulação das peças, foram definidos pontos de aproximação com *offsets*, que permitem ao robô posicionar-se de forma segura antes de interagir com zonas críticas, como o “*chuck*” do torno e o “*vice*” da fresadora

No torno, além do ponto real do *chuck*, foram criados os seguintes *offsets*:

- pChuckX: *offset* de 20 mm no eixo X, utilizado como ponto de aproximação lateral ao *chuck*;

Trabalho desenvolvido

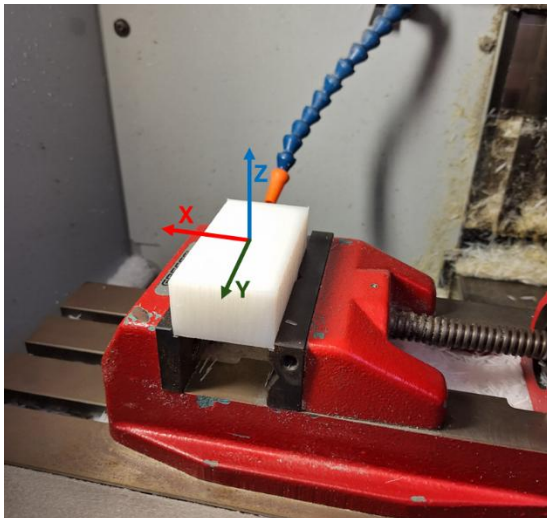
- pPecaAntPortaT: *offset* de -400 mm no eixo Y, definido como ponto de entrada antes do robô atravessar a porta da máquina.

Na fresadora, para além do ponto real do *vice*, foram definidos três pontos de *offset*:

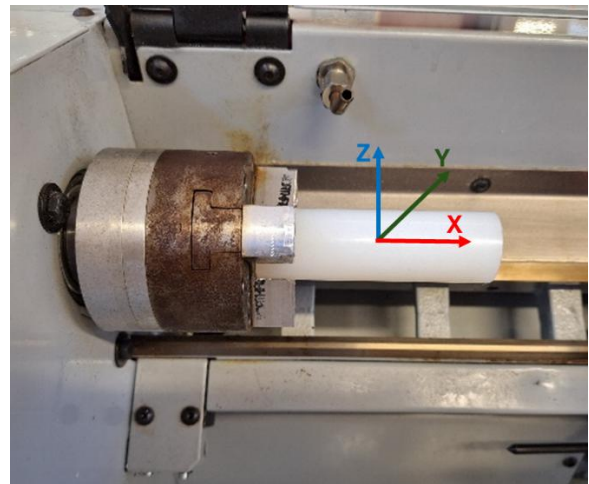
- pViceZ: *offset* de 50 mm no eixo Z para aproximação vertical ao *vice*;
- pViceY: *offset* de 150 mm no eixo Y para aproximação frontal;
- pPecaAntPortaF: ponto de entrada na fresadora com *offset* de 400 mm no eixo Y e 50 mm no eixo Z.

Estes pontos de aproximação permitem que os movimentos do robô sejam executados de forma controlada e segura, minimizando o risco de colisões e assegurando o correto posicionamento das peças no interior das máquinas.

A Figura 49 apresenta os eixos referenciais utilizados para posicionar o robô durante o carregamento e descarregamento das máquinas CNC, nomeadamente o *chuck* do torno e o *vice* da fresadora. Estes pontos de referência servem de base para os movimentos com *offset* anteriormente definidos, garantindo que o robô se aproxima corretamente das zonas de trabalho sem pôr em risco a segurança do equipamento.



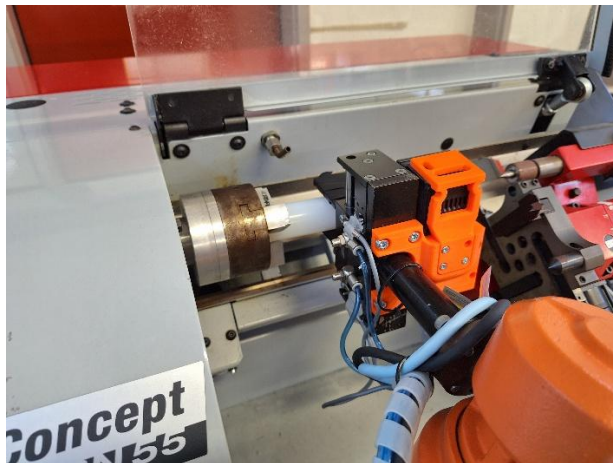
a) Eixo referencial do *chuck*.



b) Eixo referencial do *vice*.

Figura 49 – Pontos de carregamento das máquinas CNC.

A Figura 50 ilustra o processo de carga do torno pelo robô, tanto em ambiente real como em ambiente de simulação.



a) Carregamento do torno.

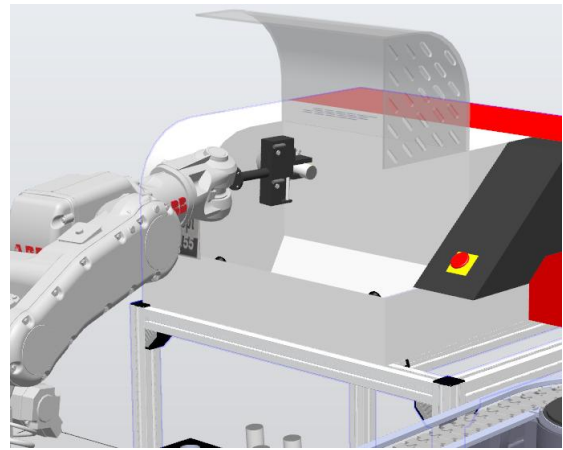
b) Simulação do carregamento do torno no *RobotStudio*.

Figura 50 – Carregamento do torno.

Quando a maquinação de uma peça é concluída, é ativada uma rotina do tipo TRAP, que permite ao robô responder automaticamente a eventos de interrupção. Neste contexto, foram desenvolvidas duas rotinas TRAP: “rDesCarrTorno” e “rDesCarrFresa”, responsáveis pelo descarregamento e carregamento do torno e da fresadora, respectivamente. Optou-se por realizar o descarregamento e carregamento numa única operação, com o objetivo de minimizar o tempo de inatividade das máquinas CNC.

Estas rotinas são ativadas por *interrupts* designados como Torno e Fresa, que geram automaticamente uma fila FIFO (*First In, First Out*). Desta forma, as rotinas TRAP são executadas pela ordem em que as interrupções são geradas, garantindo uma sequência de execução. A Figura 51 apresenta a implementação das rotinas TRAP e os respectivos *interrupts* associados.

```

! _____ Fresadora _____
IDelete Fresa;
IF contF<4 THEN
  CONNECT Fresa WITH rFresa;          !Descarrega e Carrega Fresa (Minimo tempo da CNC Parada) é chamada a funcao TRAP
  ISignalDI DI10_12,1,Fresa;
ENDIF
IF DI10_12=1 AND contF>=4 PecaProntaF:=TRUE; !Guarda na memoria quando a fresadora tem uma peça pronta quando o BPAF está cheio
IF contF<4 AND PecaProntaF=TRUE rDesCarrFresa; !Descarrega a Peça pronta da fresadora
! _____ Torno _____
IDelete Torno;
IF contT<4 THEN
  CONNECT Torno WITH rTorno;          !Descarrega e Carrega Torno (Minimo tempo da CNC Parada)
  ISignalDI DI10_1,1,Torno;
ENDIF
IF DI10_1=1 AND contT>=4 PecaProntaT:=TRUE; !Guarda na memoria quando o torno tem uma peça pronta quando o BPAT está cheio
IF contT<4 AND PecaProntaT=TRUE rDesCarrTorno; !Descarrega a Peça pronta do torno
  
```

Figura 51 – Rotinas TRAP e *interrupts* associados.

Uma das limitações da execução imediata das rotinas TRAP é o risco de interrupção de tarefas críticas em curso. Por exemplo, o robô pode estar a carregar uma paleta ou a operar no interior de uma máquina CNC quando ocorre uma interrupção, o que pode causar colisões ou falhas operacionais. Para evitar este problema, foram implementadas as instruções *IDisable* e *IEnable*.

No início de cada rotina principal do setor de fabrico, a instrução *IDisable* é utilizada para desativar temporariamente as interrupções. Após a conclusão da rotina em curso, a instrução *IEnable* é executada, reativando as interrupções e permitindo que as rotinas TRAP pendentes na fila FIFO sejam executadas. Este mecanismo garante que o robô conclui a tarefa atual de forma segura antes de executar qualquer rotina de resposta, mantendo assim a integridade e a fiabilidade da operação.

4.3.2.4 Carregamento da paleta do produto acabado

Após a produção do número de peças solicitado ou quando o *buffer* de produtos acabados atinge a sua capacidade máxima (quatro peças), é ativada uma saída digital do controlador que indica ao PLC a necessidade de esvaziar o *buffer* de produto acabado. A saída "DO12_11" indica que o produto acabado do torno está pronto, enquanto a saída "DO12_12" corresponde ao produto acabado da fresadora.

Nesse momento, quando a paleta PPAT ou PPAF passa sobre os sensores indutivos posicionados no transportador, é imobilizada por um *stopper*, iniciando-se o processo de carregamento. Esta operação é realizada através das rotinas "rDescBuffToEstT" (para o torno) ou "rDescBuffToEstF" (para a fresadora).

Após o carregamento, o sistema de visão instalado no *gripper* do robô realiza uma inspeção final à paleta. Esta inspeção permite confirmar a quantidade e a posição das peças, garantindo que o produto acabado está devidamente preparado para ser encaminhado para o setor de armazenamento e, posteriormente, descarregado na esteira de saída, conforme descrito anteriormente.

4.3.3 Registo local da produção

Em cada setor foi implementada uma rotina em RAPID denominada "rRegistaProducao", que tem como função realizar o registo local da produção. Esta rotina cria automaticamente um ficheiro de texto no computador da CFF, onde são guardados os dados referentes a cada paleta concluída.

No setor de armazém são registados os dados de cada tipo de paleta e, no setor de fabrico, as informações relativas à produção proveniente da fresadora ou do torno.

Para cada registo, são armazenados os seguintes elementos:

- Número da palete;
- Data e hora de finalização do processamento;
- Tempo de ciclo da paleta;
- Código da ocupação, que representa o número e a posição das peças produzidas. Por exemplo, o código 1100 indica que as posições 1 e 2 da paleta estão ocupadas, enquanto as posições 3 e 4 permanecem vazias.

A Figura 52 apresenta um exemplo de ficheiro gerado, no qual é possível observar a sequência cronológica dos registos efetuados localmente. Esta funcionalidade permite manter um histórico interno da produção, possibilitando consultas e verificações mesmo sem recurso à página web ou a bases de dados externas.

```

===== PRODUCAO IRB140 =====
===== Fresadora =====
Paleta Nº1
DATA: 2025-08-12   HORA: 17:06:36
Tempo de ciclo da Paleta: 2 min e 47 seg
Código: 1100
===== Fresadora =====
Paleta Nº2
DATA: 2025-08-12   HORA: 17:10:17
Tempo de ciclo da Paleta: 3 min e 34 seg
Código: 1110
===== Torno =====
Paleta Nº1
DATA: 2025-08-12   HORA: 17:11:22
Tempo de ciclo da Paleta: 5 min e 3 seg
Código: 1110
===== Fresadora =====
Paleta Nº3
DATA: 2025-08-12   HORA: 17:18:52
Tempo de ciclo da Paleta: 6 min e 17 seg
Código: 1111
===== Torno =====
Paleta Nº2
DATA: 2025-08-12   HORA: 17:18:52
Tempo de ciclo da Paleta: 6 min e 32 seg
Código: 1111

```

Figura 52 – Registo local da produção efetuado pelo robô.

4.3.4 Segurança da CFF

A segurança da CFF é assegurada por três sensores de barreira: dois no setor do armazém e um no setor de fabrico. Adicionalmente, a célula dispõe de duas botoneiras de emergência, uma em cada setor.

Para monitorizar continuamente estas entradas de segurança, foi utilizada a funcionalidade de "multitask" disponível no controlador do robô. O "multitask" consiste na execução paralela de dois programas distintos no mesmo controlador, permitindo que rotinas específicas sejam executadas em simultâneo com o programa principal. Embora esta funcionalidade possa ser

Trabalho desenvolvido

utilizada em diferentes contextos, é sobretudo aplicada em rotinas de segurança, uma vez que garante que os eventos críticos são processados de imediato, independentemente do ciclo produtivo em execução.

Neste projeto, foi implementada uma "multitask" dedicada em cada robô: "Multitask Arm" no setor do armazém e "Multitask Fab" no setor de fabrico. Estes programas têm como função imobilizar o robô sempre que ocorra uma condição de paragem, por exemplo, nos seguintes casos:

- Interrupção indevida de um sensor de barreira;
- Ativação da botoneira de emergência do setor;
- Ativação da paragem geral através da HMI ou da página web.

Quando uma destas condições é detetada, o robô é automaticamente parado através da função "StopMove", sendo simultaneamente acionados a luz vermelha e o sinal sonoro do respetivo setor. Para retomar a operação, o operador deve carregar no botão "Start", o que desencadeia a função "StartMove", acionando a luz verde e permitindo ao robô regressar à sua rotina normal.

Adicionalmente, cada evento de segurança é registado no computador local da CFF. O registo inclui:

- Número do alarme;
- Data e hora da ocorrência;
- Duração da paragem;
- Descrição da causa.

A Figura 53 apresenta um exemplo de ficheiro gerado com os registos dos alarmes e dos eventos de segurança.

```
=====
=====  ALARMES NO ROBOT IRB-140  =====
=====
Alarme Nº: 1
Data: 2025-08-19
Hora: 17:32:56
Tempo Parado: 2 min e 14 seg
Descrição: Ordem de Paragem do Armazém
Alarme Nº: 2
Data: 2025-08-19
Hora: 17:36:18
Tempo Parado: 1 min e 13 seg
Descrição: Sensores de Segurança Interrompidos
Alarme Nº: 3
Data: 2025-08-19
Hora: 17:39:53
Tempo Parado: 3 min e 17 seg
Descrição: Ordem de Paragem CFF
```

Figura 53 – Registo local de alarmes e eventos de segurança da CFF.

4.4 Sistema de visão

Como referido anteriormente, os dois robôs industriais ABB (IRB 140 e IRB 1400) estão equipados com sistemas de visão instalados nos respetivos *grippers*. Estes sistemas são compostos por câmaras OMRON FQ2-S45100N, que permitem identificar e posicionar as peças durante os processos de fabrico e armazenamento.

Para garantir a comunicação entre estas câmaras e o controlador Siemens S7-1200, foi realizada a respetiva integração no TIA Portal, começando pela importação do ficheiro GSDML [31] fornecido pela OMRON. Este ficheiro permite adicionar os dispositivos FQ2 como módulos de rede ao projeto.

Após a importação, foram adicionados dois módulos FQ2-XXX à rede Profinet, um para cada câmara instalada nos robôs. Uma vez que a comunicação através da Profinet exige um endereçamento IP consistente para evitar conflitos de rede, os endereços foram atribuídos manualmente:

- PLC S7 1200: Endereço 192.168.1.110
- Camara do setor do armazém (FQ21):192.168.1.201
- Camara do setor de fabrico (FQ22):192.168.1.176
- HMI KTP600 Basic: 192.168.1.111

Esta configuração assegura uma troca de dados robusta e fiável entre as câmaras de visão e o PLC, conforme exemplificado na Figura 54.

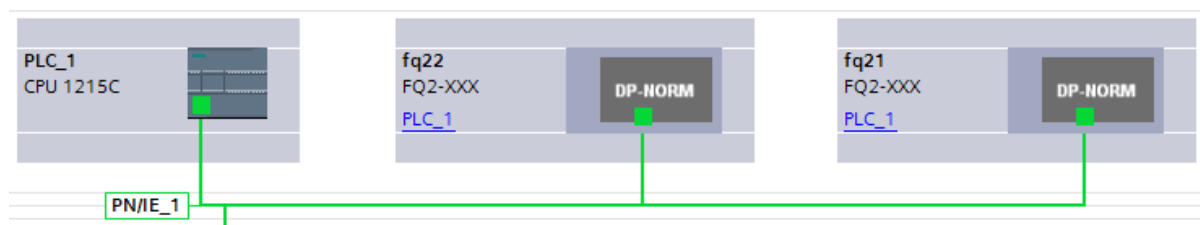


Figura 54 – Comunicação entre o PLC e as câmaras FQ2.

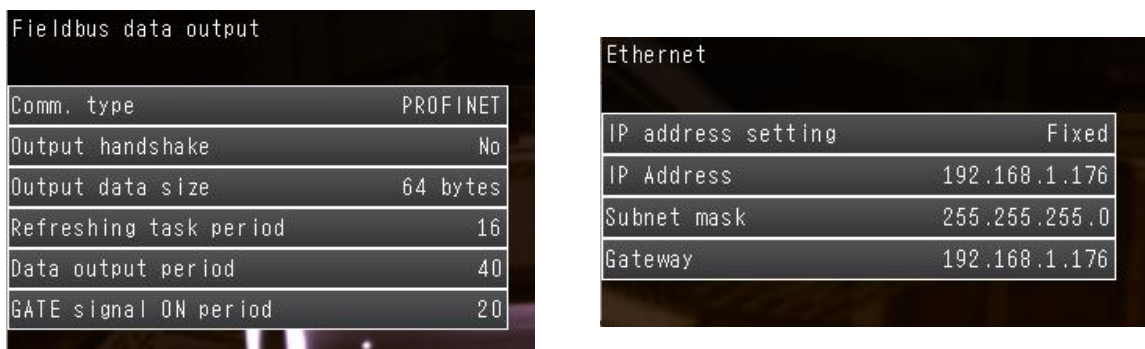
4.4.1 Parametrização do sistema de visão

Para que o sistema de visão consiga identificar corretamente o número e a posição das peças nas paletes, foi utilizada a aplicação *TouchFinder*, da OMRON. Este software permite configurar e ajustar os parâmetros da câmara.

Entre as principais funcionalidades disponíveis na parametrização, destacam-se as seguintes:

- Configuração da comunicação: definição do tipo de protocolo e atribuição do endereço IP da câmara;
- Ajustes de aquisição de imagem: controlo do tempo de exposição, intensidade da iluminação integrada, filtros de imagem, contraste e equilíbrio de cor;
- Monitorização em tempo real: a interface permite visualizar, em tempo real, a imagem captada pela câmara;
- Definição da área de inspeção: através de ferramentas como "Search", "Shape Search", "OCR", "Edge Width" e "Area", entre outras, é possível configurar zonas específicas da imagem onde a deteção será realizada. Estas ferramentas permitem também ajustar o formato geométrico esperado, o grau de correlação mínimo e os limiares de aceitação.

A Figura 55 apresenta o ecrã de configuração onde foram definidos o tipo de protocolo e o endereço IP da câmara do setor de fabrico.



a) Definição do tipo de protocolo.

b) Definição do endereço IP.

Figura 55 – Parametrização do protocolo e endereço IP da camara do setor de fabrico.

O tipo de inspeção utilizado neste projeto foi o modo “*Search*”. Na Figura 56 observa-se a definição de uma área de pesquisa (retângulo exterior) e o objeto de referência a ser identificado (retângulo interior). Na imagem à esquerda pode-se observar o resultado da inspeção, onde a correlação de 90,9% indica que o objeto detetado corresponde ao modelo ensinado, resultando num julgamento OK (válido).

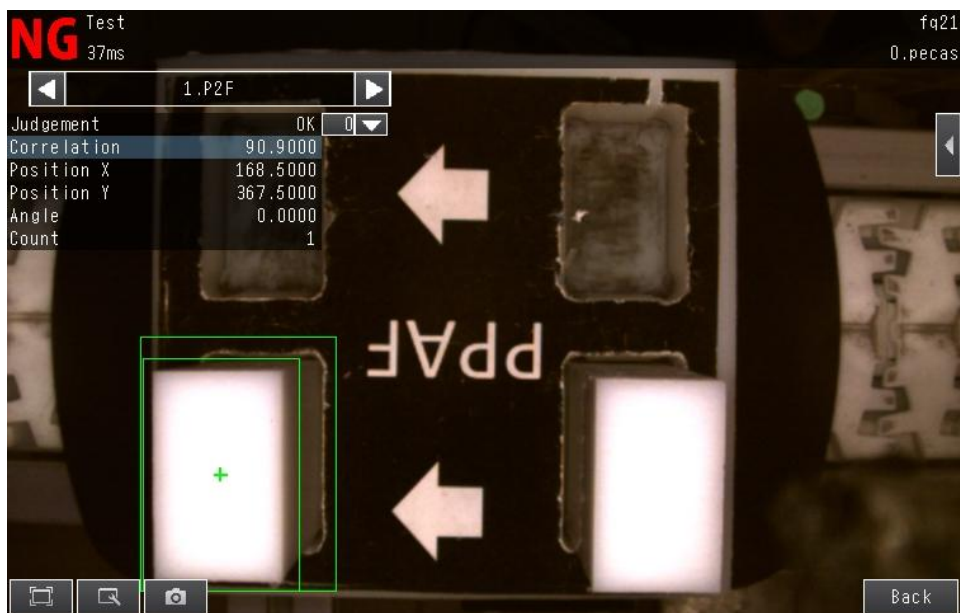


Figura 56 – Identificação de peças com o julgamento OK.

Na Figura 57 apresenta-se uma situação em que o objeto a identificar não está presente. Como consequência, a correlação obtida é de apenas 12,1%, o que leva a um julgamento NG (Not Good), indicando uma correspondência inválida.

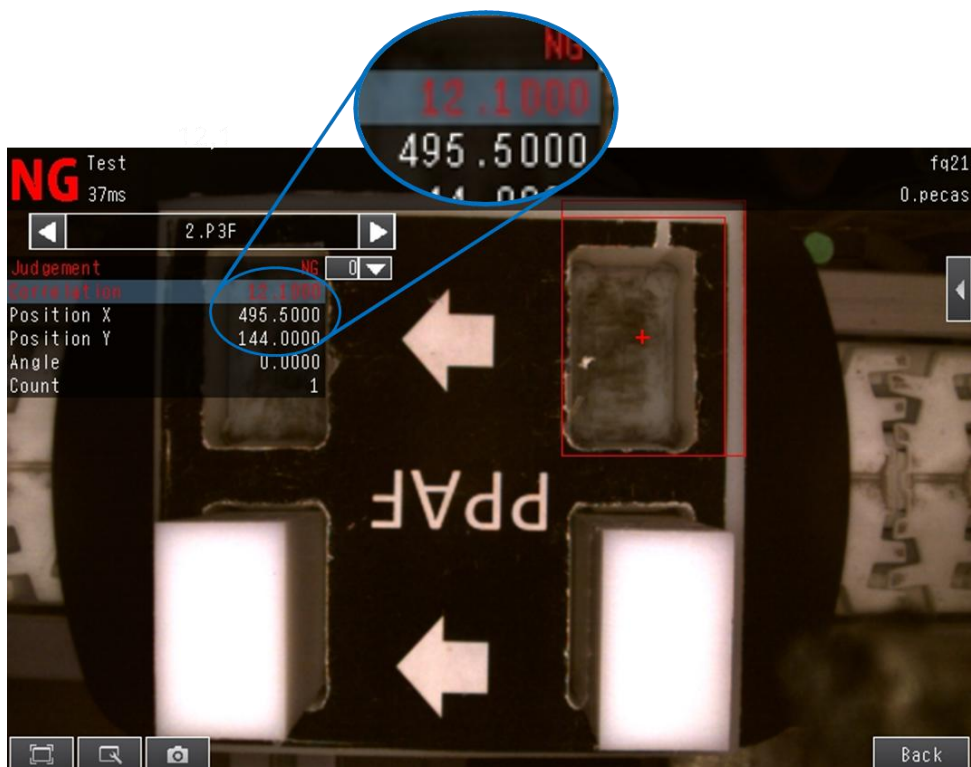
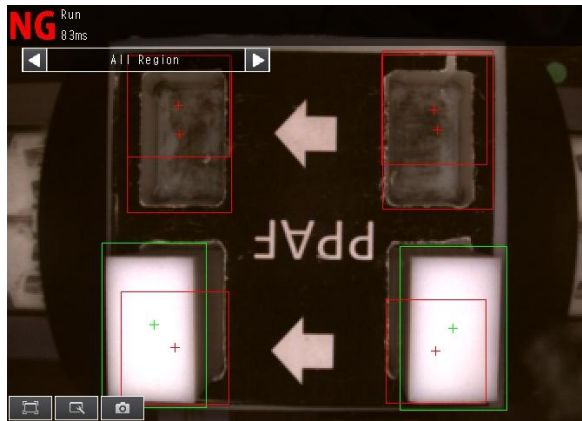
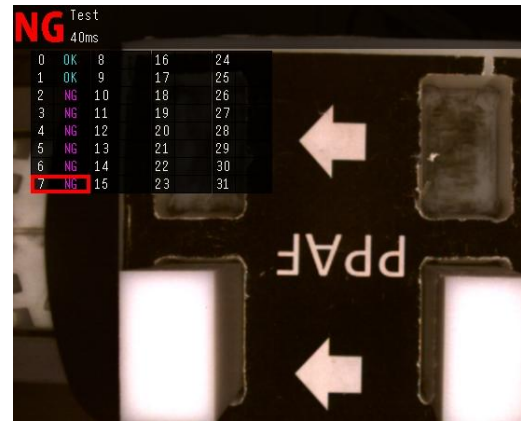


Figura 57 – Identificação de peças com o julgamento NG.

Por fim, a Figura 58 mostra a configuração detalhada da inspeção das paletes. Na Figura 58 a) são visíveis as zonas de inspeção, com retângulos definidos para detectar peças da fresadora e quadrados para as peças do torno. Já na Figura 58 b) é apresentado o julgamento de cada zona, onde as posições 0 a 3 correspondem às peças retangulares (fresadora) e as posições 4 a 7 às peças circulares (torno).



a) Zonas de inspeção da palete.



b) Julgamento da posição das peças.

Figura 58 – Zonas e avaliação da inspeção das peças na palete.

4.4.2 Envio de dados para o PLC

A transmissão de dados do sistema de visão FQ2 para o PLC depende do correto mapeamento dos endereços de memória, que se encontram descritos no Anexo D [35]. Através destes endereços, é possível enviar comandos para a câmara, como o *trigger* para iniciar a inspeção, bem como receber os resultados obtidos pela inspeção visual.

Os dados provenientes da câmara são tratados no PLC antes de serem utilizados em operações subsequentes. Este tratamento consiste em interpretar o resultado do julgamento (*judgement*) da inspeção para cada posição da peça, verificando se a detecção foi bem-sucedida ou não.

Como ilustrado na Figura 59, os valores recebidos da câmara estão no formato "float". O resultado da inspeção pode assumir os seguintes valores:

- 0.0: julgamento OK — a peça foi identificada com sucesso, com correlação superior ao limiar definido (80 %);
- -1.0: julgamento NG (*Not Good*) — a correlação obtida foi inferior ao valor mínimo exigido, pelo que se considera que não existe peça válida naquela posição.

Com base nesta análise, o PLC atua sobre variáveis booleanas correspondentes a cada posição da palete:

- Se o valor for 0,0, é efetuado um "set" na variável booleana, indicando que existe uma peça naquela posição;
- Se o valor for -1.0, é executado um "reset", registrando a ausência de uma peça válida.

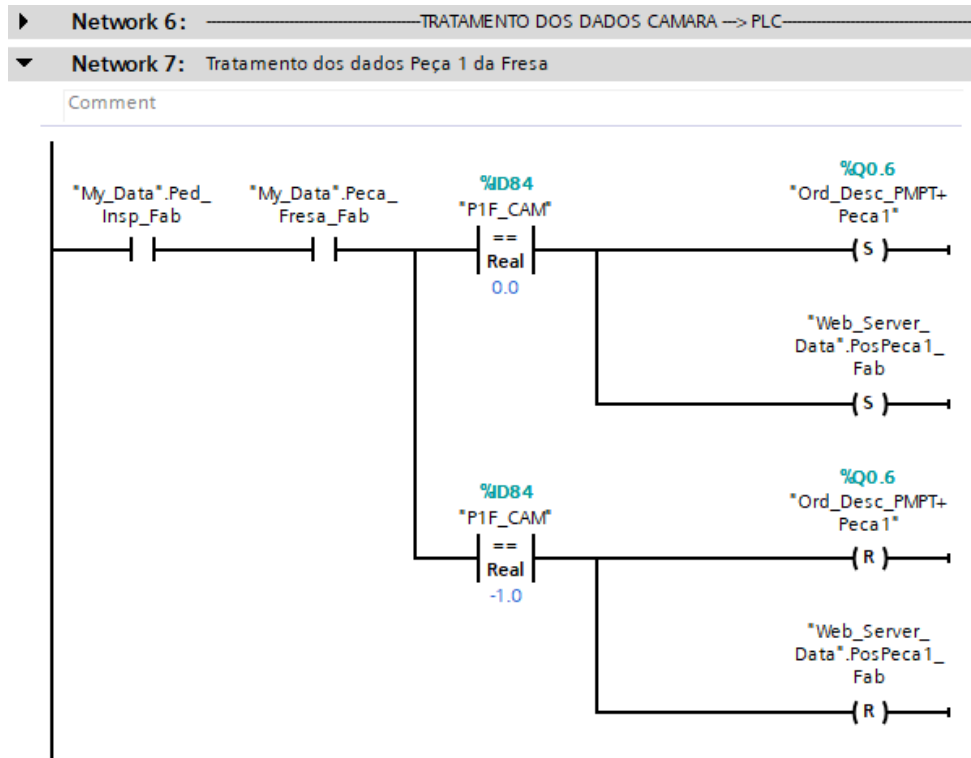


Figura 59 – Tratamento de dados e identificação da peça.

4.5 HMI – *Human-Machine Interface*

Para permitir o controlo local da Célula Flexível de Fabrico, foi utilizada uma interface HMI Siemens KTP600 Basic Color. Conforme referido na secção 4.1, foi necessário alterar a *layout* físico do gestor da CFF para integrar definitivamente esta HMI, garantindo a sua correta integração na estrutura da célula.

Após a instalação da HMI, foram desenvolvidos 16 ecrãs funcionais, organizados de modo a permitir a monitorização de dados, o acesso a alarmes e o envio de comandos, conforme ilustrado na Figura 60. Estes ecrãs estão organizados por setores e funcionalidades, tais como:

- Alarmes Geral, Armazém e Fabrico – Apresentam os alarmes ocorridos nos respetivos setores;
- Seleção de Alarmes – Permite ao utilizador escolher o setor cujos alarmes pretende visualizar;

Trabalho desenvolvido

- Armazém (PPAT, PPAF, PMPT, PMPF) – Mostram dados sobre o histórico e estado das paletes nos armazéns;
- Seleção de Armazém – Ecrã de navegação para os ecrãs individuais das paletes;
- Fabrico (Torno e Fresadora) – Apresentam informações sobre a produção de cada máquina CNC;
- Seleção de Fabrico – Permite escolher qual o ecrã de fabrico visualizar;
- Comandos – Ecrã destinado ao envio de comandos para a célula;
- Ecrã Inicial (CFF) – Página principal da HMI;
- Legenda – Página com a descrição das funções dos botões;
- Informação (Info) – Página destinada a apresentar brevemente o projeto e o respetivo autor e orientadores.

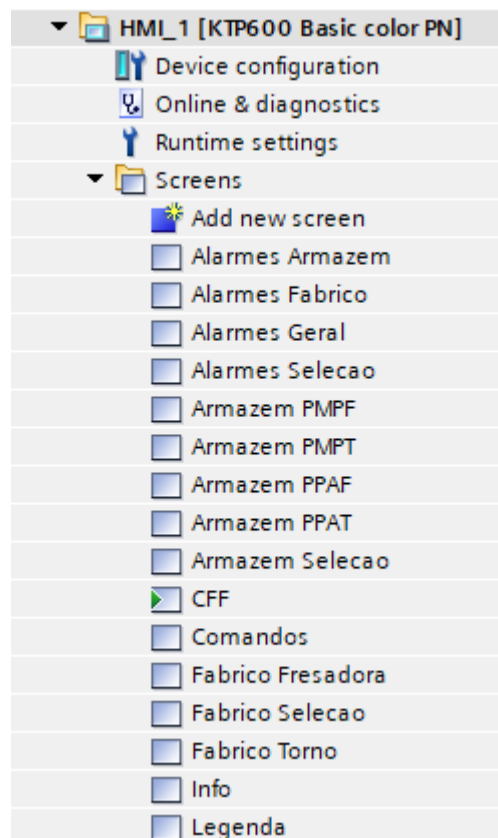


Figura 60 – Organização dos ecrãs na HMI.

A Figura 61 mostra o ecrã principal (CFF), que funciona como página de introdução. Esta inclui uma imagem ilustrativa da célula, bem como sete botões táteis: um botão para desligar a HMI, no canto superior esquerdo, e seis botões de navegação para aceder às principais secções (Armazém, Fabrico, Alarmes, Comandos, Legendas e Informação). A HMI dispõe também de seis botões físicos (F1 a F6), que replicam a função dos botões táteis correspondentes.



Figura 61 – Ecrã de inicialização (CFF).

Para facilitar a utilização da interface, foi desenvolvido um ecrã de legendas, apresentado na Figura 62, que descreve graficamente as funções de cada botão disponível na HMI. O ecrã de legendas tem como objetivo apoiar os utilizadores menos familiarizados, garantindo uma navegação intuitiva e rápida entre os diferentes menus.

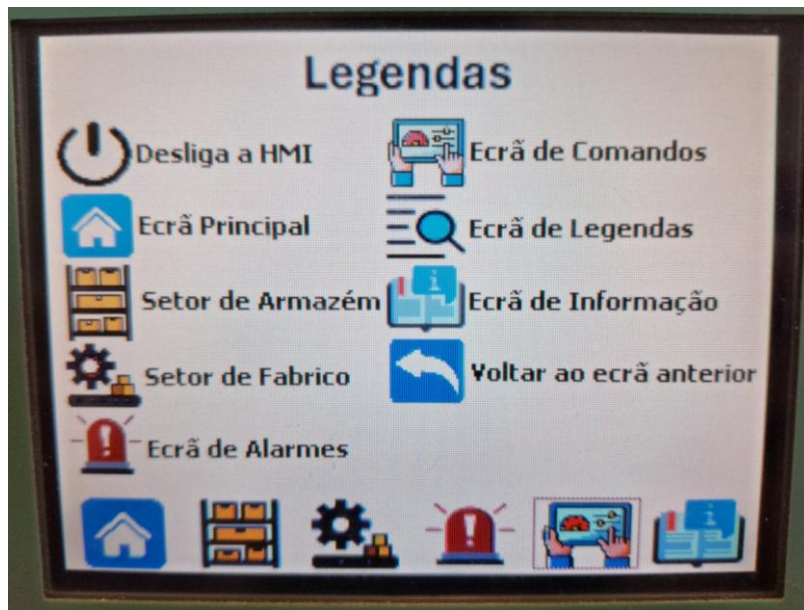


Figura 62 – Ecrã de legendas.

A Figura 63 apresenta o ecrã de informações, onde é disponibiliza uma breve descrição do projeto, bem como a identificação do autor e dos respetivos orientadores.

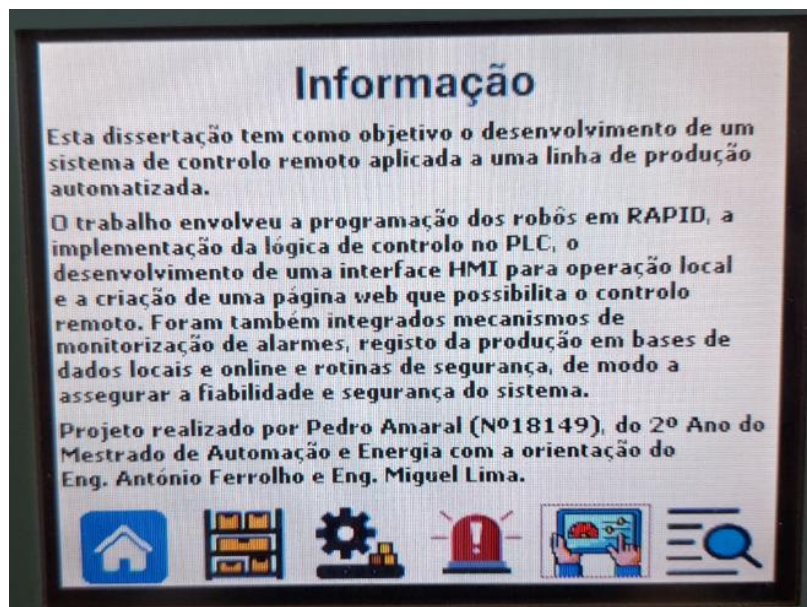


Figura 63 – Ecrã de informações do projeto.

A Figura 64 ilustra o ecrã de seleção do armazém, onde o operador pode escolher a palete que pretende consultar. Todos os ecrãs de seleção seguem este tipo de estrutura.

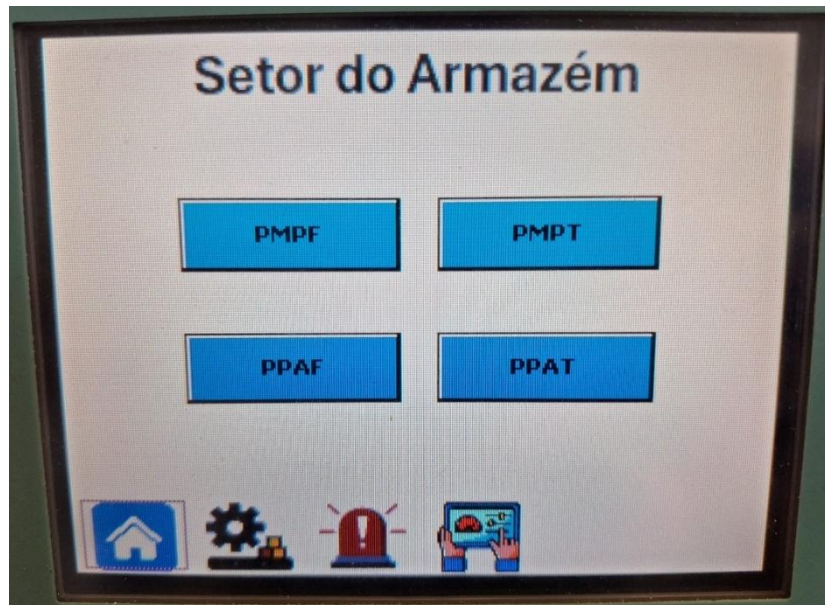


Figura 64 – Ecrã de seleção do armazém.

Ao selecionar a palete PPAF, por exemplo, o sistema encaminha o utilizador para um ecrã dedicado, conforme ilustrado na Figura 65. Neste ecrã, são apresentadas as informações relevantes sobre a palete em questão: a hora e a data do carregamento, bem como o número de peças. Inicialmente, pretendia-se incluir também a posição de cada peça, tal como disponibilizado na página web. No entanto, a limitação técnica da HMI, que apenas permite a exibição de mensagens pré-definidas mediante a ativação de bits, inviabilizou esta funcionalidade.

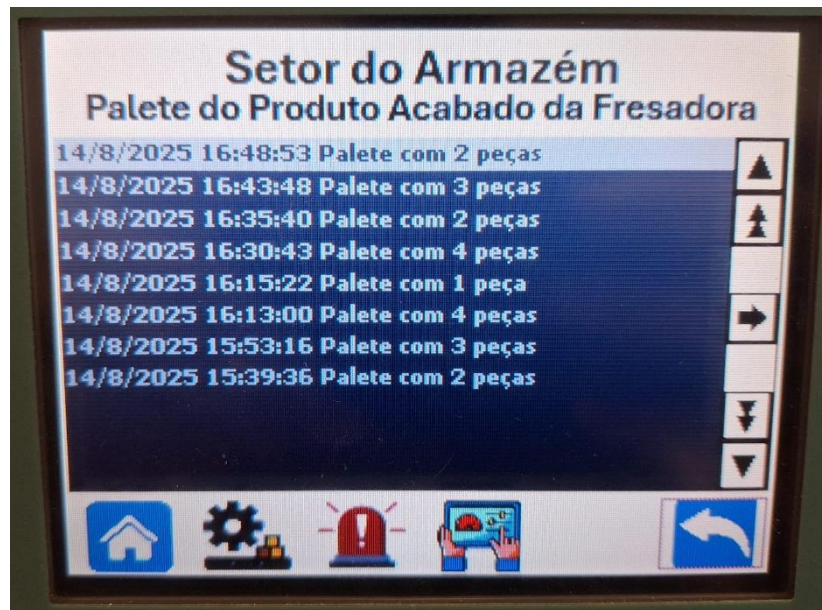


Figura 65 – Ecrã da paleta PMPF do setor de armazém.

A Figura 66 apresenta o ecrã de produção do setor de fabrico relativamente ao torno. Tal como nos ecrãs das paletes no setor de armazém, este painel exibe informações detalhadas sobre a produção. É possível visualizar a data e a hora de finalização da paleta de produto acabado, o número de peças produzidas nessa paleta e o total acumulado de peças fabricadas até ao momento. Esta informação permite ao operador acompanhar a produtividade do torno em tempo real.



Figura 66 – Ecrã de produção do torno.

A Figura 67 representa o ecrã de alarmes do setor do armazém, onde são registadas situações de erro que exigem a atenção do operador. Neste ecrã, podem surgir dois tipos principais de alarmes:

- Alarmes por interrupção indevida dos sensores de barreira instalados no setor;
- Alarmes por paragem manual do setor.

Cada alarme é registado com a respetiva data e hora de ocorrência, permitindo um histórico preciso dos eventos. Sempre que ocorre um alarme, o robô do setor correspondente é automaticamente parado. Para retomar o funcionamento, o operador deverá carregar no botão de *Start* físico.

Como se pode observar na Figura 67, cada evento de alarme é representado por duas entradas de mensagens. Esta duplicação deve-se ao facto de a primeira mensagem assinalar o início do alarme e a segunda o momento da sua finalização, no qual o robô retoma automaticamente a sua rotina. Deste modo, é possível ter uma perceção aproximada da duração do alarme, visto a HMI não permitir a exibição direta de variáveis, mas apenas de mensagens pré-definidas.

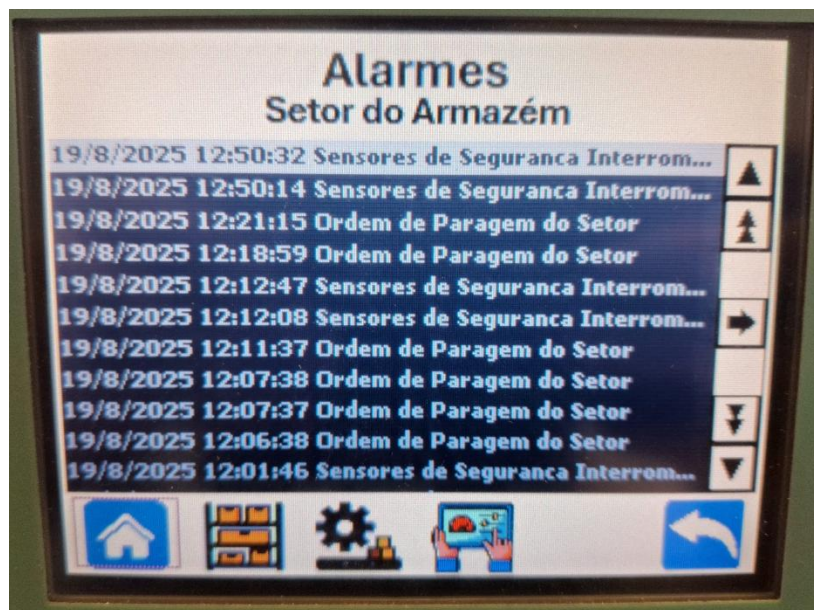


Figura 67 – Ecrã dos alarmes do setor do armazém.

Para além dos alarmes específicos de cada setor, a HMI dispõe também de um alarme geral que regista exclusivamente a paragem total da CFF. Esta paragem pode ser efetuada tanto a partir do ecrã de comandos da HMI como da página de comandos do *Web Server*. O alarme geral é ativado sempre que o operador optar por interromper completamente o funcionamento da célula, ficando registada a data, a hora e a duração da paragem.

Trabalho desenvolvido

Por fim, a Figura 68 representa o ecrã de comandos, através do qual o operador pode interagir diretamente com a CFF. Neste ecrã, é possível:

- Introduzir o número de peças a fabricar para a fresadora e para o torno;
- Consultar a quantidade de peças já solicitadas;
- Iniciar ou parar o funcionamento da célula através de botões táteis.

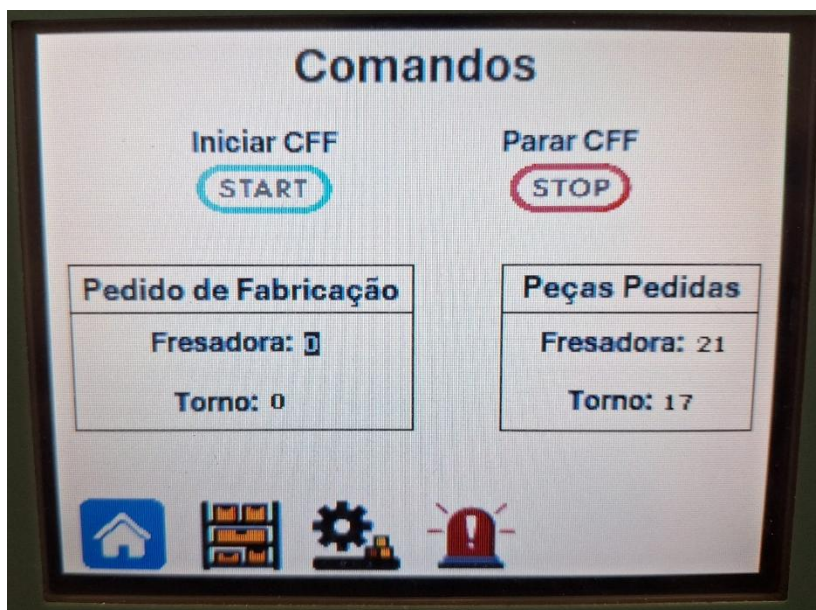


Figura 68 – Ecrã dos comandos.

4.6 Página web

Para permitir o controlo e a monitorização remotos da CFF, foi desenvolvida uma interface web acessível através do servidor web do próprio PLC Siemens S7-1200. Esta solução permite acompanhar o estado da célula em tempo real e executar comandos essenciais a partir de qualquer dispositivo com ligação à rede interna da instalação.

A página web foi criada no TIA Portal, recorrendo às propriedades do PLC "Web Server / User-defined pages". Através desta opção, os ficheiros HTML, CSS e JavaScript que compõem a aplicação são convertidos e armazenados em blocos de dados (DB) no PLC. Estes blocos são gerados de forma sequencial, iniciando por defeito no DB 333.

Para que o sistema operativo do PLC reconheça os DB referentes às páginas web, é utilizado o bloco de função WWW, ao qual é atribuído o parâmetro "CTRL_DB" igual a "333", conforme ilustrado na Figura 69. Este bloco estabelece a ligação entre o servidor web e os ficheiros armazenados, permitindo o carregamento e o funcionamento corretos da aplicação web diretamente a partir do PLC.

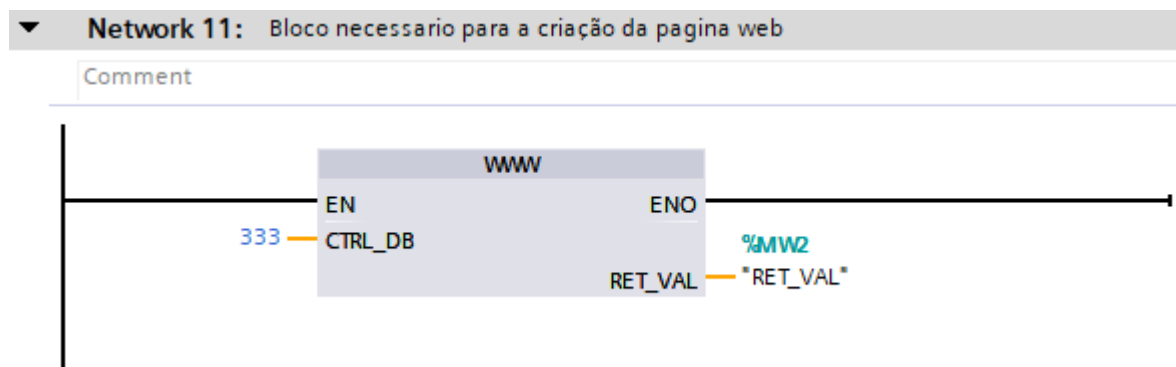


Figura 69 – Bloco responsável por criar a página web.

Para permitir o acesso remoto com permissões de leitura e escrita, foi necessário configurar um novo utilizador com privilégios administrativos no servidor web do PLC. Como se pode observar na Figura 70, foi criado o utilizador "Admin", com a palavra-passe "Eletro123" e um nível de acesso definido como "Administrative", o que permite ler e forçar variáveis diretamente através da interface web.

Name	Access level	Password
Everybody	Restricted	
Admin	Administrative	*****

<Add new user>

Figura 70 – Definição do nível de acesso dos utilizadores.

Tal como a estrutura implementada na HMI física (descrita na secção 4.5), a página web também foi organizada em várias secções, com o objetivo de replicar e expandir as funcionalidades locais da HMI. No entanto, devido à maior flexibilidade oferecida pelo desenvolvimento web, foi possível incluir recursos adicionais, como a visualização da posição individual das peças nas paletes, o que não foi possível implementar na HMI devido às suas limitações técnicas.

A Figura 71 apresenta os ficheiros do servidor web, onde se destacam as seguintes páginas principais:

- Alarmes: alarmes_geral.html, alarmes_armazem.html, alarmes_fabrico.html;
- Monitorização das paletes do armazém: Arm_pal_mp_fresa.html, Arm_pal_mp_torno.html, Arm_pal_pa_fresa.html, Arm_pal_pa_torno.html;
- Monitorização da produção no fabrico: Fab_pal_pa_fresa.html, Fab_pal_pa_torno.html;
- Comandos remotos: comandos.html;
- Página geral e navegação: geral.html;
- Scripts de suporte: Login.js, PLCRead.js, PLCWrite.js, scripts.js e styles.css.

















 alarmes_armazem.html	5/24/2025 5:01 PM	Microsoft Edge H...	12 KB
 alarmes_fabrico.html	5/24/2025 5:00 PM	Microsoft Edge H...	12 KB
 alarmes_geral.html	5/24/2025 5:00 PM	Microsoft Edge H...	12 KB
 Arm_pal_mp_fresa.html	5/24/2025 5:01 PM	Microsoft Edge H...	13 KB
 Arm_pal_mp_torno.html	5/24/2025 5:01 PM	Microsoft Edge H...	13 KB
 Arm_pal_pa_fresa.html	5/24/2025 5:02 PM	Microsoft Edge H...	13 KB
 Arm_pal_pa_torno.html	5/24/2025 5:01 PM	Microsoft Edge H...	13 KB
 comandos.html	5/24/2025 4:57 PM	Microsoft Edge H...	13 KB
 Fab_pal_pa_fresa.html	5/24/2025 5:51 PM	Microsoft Edge H...	13 KB
 Fab_pal_pa_torno.html	5/24/2025 5:55 PM	Microsoft Edge H...	13 KB
 geral.html	4/7/2025 3:55 PM	Microsoft Edge H...	12 KB
 Login.js	5/24/2025 5:41 PM	JSFile	6 KB
 PLCRead.js	5/24/2025 5:53 PM	JSFile	7 KB
 PLCWrite.js	4/3/2025 4:31 PM	JSFile	4 KB
 scripts.js	3/25/2025 5:42 PM	JSFile	2 KB
 styles.css	5/24/2025 5:52 PM	File Association fo...	8 KB

Figura 71 – Ficheiros do webservice.

O acesso à página Web da CFF pode ser feito de duas formas: diretamente através do endereço IP do PLC (192.168.1.110) ou por meio do domínio dinâmico “controlocff.ddns.net”. Ao aceder ao *WebServer*, é apresentada a página inicial do servidor integrado do PLC, conforme ilustrado na Figura 72. Nesta, ao navegar até à secção “User-defined pages” e clicar na opção destacada “Homepage of the application Controlo CFF” o utilizador é encaminhado para a aplicação web desenvolvida para a célula.

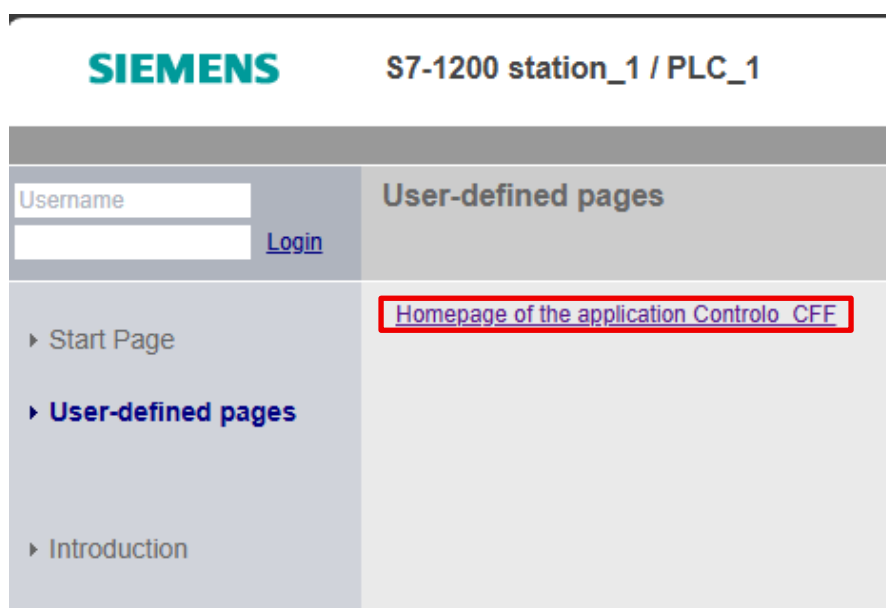


Figura 72 – Ecrã de entrada do webservice.

Trabalho desenvolvido

Na página principal da aplicação, como se pode ver na Figura 73, é apresentada uma transmissão em direto da célula (via câmara instalada no laboratório), que permite o acompanhamento visual em tempo real da operação da CFF. À esquerda, encontra-se o menu de navegação, que permite o acesso a todas as secções do sistema, e à direita, o painel de login do utilizador, presente em todas as páginas da aplicação.

Adicionalmente, foi integrado um ícone de informação no canto inferior direito. Ao clicar neste, abre-se uma pequena caixa de texto que apresenta uma breve descrição do projeto, bem como a identificação do autor e dos orientadores, tal como é apresentado no ecrã de informação implementado na HMI.



Figura 73 – Página inicial do webservice.

Após introduzir as credenciais no campo de login como é mostrado na Figura 74 a), o sistema atribui automaticamente um *token* de autenticação o qual é visível na Figura 74 b). Este *token* é guardado localmente no navegador do utilizador e é essencial para validar o acesso e permite que o utilizador interaja com o PLC através de comandos API, possibilitando a leitura de variáveis em tempo real e o envio de comandos.



a) Formulário de autenticação.

b) *Token* atribuído ao utilizador autenticado.Figura 74 – Processo de *login* e geração de *token*.

Após o login, o utilizador pode receber novos dados detalhados do sistema e ter novas funcionalidades como a exportação e limpeza de registos da tabela. A Figura 75 ilustra a página de monitorização da paleta PPAF do setor de armazém, onde são exibidos dados como:

- O número da paleta;
- A data e hora do carregamento;
- O tempo de ciclo do processo;
- O código binário de ocupação das quatro posições da paleta (por exemplo, 1010), em que cada dígito representa a presença (1) ou a ausência (0) de uma peça.

Todos os dados são automaticamente armazenados em tempo real numa base de dados Firebase da Google, permitindo o acesso e a consulta do histórico de produção em qualquer dispositivo com ligação à internet.

Setor do Armazém
Paleta do Produto Acabado da Fresadora

Paleta N°	Data	Hora	Tempo de Ciclo	Código
1	12/09/2025	18:15:59	0:10	1000
2	12/09/2025	18:20:32	0:16	1100
3	12/09/2025	18:23:51	0:09	1000
4	12/09/2025	18:29:01	0:22	1110
5	12/09/2025	18:32:59	0:10	1000
6	12/09/2025	18:36:29	0:16	1100
7	18/09/2025	15:16:56	0:16	1100
8	18/09/2025	15:29:23	0:16	1100
9	18/09/2025	15:48:12	1:20	1100

Bem-vindo, Admin!
Sair

Limpar Tabela Download Tabela

Figura 75 – Página web da paleta PPAF do setor do armazém.

Trabalho desenvolvido

Cada página inclui a opção "Download Tabela" que permite exportar os dados visíveis para um ficheiro Excel (.xlsx). Como mostrado na Figura 76, ao premir este botão é gerado automaticamente o ficheiro e guardado na pasta "Downloads" do dispositivo utilizado.

The screenshot shows a web browser window with the URL `dns.net/awp/Controlo_CFF/Arm_pa_pa_fresa.html`. The page title is "Setor do Armazém" and the subtitle is "Paleta do Produto Acabado da Fresadora". Below the title is a table with the following data:

Paleta N°	Data	Hora	Tempo de Ciclo	Código
1	12/09/2025	18:15:59	0:10	1000
2	12/09/2025	18:20:32	0:16	1100
3	12/09/2025	18:23:51	0:09	1000
4	12/09/2025	18:29:01	0:22	1110
5	12/09/2025	18:32:59	0:10	1000
6	12/09/2025	18:36:29	0:16	1100
7	18/09/2025	15:16:56	0:16	1100
8	18/09/2025	15:29:23	0:16	1100
9	18/09/2025	15:48:12	1:20	1100

Below the table are two buttons: "Limpar Tabela" and "Download Tabela". The "Download Tabela" button is highlighted with a red box. A download notification window is visible in the top right corner, showing the file "Arm_pa_pa_fresa.xlsx" and a "Sair" button.

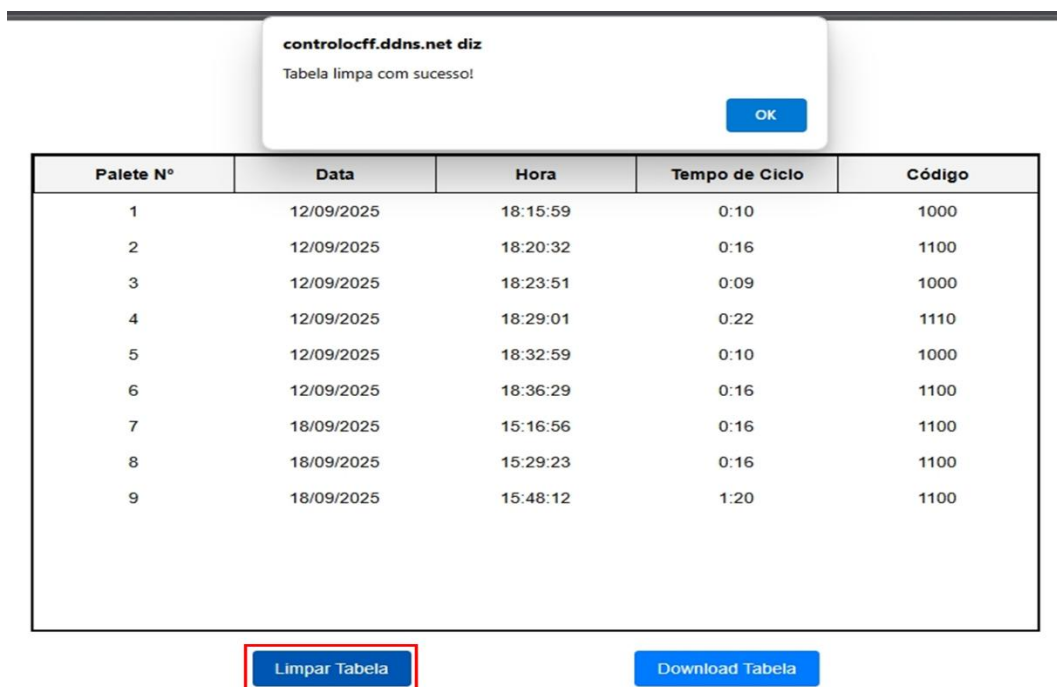
Figura 76 – Geração e download da tabela em ficheiro excel.

A Figura 77 apresenta o ficheiro Excel gerado. Esta funcionalidade permite ao utilizador realizar análises complementares, como o cálculo de tempos médios de carregamento/produção, a análise da eficiência por tipo de paleta, entre outros.

	A	B	C	D	E
1	PaletaNum	Data	Hora	TempCiclo	Codigo
2	1	12/09/2025	18:15:59	0:10	1000
3	2	12/09/2025	18:20:32	0:16	1100
4	3	12/09/2025	18:23:51	0:09	1000
5	4	12/09/2025	18:29:01	0:22	1110
6	5	12/09/2025	18:32:59	0:10	1000
7	6	12/09/2025	18:36:29	0:16	1100
8	7	18/09/2025	15:16:56	0:16	1100
9	8	18/09/2025	15:29:23	0:16	1100
10	9	18/09/2025	15:48:12	1:20	1100

Figura 77 – Ficheiro excel gerado pela página web.

Além da exportação, é também possível limpar os dados da tabela atual através do botão "Limpar Tabela", conforme apresentado na Figura 78. Este comando executa a limpeza da base de dados apenas na secção ativa, permitindo ao operador iniciar um novo ciclo de registos sempre que necessário.



The screenshot displays a web interface with a success message box at the top and a data table below. The message box, titled "controlocff.ddns.net diz", contains the text "Tabela limpa com sucesso!" and an "OK" button. The table has five columns: "Paleta N°", "Data", "Hora", "Tempo de Ciclo", and "Código". It contains nine rows of data. Below the table, there are two buttons: "Limpar Tabela" (highlighted with a red box) and "Download Tabela".

Paleta N°	Data	Hora	Tempo de Ciclo	Código
1	12/09/2025	18:15:59	0:10	1000
2	12/09/2025	18:20:32	0:16	1100
3	12/09/2025	18:23:51	0:09	1000
4	12/09/2025	18:29:01	0:22	1110
5	12/09/2025	18:32:59	0:10	1000
6	12/09/2025	18:36:29	0:16	1100
7	18/09/2025	15:16:56	0:16	1100
8	18/09/2025	15:29:23	0:16	1100
9	18/09/2025	15:48:12	1:20	1100

Figura 78 – Limpeza dos dados da tabela.

Na secção "Setor de Fabrico", é possível aceder às páginas da fresadora e do torno como ilustrado na Figura 79, que apresentam os mesmos parâmetros das paletes do armazém, com o acréscimo da quantidade total de peças fabricadas desde o início da produção.

Trabalho desenvolvido



Figura 79 – Página web da produção do torno do setor de fabrico.

A página dos alarmes apresentada na Figura 80 permite acompanhar à distância todos os eventos críticos registados na célula, tal como na HMI. São apresentados o tipo de alarme, a respetiva data e hora de ocorrência, bem como a duração.

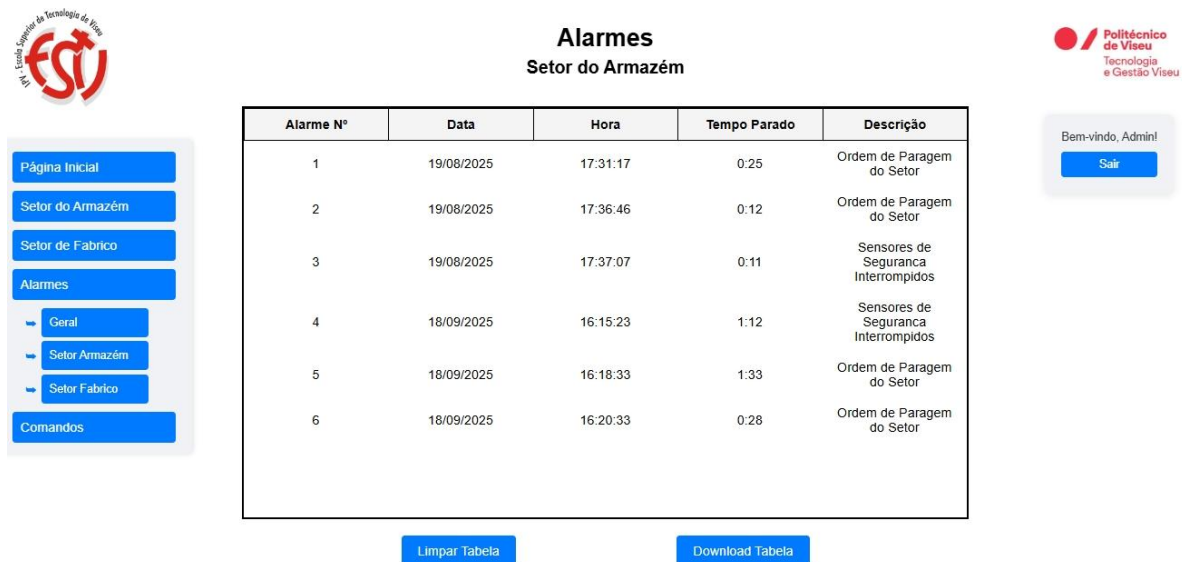


Figura 80 – Página web alarmes do setor de armazém.

Por fim, encontra-se disponível a página de comandos, ilustrada na Figura 81. Esta página foi concebida para permitir ao utilizador executar ações diretas sobre a célula, mantendo

simultaneamente uma supervisão visual em tempo real. Tal como na página inicial, é apresentada uma transmissão em direto da CFF, que permite ao operador acompanhar de imediato a resposta do sistema após a emissão de um comando.

Do lado direito do ecrã, encontra-se o painel de pedidos de fabrico, onde é possível definir o número de peças a fabricar, tanto para o torno como para a fresadora. Abaixo deste painel, é exibida a quantidade de peças já solicitadas. Por fim, sob a transmissão de vídeo, encontram-se os botões para iniciar ou parar a célula remotamente, assegurando um controlo completo à distância.

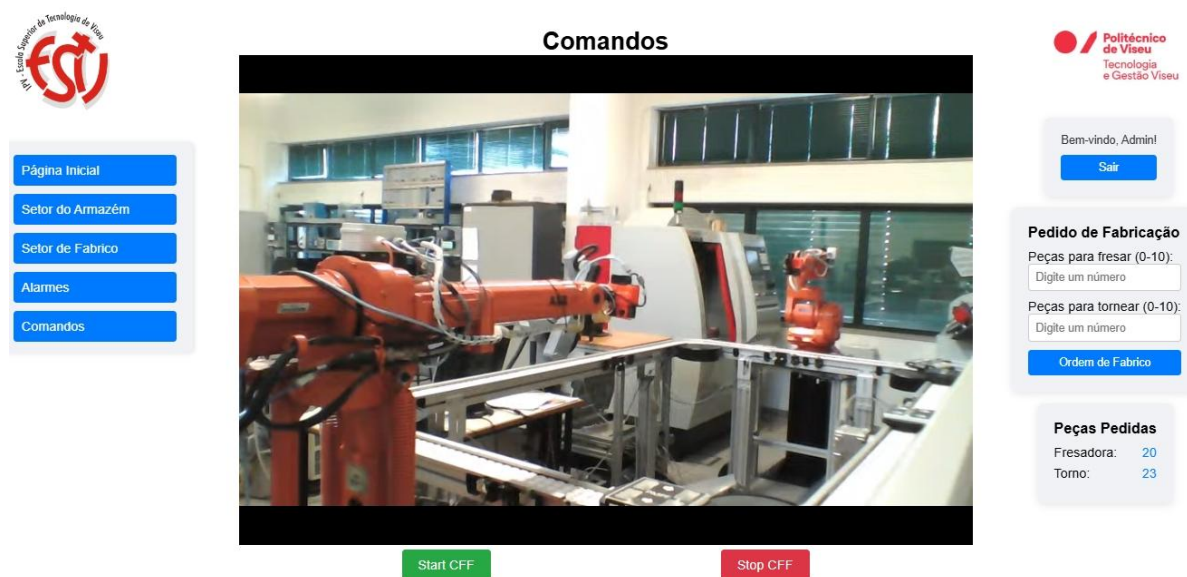


Figura 81 – Página web de comandos da CFF.

4.6.1 Acesso remoto

Inicialmente, pretendia-se disponibilizar o acesso remoto à página web da CFF através da configuração de um *router*, abrindo uma porta que encaminhasse diretamente para o endereço IP do PLC e, conseqüentemente, para o servidor *web*. No entanto, devido às restrições de segurança impostas pela *firewall* da ESTGV, esta solução não pôde ser concretizada. Apesar disso, o procedimento previsto será apresentado a seguir, uma vez que ilustra como poderia ser feita a configuração da rede para este efeito.

Como alternativa, foi utilizada uma abordagem diferente: a definição de um computador físico com acesso direto à CFF, que funciona como servidor intermediário. Este equipamento, ligado à rede interna, disponibiliza a página web do PLC e pode ser acedido à distância através do software de acesso remoto, como o *AnyDesk* [36]. Desta forma, é possível aceder indiretamente à página web da célula.

4.6.1.1 Configuração do router para o acesso remoto

Embora não tenha sido implementada na prática, foi elaborado um exemplo funcional de como o acesso remoto poderia ser configurado através do router.

O procedimento inclui a atribuição de um endereço IP público estático, a definição de regras de encaminhamento de portas e a utilização de um serviço DDNS (*Dynamic Domain Name System*), de modo a simplificar o acesso ao servidor web do PLC.

A configuração detalhada, com todas as etapas e respetivas representações gráficas, encontra-se documentada no Anexo F.

4.6.1.2 Solução implementada

Dada a impossibilidade de contornar as restrições impostas pela *firewall* da ESTGV, a solução adotada passou pela utilização de um computador físico com acesso direto ao PLC, localizado junto à CFF. Este computador funciona como intermediário, sendo o acesso remoto realizado através do programa informático AnyDesk. Desta forma, os utilizadores externos podem controlar o computador local e aceder à página web da célula.

A Figura 82 ilustra o funcionamento desta solução, na qual é possível observar o acesso remoto à página de comandos da CFF através do AnyDesk. Embora esta abordagem seja menos direta do que a configuração de redireccionamento no router, mostrou-se eficaz, garantindo um acesso remoto seguro e mantendo todas as funcionalidades de monitorização e controlo integral da célula a partir de qualquer local com ligação à internet.

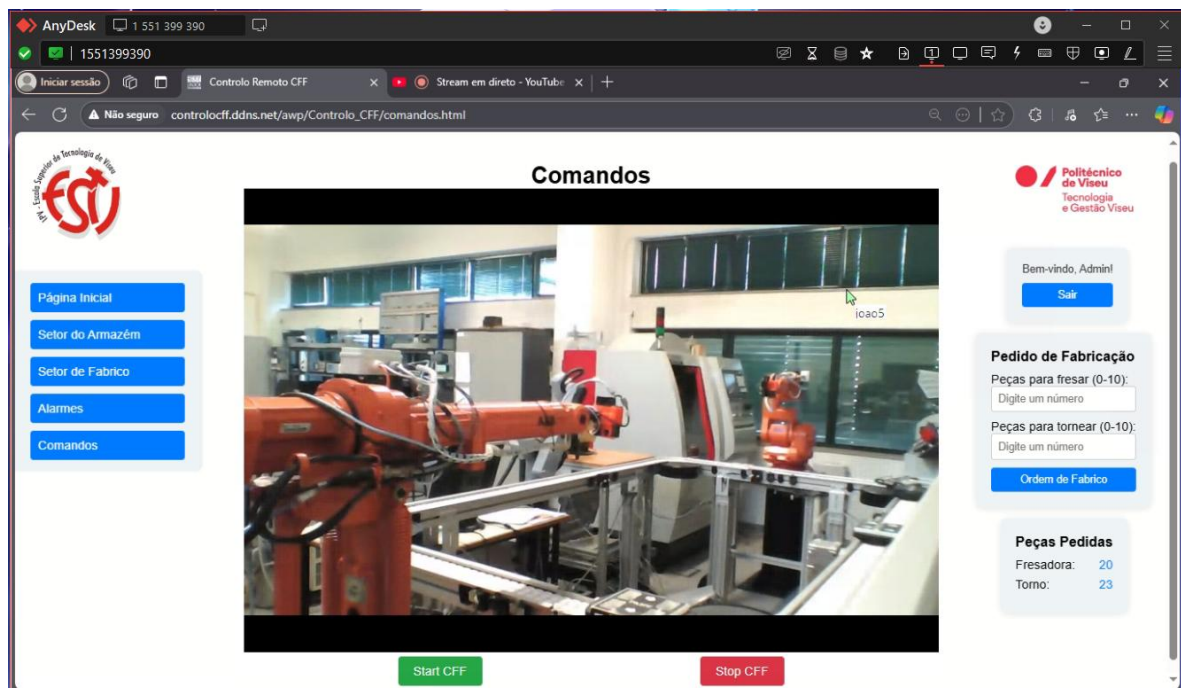


Figura 82 – Acesso remoto à CFF através do software AnyDesk.

5 Conclusões e propostas para trabalhos futuros

De acordo com o trabalho desenvolvido ao longo da dissertação, apresentam-se a seguir algumas considerações sobre o trabalho desenvolvido.

5.1 Conclusões

O presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema de controlo remoto para uma Célula Flexível de Fabrico (CFF), que integra robôs industriais ABB, máquinas CNC, um sistema de transporte, um armazém automatizado e um autómato programável Siemens S7-1200, sendo este responsável pela coordenação e supervisão globais da célula. Este projeto enquadra-se no paradigma da Indústria 4.0, explorando a digitalização, a interligação e a automação avançada como ferramentas para aumentar a eficiência, a flexibilidade e a monitorização dos processos produtivos.

Todos os objetivos inicialmente propostos foram plenamente alcançados. A programação dos robôs ABB em RAPID garantiu a execução fiável e sincronizada das tarefas de manipulação. O controlo central no PLC Siemens incluiu a gestão de sensores, atuadores e fluxos de produção. Foi criada uma interface HMI intuitiva para controlo local e desenvolvida uma página web interativa para monitorização e controlo remoto da célula, acessível a partir de qualquer dispositivo com ligação à internet.

Além destes objetivos, o trabalho incorporou um conjunto de funcionalidades adicionais que reforçaram as capacidades do sistema. Entre estas, destaca-se a simulação integral da célula no *RobotStudio*, que permitiu validar antecipadamente o *layout* e os ciclos de trabalho dos robôs, reduzindo os riscos e o tempo de implementação. Foi também implementada a utilização de câmaras para detetar as peças nas paletes, eliminando a dependência de sensores instalados no *gripper* e aumentando a flexibilidade e a fiabilidade da operação.

No que se refere ao controlo remoto, a página web foi significativamente alargada, ultrapassando as funcionalidades inicialmente previstas. Foram integrados novos módulos, nomeadamente o histórico de produção e alarmes, a exportação para ficheiros Excel e a respetiva limpeza. Estas melhorias conferiram à solução um nível acrescido de rastreabilidade, tornando a análise da produção e a gestão de eventos mais acessíveis.

Em suma, o presente trabalho não só cumpriu os objetivos inicialmente estabelecidos como os superou, ao introduzir novas funcionalidades que aumentaram a robustez, a flexibilidade e a monitorização do sistema. A solução final mostrou ser prática, escalável e em conformidade com os requisitos da Indústria 4.0, representando um contributo significativo para o

desenvolvimento de sistemas de automação industrial mais inteligentes e adaptáveis às necessidades atuais e futuras do setor.

5.2 Propostas para trabalhos futuros

O projeto desenvolvido no âmbito desta dissertação apresenta um conjunto de possibilidades de evolução e aperfeiçoamento, com vista a aumentar a robustez, a eficiência e a escalabilidade do sistema implementado.

Uma das melhorias pertinentes consiste no isolamento físico da célula ou na implementação de um controlo mais rigoroso das condições de iluminação. Esta medida visa manter um nível de luminosidade constante ao longo do dia, evitando variações que possam afetar a fiabilidade do sistema de visão. Outra possibilidade é a instalação de projetores de iluminação artificial controlada, que reduziria significativamente a probabilidade de erros de leitura e asseguraria uma maior consistência na inspeção visual.

Outra melhoria proposta é a integração de novos métodos de comunicação entre o PLC e os controladores dos robôs. Atualmente, a comunicação é realizada através de entradas e saídas físicas, o que limita a escalabilidade do sistema, dado o número restrito de pontos disponíveis. Uma solução mais eficiente seria utilizar interfaces de comunicação serial, como a porta RS232, ou protocolos industriais normalizados e suportados pelo sistema.

Referências

- [1] P. M. N. Coelho, «Rumo à indústria 4.0», masterThesis, 2016. Acedido: 23 de janeiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>
- [2] R. Lemos, «A QUARTA ONDA». Acedido: 26 de janeiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/quarta-onda-ricardo-lemos>
- [3] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, e T. Watson, «The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework», *Computers in Industry*, vol. 101, pp. 1–12, out. 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
- [4] M. Alabadi, A. Habbal, e X. Wei, «Industrial Internet of Things: Requirements, Architecture, Challenges, and Future Research Directions», *IEEE Access*, vol. 10, pp. 66374–66400, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3185049.
- [5] Z. Engineer, «Industrial Automation Explained:Key Concepts And Benefits - Mech Forged». Acedido: 30 de janeiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://mechforged.com/industrial-automation-explained/>
- [6] M. P. Groover, *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing*, Fifth edition. New York: Pearson, 2018.
- [7] N. Maximiliano, «Conheça os principais tipos de automação», Blog da Engenharia. Acedido: 30 de janeiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://blogdaengenharia.com/secoes/colunistas-blog-da-engenharia/principais-tipos-de-automacao/>
- [8] «ISO 8373:2021(en), Robotics — Vocabulary». Acedido: 2 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en>
- [9] «Karel Čapek», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 10 de fevereiro de 2024. Acedido: 2 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Karel_%C4%8Capek&oldid=67459884
- [10] I. Asimov, *I, robot*, This paperback edition published by HarperVoyager 2013. London: HarperVoyager, 2013.
- [11] Automate, «Joseph Engelberger and Unimate: Pioneering the Robotics Revolution», Automate. Acedido: 2 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.automate.org/robotics/engelberger/joseph-engelberger-unimate>
- [12] Koha, «El robot Unimate que revolucionó el mundo tecnológico», KOHA.net. Acedido: 2 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.koha.net/es/tech/roboti-unimate-qe-beri-revolucion-ne-boten-teknologjike>
- [13] K. S. Fu, R. C. Gonzalez, e C. S. G. Lee, *Robotics: control, sensing, vision, and intelligence*. em McGraw-Hill series in CAD/CAM, robotics and computer vision. New York London Toronto: McGraw-Hill Book Company, 1987.
- [14] A. Silveira, «Design: Acionamentos e Mecanismos». Acedido: 3 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.um.pro.br/acionamentos/index.php?c=juntas>
- [15] A. Ferrolho, «Apontamentos das aulas de Robótica Industrial, Viseu DEE-ESTGV IPV».
- [16] P. McKerrow, *Introduction to robotics*, Reprinted. em Electronic systems engineering series. Sydney: Addison-Wesley, 1998.

Referências

- [17] ABB, «ABB IRB 140». Acedido: 4 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/73e6655d65ab9569c1257b440052382f/IRB%20140%20datasheet.pdf>
- [18] B. Becher, «What Are Industrial Robots?», Built In. Acedido: 2 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://builtin.com/robotics/what-are-industrial-robots>
- [19] D. Turney, «Industrial robotics: Past, present, and future». Acedido: 2 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/design-make/articles/industrial-robotics>
- [20] N. Viswanadham e Y. Narahari, *Performance modeling of automated manufacturing systems*. em Prentice Hall information and system sciences series. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall, 1992.
- [21] G. Sources, «Ultimate Guide: What Is Flexible Manufacturing System (FMS)? | Global Sources». Acedido: 4 de fevereiro de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.globalsources.com/knowledge/an-in-depth-guide-to-flexible-manufacturing-systems/>
- [22] A. Francisco, *Autómatos Programáveis*, 5ª Edição. Etep, 2007.
- [23] J. Novais, *Programação de autómatos: método Grafset*, 5ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. Serviço de Educação e Bolsas, 2012.
- [24] ABB, «ABB IRB 1400». Acedido: 16 de abril de 2025. [Online]. Disponível em: https://library.e.abb.com/public/99bb3fb8ff6495cfc1257b130056d120/IRB1400_R3-US%2002_05.pdf
- [25] Robots, «ABB IRB 1400 Robot», Robots.com. Acedido: 16 de abril de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.robots.com/industrial-robots/abb-irb-1400>
- [26] EMCO, «Concept Mill 155». Acedido: 21 de abril de 2025. [Online]. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/concept-mill-155-datos-tecnicos-2nv8wpz6m9lk>
- [27] EMCO, «Concept Turn 55». Acedido: 21 de abril de 2025. [Online]. Disponível em: https://www.amtc.eu/media/catalog/files/emco/Concept_TURN_55_CNC_lathe_EN.pdf
- [28] ABB, «RobotStudio Suite| ABB Robotics», Robotics. Acedido: 21 de agosto de 2025. [Online]. Disponível em: <https://new.abb.com/products/robotics/software-and-digital/robotstudio>
- [29] Siemens, «TIA Portal Siemens - Automação Totalmente Integrada», Siemens. Acedido: 21 de agosto de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/produtos/software/software-para-industria/automacao/tia-portal.html>
- [30] SOLIDWORKS, «The Solution for 3D CAD, Design and Product Development | SOLIDWORKS». Acedido: 21 de agosto de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.solidworks.com/>
- [31] OMRON, «Omron FQ2 Vision Sensor». Acedido: 13 de julho de 2025. [Online]. Disponível em: <https://industrial.omron.eu/en/products/fq2>
- [32] Mastercam, «CAD/CAM Solutions for Manufacturing | Mastercam», mastercam.com. Acedido: 21 de agosto de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.mastercam.com/>
- [33] H. B. Kief e T. F. Waters, *Computer numerical control*. New York, NY: Glencoe, 1992.

- [34] botnroll, «Conversor de Sinal 0/4-20mA para 0-3.3V5V10V». Acedido: 8 de julho de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.botnroll.com/pt/corrente-/3988-conversor-de-sinal-4-20ma-para-0-5v-0-10v-0-15v-isolado.html>
- [35] OMRON, «FQ2-S/CH Series Smart Camera User's Manual for Communications Settings». Acedido: 13 de julho de 2025. [Online]. Disponível em: https://files.omron.eu/downloads/latest/manual/en/z338_fq2-s_ch_smart_camera_for_communication_settings_users_manual_en.pdf?v=1
- [36] AnyDesk, «O aplicativo de desktop remoto rápido», AnyDesk. Acedido: 20 de agosto de 2025. [Online]. Disponível em: <https://anydesk.com/pt>
- [37] No-IP, «No-IP | DNS mais inteligente começa aqui». Acedido: 20 de agosto de 2025. [Online]. Disponível em: <https://www.noip.com/pt-BR>

Anexo A Interface robótica

Ao longo do Anexo A é apresentada a interface robótica dos vários equipamentos que constituem a Célula Flexível de Fabrico.

A Tabela A-1 é apresentada a interface de comunicação entre o PLC e todos os sensores e atuadores da CFF.

Tabela A-1 – Interface de comunicação entre o PLC e os sensores/atuadores da CFF.

Input	Descrição
I0.0	Sensor Indutivo 1 no setor do armazém
I0.1	Sensor Indutivo 2 no setor do armazém
I0.2	Sensor Indutivo 3 no setor do armazém
I0.3	Sensor Indutivo 4 no setor do armazém
I0.4	Sensor Indutivo 1 no setor de fabrico
I0.5	Sensor Indutivo 2 no setor de fabrico
I0.6	Sensor Indutivo 3 no setor de fabrico
I0.7	Sensor Indutivo 4 no setor de fabrico
Outputs	
Q0.0	<i>Stopper</i> no setor de fabrico
Q0.1	<i>Stopper</i> no setor do armazém
Q0.2	<i>Stopper</i> do setor auxiliar
Q0.3	<i>Stopper</i> no setor de montagem

Interface robótica

A Tabela A-2 apresenta a interface de comunicação entre o PLC e o controlador do robô do setor do armazém.

Tabela A-2 – Interface de comunicação entre o PLC e controlador do robô IRB 1400.

PLC S7-1200	Controlador	
Inputs	Outputs	Descrição
I1.0	DO10_9	PMPT Carregada
I1.1	DO10_10	PMPF Carregada
I3.0	DO10_11	PPAT Descarregada
I3.1	DO10_12	PPAF Descarregada
I5.1	DO10_5	Robô na posição de Inspeção
I5.2	DO10_6	Temporizador Carrega/Descarrega Palete
I5.3	DO10_7	Temporizador Alarme
I5.4	DO10_8	Paragem Manual do Setor (Alarme)
Outputs	Inputs	
Q0.4	DI10_12	Carregar PMPT + Peça 1
Q0.5	DI10_13	Carregar PMPF + Peça 2
Q3.0	DI10_14	Descarregar PPAT + Peça 3
Q3.1	DI10_15	Descarregar PPAF + Peça 4
Q3.6	DI10_8	Ordem de paragem da HMI/WebPage

A Tabela A-3 apresenta a interface de comunicação entre o PLC e o controlador do robô do setor de fabrico.

Tabela A-3 – Interface de comunicação entre o PLC e controlador do robô IRB 140.

PLC S7-1200		Controlador
Inputs	Outputs	Descrição
I1.2	DO12_9	PMPT Descarregada
I1.3	DO12_10	PMPF Descarregada
I1.4	DO12_11	PPAT Carregada
I1.5	DO12_12	PPAF Carregada
I2.0	DO12_3	Robô na posição de Inspeção
I2.1	DO12_4	Confirmação do pedido de fabricação
I2.2	DO12_5	BPAT Cheio
I2.3	DO12_6	BPAF Cheio
I3.4	DO12_13	Temporizador da produção da fresadora
I3.5	DO12_14	Temporizador da produção do torno
I4.4	DO12_7	BMPF Vazio
I5.5	DO12_16	Paragem Manual do Setor (Alarme)
I5.6	DO12_8	BMPT Vazio
I5.7	DO12_15	Temporizador Alarme
Outputs	Inputs	
Q0.6	DI12_9	Descarregar PMPT + Peça 1
Q0.7	DI12_10	Descarregar PMPF + Peça 2
Q1.0	DI12_11	Carregar PPAT + Peça 3
Q1.1	DI12_12	Carregar PPAF + Peça 4
Q2.0	DI12_15	Pedido de Fabrico
Q2.2	DI12_14	Ordem de paragem da HMI/WebPage
QW64	AI11_2	Pedido de fabricação da Fresadora
QW66	AI11_1	Pedido de fabricação do Torno

Interface robótica

A Tabela A-4 apresenta a interface robótica que permite a comunicação entre o PLC e o Torno CNC.

Tabela A-4 – Interface de comunicação entre o torno CNC e controlador do robô IRB 140.

Inputs	Descrição
DI10_1	Programa Parado
DI10_2	<i>Chuck</i> Aberto
DI10_3	<i>Chuck</i> Fechado
DI10_4	Porta Aberta
DI10_5	Porta Fechada
DI10_8	Alarme Ativo / Emergência
Outputs	
DO10_2	Iniciar Programa
DO10_3	Fechar Porta
DO10_4	Abrir Porta
DO10_7	Fechar <i>Chuck</i>
DO10_8	Abrir <i>Chuck</i>

A Tabela A-5 apresenta a interface robótica que permite a comunicação entre o PLC e a Fresadora CNC.

Tabela A-5 – Interface de comunicação entre a fresadora CNC e controlador do robô IRB 140.

Inputs	Descrição
DI10_9=1 DI10_10=0	Alarme Ativo
DI10_9=1 DI10_10=1	Emergência
DI10_12	Programa Parado
DI10_13	<i>Vice</i> Fechado
DI10_14	<i>Vice</i> Aberto
DI10_15	Porta Fechada
DI10_16	Porta Aberta
DO10_9	Fechar Porta
Outputs	
DO10_13	Iniciar Programa
DO10_14	Fechar <i>Vice</i>
DO10_15	Abrir <i>Vice</i>
DO10_16	Abrir Porta

Anexo B GRAFCETs

O desenvolvimento da programação do PLC foi suportado pela elaboração de vários esquemas GRAFCET, que permitiram estruturar e validar as diferentes sequências de operação da CFF. A seguir, são apresentados três exemplos, tendo em conta que também foram criadas variações semelhantes para as restantes paletes e eventos de segurança.

A Figura B-1 apresenta o GRAFCET relativo ao carregamento e inspeção da paleta PPAF no setor de produção. Este diagrama descreve a sequência de estados necessária para parar a paleta e verificar posteriormente a sua ocupação, garantindo a integridade do processo de fabrico.

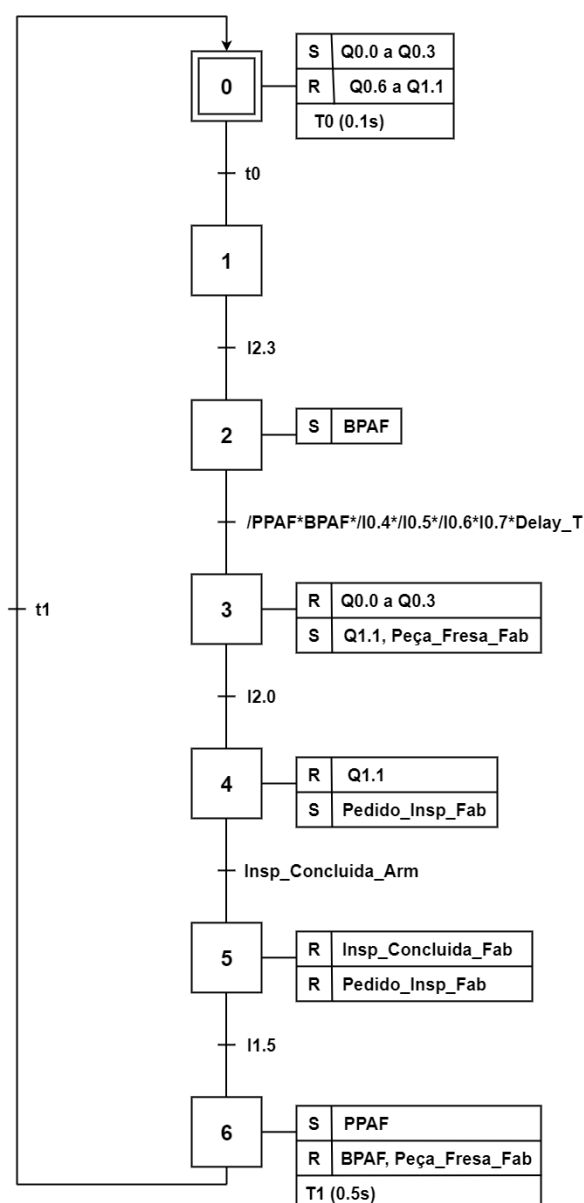


Figura B-1 – GRAFCET do carregamento e inspeção da paleta PPAF no setor de fabrico.

A Figura B-2 ilustra o GRAFCET relativo ao envio de dados da paleta PMPF do setor do armazém para a página web. Através desta sequência, o sistema garante que a informação da paleta, nomeadamente o tempo de carregamento/descarregamento, o número da paleta e a sua ocupação, é transmitida e disponibilizada em tempo real ao utilizador remoto, permitindo o acompanhamento contínuo da produção.

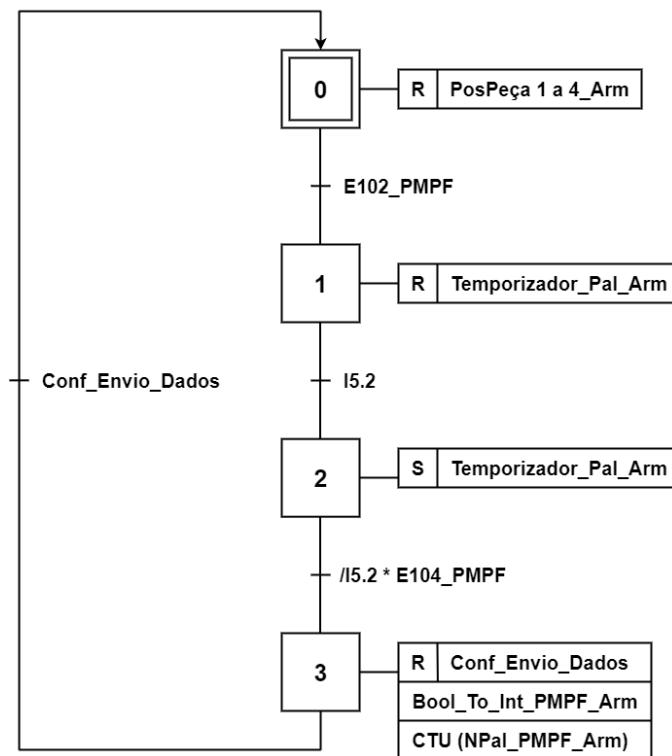


Figura B-2 – GRAFCET do envio de dados da paleta PMPF do setor de armazém para a página web.

Por fim, a Figura B-3 mostra o GRAFCET associado ao alerta de paragem manual no setor do armazém. Este diagrama regista o tempo de paragem do robô, o número do alerta e uma mensagem em formato "string" que descreve a causa da paragem.

GRAFCEts

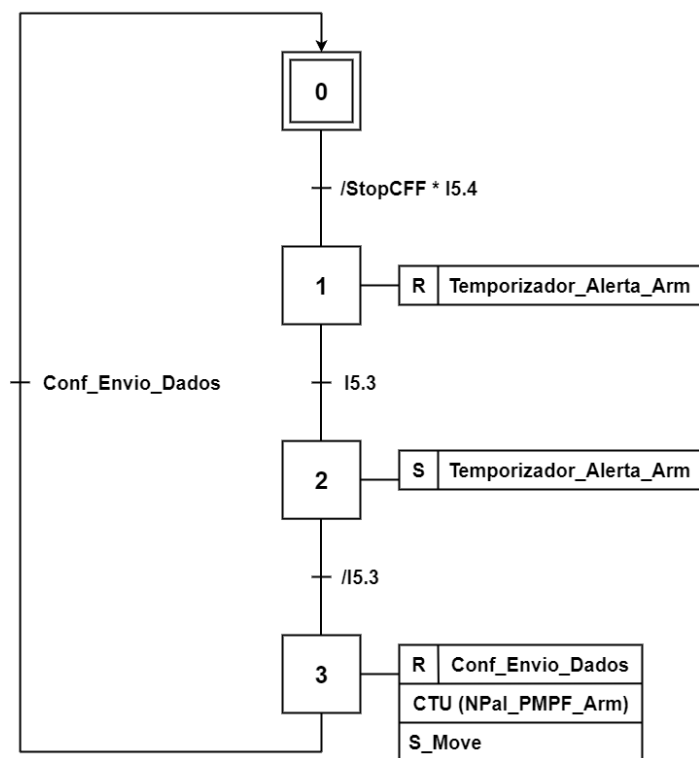
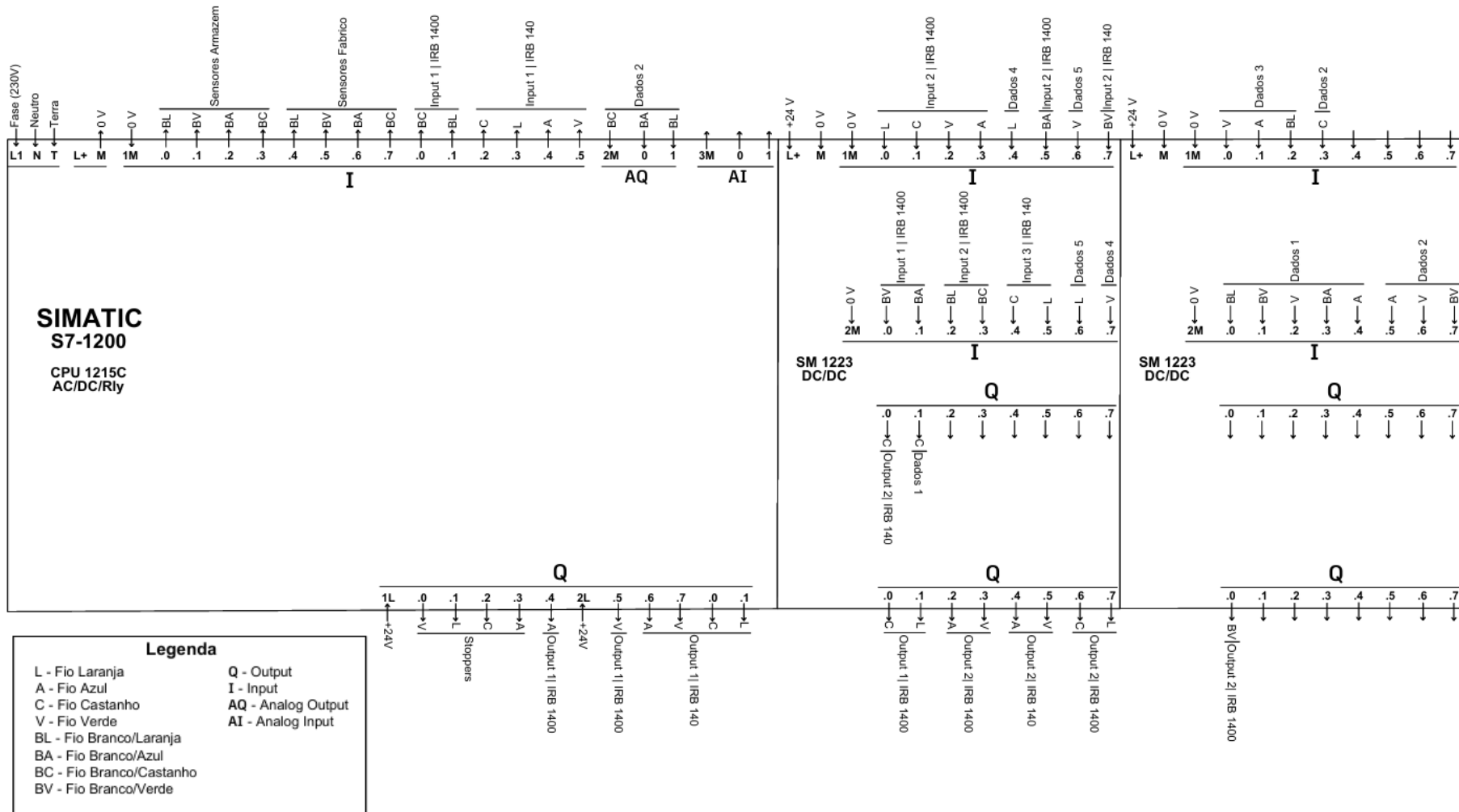
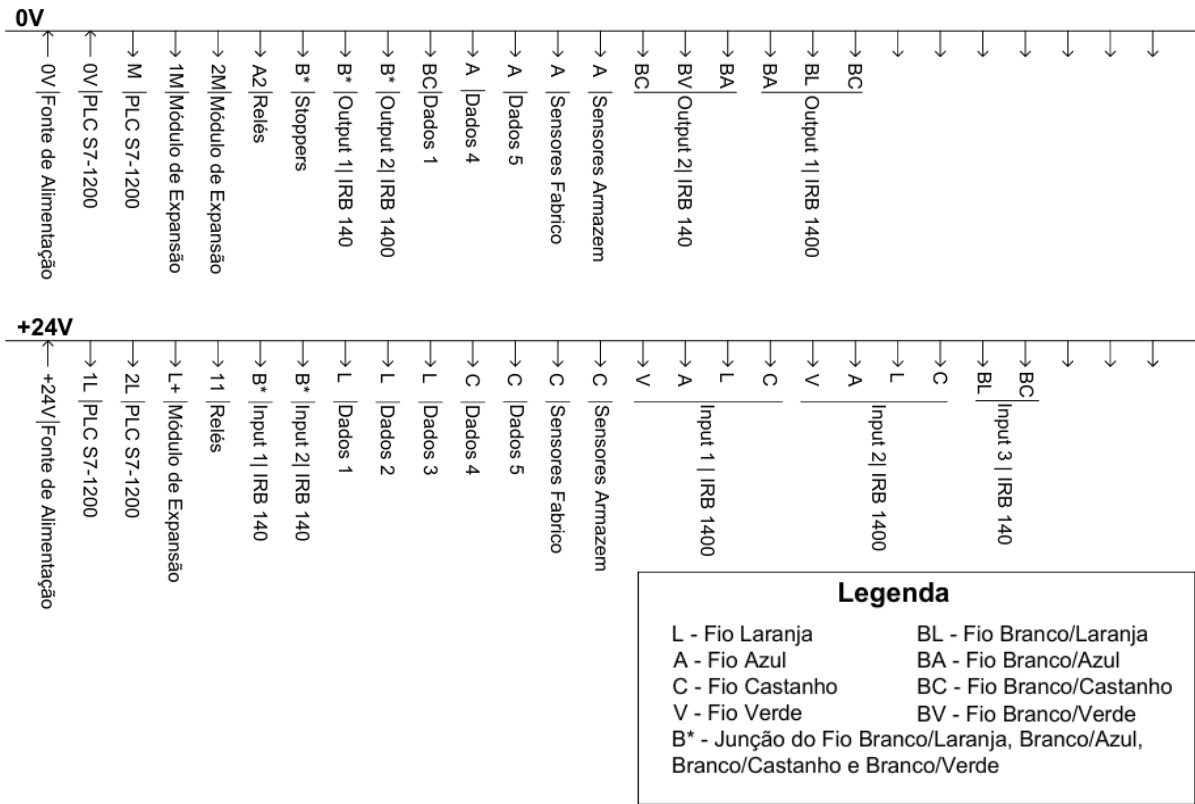


Figura B-3 – GRAFCET do alerta de paragem manual no setor de armazém.

Anexo C Esquema das ligações do PLC (gestor da CFF)



Anexo D Esquema elétrico 0/24V e esquema de potencia (gestor da CFF)



Terra

Fase (230V)

Neutro



Legenda

L - Fase	↓ - Dijuntor
N - Neutro	
T - Terra	

Anexo E Endereços de memória da camara FQ2 Séries

A comunicação correta entre o sistema de visão OMRON FQ2 e o PLC Siemens S7-1200 requer a atribuição de endereços de memória exatos à câmara. Estes endereços são essenciais para garantir a troca de dados entre os dois equipamentos, possibilitando a execução de comandos e a recepção de resultados das inspeções efetuadas.

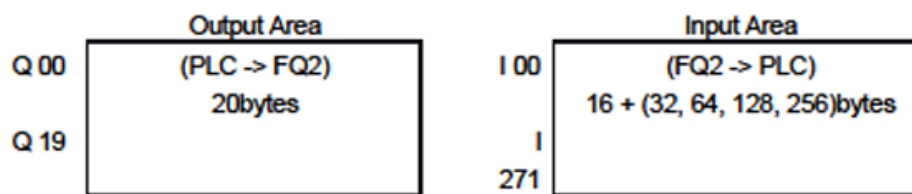
De acordo com a documentação técnica fornecida pelo fabricante OMRON, encontram-se reservados:

- 20 bytes para a comunicação do PLC para a câmara (escrita);
- 272 bytes para a comunicação da câmara para o PLC (leitura).

Por exemplo, a câmara FQ22 é ativada através da saída digital Q14.1 do PLC, uma vez que os endereços reservados para a câmara ocupam o intervalo entre Q14 e Q33. O *trigger* corresponde ao primeiro byte e ao bit .1 do módulo de saída digital.

Quanto aos dados enviados pela câmara para o PLC, por exemplo a posição da primeira peça da fresadora é lida através da entrada digital ID84, um valor que resulta da soma do endereço base ID68 com um deslocamento de 16 bytes, conforme especificado na tabela de memória da câmara.

A Figura E-1 apresenta o mapa completo dos endereços de memória definidos para a comunicação com a câmara FQ2.



...	Module	Rack	Slot	I address	Q address	Type
	▼ fq22	0	0			FQ2-XXX
	▶ Interface	0	0 X1			FQ2
	Output Data_1	0	1		14...33	Output Data
	Results Data - 32 items_1	0	2	68...211		Results Data - 32 ite..

Endereços de memória da camara FQ2 Séries

Output Area (command area)	Bits								Description
	7	6	5	4	3	2	1	0	
+0	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	TRIG	EXE	Control flag 1 (8 bits)
+1	ERCLR	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Control flag 2 (8 bits)
+2	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	DSA	Control flag 3 (8 bits)
+3	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Control flag 4 (8 bits)
+4	Command code								Command code (32 bits)
+5									
+6									
+7									

Input Area (response area)	Bits								Description
	7	6	5	4	3	2	1	0	
+0	Resv	Resv	Resv	RUN	OR	READY	BUSY	FLG	Status flag 1 (8 bits)
+1	ERR	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Status flag 2 (8 bits)
+2	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	GATE	Status flag 3 (8 bits)
+3	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Resv	Status flag 4 (8 bits)
+4	Command code								Command code (32 bits)
+5									
+6									
+7									
+8	Response code								Response code (32 bits)
+9									
+10									
+11									
+12	Response data								Response data (32 bits)
+13									
+14									
+15									

Input Area (Output Area)	Bits								Description
	7	6	5	4	3	2	1	0	
+16	Output data 1								Output data 0 (32 bits)
+17									
+18									
+19									
.	Output data 8								Output data 7 (32 bits)
.									
.									
.									
+44	Output data 16								Output data 15 (32 bits)
+45									
+46									
+47									
.	Output data 16								Output data 15 (32 bits)
.									
.									
.									
+76	Output data 16								Output data 15 (32 bits)
+77									
+78									
+79									
.	Output data 16								Output data 15 (32 bits)
.									

Figura E-1 – Endereços de memória do sistema de visão FQ2 [35].

Anexo F Configuração do router para o acesso remoto

O primeiro passo consistiu em atribuir um endereço IP público estático ao router, configurado, a título de exemplo, como 192.168.30.17, conforme mostrado na Figura F-1.

WAN		
MAC Address:	18-D6-C7-52-C6-77	
IP Address:	192.168.30.17	Static IP
Subnet Mask:	255.255.255.0	
Default Gateway:	192.168.30.254	
DNS Server:	192.168.0.7 , 0.0.0.0	

Figura F-1 – Definição do IP público estático.

Em seguida, foi criada uma regra de "*port forwarding*" que associou o IP público a um endereço interno da rede. Neste caso, o endereço IP interno do PLC (192.168.1.110) foi encaminhado para a porta externa 1112, conforme ilustrado na Figura F-2.

Deste modo, qualquer utilizador que inserisse o endereço 192.168.30.17:1112 no navegador seria automaticamente redirecionado para o PLC, garantindo o acesso remoto à página web.

ID	Service Port	Internal Port	IP Address	Protocol	Status	Modify
1	1112	80	192.168.1.110	TCP	Enabled	Modify Delete

Figura F-2 – Configuração da regra de "*Port Forwarding*" para o PLC.

Por fim, foi ainda configurado um serviço DDNS através da plataforma No-IP [37]. Desta forma, em vez de introduzir manualmente o endereço IP e a porta, o utilizador pode simplesmente aceder ao link controlocff.ddns.net, o qual redirecionava para a página web do PLC. Este processo está representado na Figura F-3.

Configuração do router para o acesso remoto

DDNS

Service Provider: No-IP (www.noip.com) [Go to register...](#)

User Name: controlocff@gmail.com

Password:

Domain Name: controlocff.ddns.net

Enable DDNS

Connection Status: Succeeded!

Figura F-3 – Configuração do domínio dinâmico DDNS.