



Automação de linha de paletização de embalagens de papel

ANDRÉ FILIPE DA SILVA MARQUES

outubro de 2019

Automação de linha de paletização de embalagens de papel

André Filipe Silva Marques



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2019

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam na ficha da unidade curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: André Filipe Silva Marques, N° 1140205, 1140205@isep.ipp.pt

Orientação científica: Manuel Fernando dos Santos Silva, mss@isep.ipp.pt

Empresa: Roboplan - Robotics Experts.

Supervisão: Carlos Filipe Miguel Teixeira, carlos.miguel@roboplan.pt

Carlos Manuel Caiado Neves, carlos.neves@roboplan.pt



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2019

Agradecimentos

As nossas realizações pessoais nunca são apenas nossas, mas também daqueles que de certa forma contribuíram com pequenos e grandes gestos para as concretizar e, como tal, não poderia deixar de lhes agradecer:

Em primeiro lugar, manifesto o meu profundo agradecimento geral a toda a equipa da Roboplan, em especial aos representantes que me concederam a oportunidade de integrar a equipa e desenvolver o meu projeto de tese. A todos os meus colegas que trabalharam de forma direta e indireta comigo, os conselhos e sugestões que me fizeram crescer e tornar uma pessoa mais profissional. Aos Engenheiros Carlos Neves e Carlos Miguel, pelas orientações, conhecimentos partilhados e pela motivação dada ao longo do meu percurso realizado.

Um agradecimento especial ao Engenheiro Manuel Silva pelos conselhos, ensinamentos e disponibilidade ao longo da minha carreira académica, não apenas como orientador, mas também como professor e amigo. Por ter acreditado nas minhas capacidades e ter aceite acompanhar-me nesta tese de mestrado.

A todos os meus amigos e colegas de faculdade que me acompanharam, motivaram e ajudaram quando mais precisei. Os cafés e momentos que partilhámos e que foram necessários para descontrair e encarar o trabalho de outra forma.

Por último, e não menos importante, aos meus pais, irmã e cunhado por todos os conselhos menos técnicos que me deram e que contribuíram para o sucesso do projeto. Uma palavra de reconhecimento à minha namorada que me apoiou e compreendeu quando as coisas corriam menos bem e que, mesmo assim, me motivou a continuar e a não desistir. Sem vocês, nunca teria chegado até aqui e não seria o que sou hoje.

Obrigado por tudo!

André Marques

Resumo

O rápido avanço da tecnologia permitiu a muitas indústrias automatizarem os seus processos, transformando tarefas realizadas estritamente de forma manual em tarefas automáticas com elevada precisão, rapidez e qualidade. Com esta transformação, as empresas entraram num meio competitivo mais seguro, com maior quantidade de produtos em menor tempo e, conseqüentemente, menor custo associado.

A Roboplan, empresa de automação e robótica industrial, recebeu a proposta de projetar uma linha para fazer *pick and place* de embalagens de rolos de papel higiénico e de cozinha e obter, como produto final, paletes de 14 camadas protegidas com filme protetor e etiquetadas.

Posto isto, o objetivo desta tese consistiu na construção do projeto elétrico, montagem, programação e controlo de um sistema automático. Este sistema permitiu formar 14 camadas de embalagens com diferentes mosaicos, em paletes, devidamente protegidas e etiquetadas. Esta linha recorreu a dois robôs industriais, uma máquina de envolvimento de filme protetor e a uma etiquetadora.

Para projetar esta linha foi necessário realizar um estudo de soluções *pick and place* já existentes, de forma a obter ideias quanto ao seu projeto, programação e métodos de segurança. Após o conhecimento teórico adquirido, procedeu-se à realização do projeto mecânico e elétrico e posterior implementação e instalação elétrica no cliente. Finalizada esta fase, realizou-se a parametrização e programação de toda a linha, finalizando o projeto com as validações do sistema.

O sistema automático implementado permite fazer paletes de produtos de várias dimensões e com diferentes tipos de mosaico, dispensando a atividade humana na execução de tarefas repetitivas, cansativas e durante longos períodos de tempo. Após a implementação desta célula, apenas será necessária uma pessoa para acompanhar a produção, as linhas adjacentes e a ocorrência de erros. Com isto, o cliente obterá uma produção contínua, em grandes quantidades, organizada em paletes com os produtos bem estruturados, bem como, existirá um menor risco de falha ou esquecimento de colocação de etiqueta. Com esta automatização de

processo, a empresa passará a entrar num mercado mais competitivo, tornando-se numa ameaça ao rival direto.

Palavras-Chave: Robôs, *pick and place*, automatização de processos, sistema elétrico.

Abstract

The rapid advancement in technology has enabled many industries to automate their processes by transforming strictly manual tasks into automatic ones with high accuracy, speed and quality. With this transformation, companies entered a safer competitive environment, with more products in less time and, consequently, lower associated costs.

Roboplan, an industrial automation and robotics company, has received a proposal to design a line to pick and place toilet and kitchen roll packs and obtain, as a final product, 14-labeled layer pallets protected with protective film.

Therefore, the objective of this thesis was the construction of the electrical project, installation, programming and control of an automatic system. This system allowed to form 14 layers of packaging with different mosaics, in pallets, properly protected and labeled. This line used two industrial robots, a protective film wrapping machine and a labeling machine.

To project this line, a study of existing pick and place solutions had to be performed, in order to gain better insight of design, programming and security methods options. After the theoretical knowledge was acquired, took place the mechanical and electrical design and subsequent implementation on the client. When this phase was concluded, the parameterization and programming of the entire line was performed, finalizing the project with the validations of the system.

The automatic system implemented allows to make pallets of products with different dimensions and different mosaic types, removing human activity from repetitive, tiresome tasks that take long periods of time to complete. After implementing this cell, it will only be needed one person to monitor the production, the adjacent lines and errors occurrence. With this system, the client will get continuous production, in large quantities, organized in pallets with well-structured products, as well as, less failure risk or labeling oblivion. With this process automation, the company will enter a more competitive market, becoming a threat to its direct rivals.

Keywords: Robots, pick and place, process automation, electrical systems.

Índice

Agradecimentos	iii
Índice	ix
Lista de Figuras	xiii
Lista de Tabelas	xix
Acrónimos	xxi
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Calendarização	3
1.4 Organização da dissertação	4
2 Automação e robótica industrial	7
2.1 Desenvolvimento histórico da automação industrial	7
2.1.1 O PLC, hardware e software	8
2.1.1.1 O conceito	8
2.1.1.2 Constituição e funcionamento do PLC	10
2.1.1.3 Linguagens de programação	12
2.1.2 Robótica industrial	13
2.1.2.1 Definição de robô e a evolução da robótica industrial	13
2.1.2.2 Constituição do robô	15
2.1.2.3 Programação do robô	22
2.1.3 Comunicação industrial	23
2.1.3.1 Protocolos de comunicação	24
2.2 Quadro elétrico e componentes	25
2.2.1 Constituição de um QE	25

2.2.2	Elementos de proteção	26
2.3	Sensores para controlo e automação de processos	28
2.4	Segurança industrial	34
2.4.1	Dispositivos de proteção para segurança	37
3	Robótica de paletização	41
3.1	Tipos de ferramentas	42
3.2	Casos de estudo	46
3.2.1	Projeto Floralys	47
3.2.2	Projeto Torfresma	50
3.2.3	Projeto SEE Sistemas	55
4	Arquitetura do sistema	59
4.1	Problema e solução	59
4.2	Arquitetura geral	61
4.3	Projeto da célula de paletização	62
4.3.1	Linha paletização	62
4.3.2	Linha do dispensador de paletes e evacuação	64
4.3.3	Entrada de palete externa e mesa rotativa	66
4.3.4	Final de linha	67
4.4	Robôs e ferramentas	68
4.5	Motores	71
4.6	Segurança	73
4.7	Envolvedora PIERI	74
4.8	Etiquetadora	75
5	Implementação	77
5.1	Projeto elétrico	77
5.1.1	Sensores	78
5.1.1.1	Fotocélulas	78
5.1.1.2	Sensores magnéticos	79
5.1.1.3	Sensores indutivos	79
5.1.1.4	Fim de curso	80
5.1.1.5	Eletroválvulas e sensores de pressão	81
5.1.2	Motores	82
5.1.2.1	Parametrização dos variadores dos motores	85
5.1.3	Equipamentos de segurança	87
5.1.3.1	Fechaduras das portas e emergências	88
5.1.3.2	Barreiras de segurança	90
5.1.4	Quadro elétrico	92
5.1.4.1	Dimensionamento dos equipamentos de proteção	92
5.1.4.2	Equipamentos de controlo	93

5.1.4.3	Equipamentos de segurança	94
5.1.5	Ligações Pieri	97
5.1.6	Ligações da etiquetadora	98
5.1.7	Ligações dos robôs	98
6	Programação da linha automática	101
6.1	Parametrização do PLC, motores e robôs	101
6.2	Programação	103
6.2.1	01 Comunicação	105
6.2.2	02 Controlo	106
6.2.3	04 Periferias	110
6.2.4	05 Produtos	111
7	Resultados	113
7.1	Célula	113
7.2	Quadro elétrico	114
7.3	Motores	117
7.4	Dispensador de paletes	118
8	Conclusão	121
	Bibliografia	123
A	Tabela de produtos	129
B	<i>Pinout</i> da fechadura	131
C	Identificação de motores	133
D	Relé das emergências externas	135
E	Variáveis de comunicação PLC - Robô 1	143
F	Variáveis de comunicação PLC - Robô 2	145
G	Control Word e Status Word dos motores	147
H	Fluxograma do controlo dos motores	149
H.1	Condições do motor do transportador 1	149
H.2	Condições do motor do transportador 4	150
H.3	Condições do motor 4.1	151
H.4	Condições do motor 6	152
H.5	Condições do motor 7	153
H.6	Condições do motor 8.1	154
H.7	Condições do motor 8.2	155

H.8	Condições do motor 9	156
H.9	Leitura dos sensores e definição das posições	157
H.10	Definição do estado de subir e descer paletes e abrir e fechar garfos	158
H.11	Condições do dispensador	159
H.12	Controlo do dispensador	160
I	Fluxogramas do controlo dos produtos	161
I.1	Controlo dos produtos	161
I.2	Controlo do produto 4	162
I.3	Controlo dos produtos gerais	163

Lista de Figuras

1.1	Produto da marca Joker (adaptado de [2]).	2
1.2	Robô Yaskawa comercializado pela Roboplan (adaptado de [3]).	2
1.3	Calendarização da dissertação.	4
2.1	PLC projetado e desenvolvido por Dick Morley e Michael Greenberg (adaptado de [5] [4]).	8
2.2	Autômato programável.	9
2.3	Constituição de um autômato programável.	10
2.4	Ciclo de funcionamento da CPU.	11
2.5	Robô Unimate [13].	14
2.6	Robô Asimo lançado pela Honda [14].	14
2.7	Elos do robô [15].	15
2.8	Robôs classificados consoante a sua estrutura cinemática [16].	16
2.9	Estrutura cartesiana [18].	17
2.10	Estrutura cilíndrica [18].	17
2.11	Estrutura do robô <i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i> (SCARA) [18].	18
2.12	Estrutura robô do tipo esférico [18].	18
2.13	Estrutura articulada do robô [18].	18
2.14	Punho do braço robótico (adaptado de [19]).	19
2.15	Manipulador robótico (adaptado de [19]).	19
2.16	Tipos de garras que tornam os robôs versáteis.	20
2.17	Ferramenta para robôs.	21
2.18	Controlador e respetiva consola (adaptado de [26]).	22
2.19	Estudo do mercado das redes industriais para o ano 2019 [27].	23
2.20	Trama de dados do protocolo CANopen [28].	25
2.21	Curvas do tipo B, C e D dos disjuntores [34].	27
2.22	Ligação dos sensores do tipo PNP e NPN [35].	29
2.23	Cilindro pneumático com dois sensores magnéticos [36].	30

2.24	Princípio de funcionamento dos sensores óticos por reflexão difusa e retroreflexão.	30
2.25	Princípio de funcionamento do sensor ótico de barreira direta [37]. . .	31
2.26	Sensor indutivo (NA) do tipo NPN e PNP no momento antes e após a aproximação do objeto metálico [38].	31
2.27	Sensor indutivo (NF) do tipo NPN e PNP no momento antes e após a aproximação do objeto metálico [38].	32
2.28	Esquema de <i>encoder</i> ótico incremental com dois tipos de setores [39]. . .	33
2.29	Princípio de funcionamento do <i>encoder</i> ótico absoluto [39].	34
2.30	Classificação do PL [43].	35
2.31	Dispositivos de segurança [44].	37
2.32	Diferentes tipos de barreira [44].	38
2.33	Barreira com <i>muting</i> [45].	38
2.34	Fechaduras de segurança utilizadas em projetos de automação.	39
2.35	Caixa com botão de emergência [48].	40
2.36	Exemplo de um relé da família Allen Bradley e o respetivo circuito. . .	40
3.1	Exemplo de ferramentas aplicadas em robôs para paletização.	43
3.2	Exemplo de ferramentas de paletização com/sem laterais e com garfos. . .	44
3.3	Ferramenta de ventosas [54].	45
3.4	Ferramenta do tipo <i>finger</i> [54].	46
3.5	Linha automática de paletização Floralys [56].	47
3.6	Descrição da linha automática de paletização [56].	48
3.7	Ferramenta de paletização do projeto Floralys [56].	49
3.8	Colocação de paletes no dispensador de paletes [56].	49
3.9	Máquina de envolvimento de filme protetor [56].	50
3.10	Linha de entrada de paletização de produtos [57].	51
3.11	Linha de saída de materiais paletizados [57].	52
3.12	Desviador utilizado na linha de paletização [57].	53
3.13	Ferramenta de paletização [57].	54
3.14	Ferramenta vista com mais detalhe [58].	54
3.15	Funcionamento do dispensador de paletes [59].	55
3.16	Envolvedoras fixas utilizadas no projeto de paletização de leite da Torfresma [57].	55
3.17	Linha de entrada de produtos do projeto SEE Sistemas [61].	56
3.18	Funcionamento da ferramenta passo a passo [61].	57
3.19	Dispensador de paletes [61].	58
3.20	Posicionamento da paleta na zona de paletização [61].	58
4.1	Projeto de célula de paletização.	60
4.2	Arquitetura do sistema de paletização.	61
4.3	Transportadores 1, 2 e 3.	62

4.4	Transportador 1.	63
4.5	Transportador 2 com empurrador e mesa deslizante.	64
4.6	Transportador 3.	64
4.7	Dispensador de paletes em diferentes perspectivas.	65
4.8	Linha do dispensador e de evacuação de palete.	66
4.9	Entrada de produto na PIERI.	67
4.10	Final de linha do produto.	67
4.11	Robô MPL-80 e a sua configuração perante o número de eixos [62]. . .	68
4.12	Ferramenta do robô 1.	69
4.13	Robô MPL-300 e a sua configuração perante o número de eixos [63]. .	69
4.14	Ferramenta do robô 2.	71
4.15	Motores com variadores NORD acoplados e cartas de comunicação Profinet.	72
4.16	Variadores NORD e cartas de comunicação Profinet [64].	72
4.17	Equipamentos de segurança e cartas de segurança x18.	74
4.18	Máquina envolvente PIERI.	75
4.19	Etiquetadora.	76
5.1	Sensor ótico por reflexão difusa e o respetivo esquema do conetor uti- lizado [67].	79
5.2	Sensor magnético e o respetivo esquema de ligação [68].	79
5.3	Sensores indutivos e respetivos esquemas de ligação.	80
5.4	Fim de curso mecânico.	81
5.5	Eletroválvula pneumática [71].	81
5.6	Exemplos de sistema de anticollisão e de um sensor de pressão instal- ados no <i>gripper</i> dos robôs.	82
5.7	Esquema da carta Profinet presente no variador do quadro elétrico. . .	84
5.8	Ligações do cabo RJ45 para a comunicação por CANopen.	85
5.9	Constituição bit a bit da <i>control word</i> e da <i>status word</i>	87
5.10	Fechadura Allen Bradley com três botões mais botão de emergência [78].	88
5.11	Esquema de ligação série das fechaduras.	89
5.12	Esquema de ligações do trinco magnético [79].	90
5.13	<i>Layout</i> e descrição dos pinos de ligação do relé auxiliar MSR42 [80]. .	91
5.14	Exemplo de ligação do relé MSR41 [81].	91
5.15	Ligação série das emergências das consolas dos robôs.	95
5.16	Base do robô com os encaixes para alimentação, cabos de dados e ar comprimido [83].	99
5.17	Base do robô de paletização com os encaixes para alimentação, cabos de dados e ar comprimido [83].	99
6.1	<i>Layout</i> da colocação do PLC e respetivas cartas de expansão.	101
6.2	<i>Layout</i> da configuração da rede Profinet.	103

6.3	Árvore estrutural do código desenvolvido.	105
6.4	Função genérica de controlo dos motores.	107
7.1	<i>Layout</i> da célula automática.	114
7.2	<i>Layout</i> do quadro elétrico.	115
7.3	Caixa do relé de programação da barreira.	115
7.4	Barreira com <i>muting</i> em L.	116
7.5	Fechadura de segurança da porta.	117
7.6	Variador aberto de um motor.	117
7.7	Variadores dos motores da ferramenta.	118
7.8	Sensores indutivos que identificam a posição da subida e descida do dispensador.	119
A.1	Tabela de produtos a programar.	129
B.1	Descrição detalhada das ligações da fechadura Allen Bradley [84].	131
C.1	Identificação dos motores da célula.	133
D.1	Relé MSR142RTP que tem como entrada as emergências externas das fechaduras e das botoneiras de emergência.	135
D.2	Relé MSR127RP que tem como entrada as emergências das consolas dos robôs.	136
D.3	Relé MSR127RP que tem como entrada a barreira sem <i>muting</i>	137
D.4	Relé MSR9T que tem como entrada o botão de emergência de final de linha.	138
D.5	Relé MSR126R que tem como entrada as fechaduras.	139
D.6	Relé MSR127RP que tem como entrada a barreira com <i>muting</i>	140
D.7	Relé MSR124RT que tem como entrada o trinco magnético	141
H.1	Fluxograma de controlo do motor do transportador 1.	149
H.2	Fluxograma de controlo do motor do transportador 4.	150
H.3	Fluxograma de controlo do motor de abertura e fecho dos garfos.	151
H.4	Fluxograma de controlo do motor 6.	152
H.5	Fluxograma de controlo do motor do transportador 7.	153
H.6	Fluxograma de controlo do motor 8.1 da mesa rotativa.	154
H.7	Fluxograma de controlo do motor 8.2 da mesa rotativa.	155
H.8	Fluxograma de controlo do motor 9 do transportador 9.	156
H.9	Fluxograma com a leitura dos sensores do dispensador e definição das posições e estado dos motores.	157
H.10	Fluxograma que controla o movimento de abertura e fecho dos garfos e a subida e descida de paletes.	158
H.11	Fluxograma que define os estados do dispensador.	159

H.12 Fluxograma geral do controlo do dispensador.	160
I.1 Fluxograma da programação dos produtos 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10	161
I.2 Fluxograma do controlo do produto 4.	162
I.3 Fluxograma com as condições para o controlo dos batentes e variáveis de estado.	163

Lista de Tabelas

2.1	Classificação do SIL [41].	35
4.1	Quadro resumo das ilhas e potências dos motores	73
5.1	Esquema de ligações dos variadores NORD [74].	83
5.2	Ligações da carta Profinet, do variador e do cabo RJ45 que faz a comunicação com o dispositivo mestre da comunicação.	84
5.3	Tabela de valores de disjuntores e diferenciais.	93
5.4	Tabela de sinais de comunicação entre PLC e Pieri.	97
5.5	Tabela de sinais de comunicação entre PLC e etiquetadora.	98
6.1	Endereços de comunicação dos equipamentos.	102
E.1	Variáveis de comunicação de entrada do PLC e robô 1.	143
E.2	Variáveis de comunicação de saída do PLC e robô 1.	144
F.1	Variáveis de comunicação de entrada do PLC e robô 2.	145
F.2	Variáveis de comunicação de saída do PLC e robô 2.	146
G.1	<i>Control Word</i> de comunicação entre PLC e motores.	147
G.2	<i>Status Word</i> de comunicação entre PLC e motores.	148

Glossário

BCD *Binary Coded Decimal*

CIP *Common Industrial Protocol*

CEN *Comité Européen de Normalização*

CPU *Central Processing Unit*

DIN *Deutsches Institut für Normung*

EU-OSHA *Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho*

FBD *Function Block Diagram*

HMI *Human Machine Interface*

IL *Instruction List*

IRT *Isochronous Real Time*

LD *Ladder Diagram*

LDR *Light Dependent Resistor*

LED *Light Emitting Diode*

MODICON *Modular Digital Controller*

NA *Normalmente Aberto*

NF *Normalmente Fechado*

NRT *Non Real Time*

OSI *Open System Interconnection*

PL *Performance Level*

PLC *Programmable Logic Controller*

PPO *Parameter Process Data Object*

QE *Quadro Elétrico*

RIA *Robotics Industry Association*

RT *Real Time*

SCARA *Selective Compliance Assembly Robot Arm*

SFC *Sequential Function Chart*

SIL *Nível de Integridade de Segurança*

ST *Structured Text*

OSSD *Output Signal Switching Device*

Capítulo 1

Introdução

A automação industrial é um método eficaz de aumentar os níveis de produção e qualidade, tendo um menor custo associado. As empresas das mais diversas áreas utilizam este método como forma de se destacarem no mercado em que estão inseridas.

Esta dissertação descreve a realização de um projeto de automação de uma linha de produção numa indústria de papel e a respetiva integração no atual processo industrial. Neste primeiro capítulo é feita a contextualização do tema e é explicada a motivação da realização deste projeto. De seguida, são apresentados os principais objetivos do mesmo, a calendarização das tarefas desenvolvidas, e para finalizar, é explicada a forma como esta dissertação está organizada.

1.1 Contextualização

A automação de processos das indústrias tem um papel bastante importante na eficiência das empresas, na medida em que é possível produzir em maior quantidade e com melhor qualidade, com menos pessoas e custos associados. Assim, com recurso à automação e à robótica é possível realizar diversas tarefas complexas e substituir o ser humano na realização de trabalhos repetitivos e perigosos.

Num mercado bastante competitivo, onde o comércio tem aumentado de forma exponencial, apenas as empresas que conseguem inovar e procurar marcar a diferença conseguem ficar no topo e não entrar na falência. A indústria do papel "*tissue*", como o papel higiénico, lenços, guardanapos e papel de cozinha, tem vindo a crescer de forma exponencial devido ao aumento populacional e consumo de produtos de higiene, como é exemplo disso a China. Visto que existe um nível de competitividade elevado neste mercado, o grupo Trevipapel encontrou na Roboplan a empresa para automatizar os seus processos. A Trevipapel foi

fundada em 1991 e conta com cerca de 146 colaboradores e tem vindo a aumentar o seu volume de negócio de ano para ano. A sua sede encontra-se localizada na Lousã, no entanto, tem ainda fábricas localizadas em Espanha e Europa Central. Esta empresa dedica-se à produção de papel higiénico, lenços, guardanapos, acessórios em papel e outros objetos similares, para uso doméstico e de higiene [1], produzindo cerca de 20000 toneladas de papel por ano. O seu mercado centra-se em Portugal e no estrangeiro, principalmente em África e América do Sul. Na Figura 1.1 é apresentado um exemplo do tipo de material que comercializam com a marca "Joker".



Figura 1.1: Produto da marca Joker (adaptado de [2]).

A Roboplan é uma empresa que trabalha nas mais diversas áreas, como a indústria alimentar, aeronáutica, madeira, papel, entre outras. Na área da robótica, a Roboplan é a representante da marca japonesa Yaskawa (Figura 1.2 em Portugal e desenvolve diversos sistemas para projetos de soldadura, pintura, lixagem, maquinação, paletização, entre outros. Uma vez que a área da robótica é muito diversificada, a Roboplan tem a capacidade de fornecer produtos Yaskawa a integradores e parceiros, criando soluções ao desenvolver máquinas e linhas complexas.

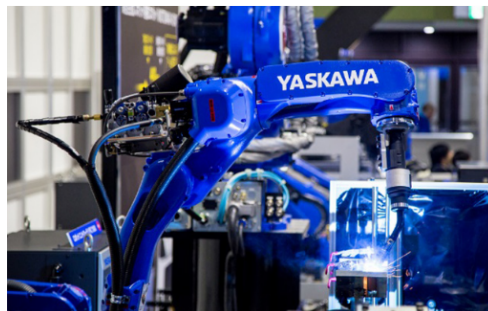


Figura 1.2: Robô Yaskawa comercializado pela Roboplan (adaptado de [3]).

1.2 Objetivos

Este projeto apresenta como objetivo a criação de um sistema automático para paletização de embalagens de rolos de papel de diferentes dimensões. As camadas são dispostas na paleta com diferentes mosaicos de forma a garantir estabilidade e segurança.

Dada a dimensão do projeto, foram definidas etapas para a concretização do mesmo:

- pesquisa de aplicações semelhantes já implementadas;
- estudo teórico sobre segurança em robótica e automação;
- estudo de esquemas e componentes elétricos;
- realização do projeto elétrico e respetiva eletrificação;
- montagem da célula no cliente;
- estudo e parametrização de motores, robôs, *Human Machine Interface* (HMI), *Programmable Logic Controller* (PLC), máquina envolvente e etiquetadora/impressora;
- programação do PLC e HMI;
- instalação e controlo dos sistemas de segurança;
- controlo da produção através de relatórios e alertas gerados na HMI;
- formação dos funcionários da empresa que irão acompanhar a produção da linha automática.

1.3 Calendarização

Dada a complexidade e dimensão do projeto, foi necessário realizar um cronograma temporal que permitisse escalar o tempo necessário a realizar as tarefas, de forma a não atrasar o período inicialmente estabelecido. A tese foi realizada durante um período de 10 meses, sendo o primeiro mês e meio utilizado para a adaptação ao mundo industrial, estudo teórico sobre eletricidade e esquemas elétricos. Ainda neste período, foi realizado um esquema elétrico de um projeto que, mais tarde, não avançou. Numa segunda fase, iniciou-se o estudo de um novo projeto alvo de estudo nesta tese de mestrado. Realizou-se um levantamento dos dispositivos a utilizar e, posteriormente, um estudo da segurança a ser implementada. Até ao início de fevereiro, realizou-se o esquema elétrico. Após esta fase, iniciou-se a eletrificação e construção do quadro elétrico e, de seguida,

Numa vertente mais prática, segue-se o Capítulo 4 que apresenta a arquitetura do sistema. É realizada uma exposição ao problema e solução e equipamentos utilizados.

O Capítulo 5, relativo à implementação, aborda ao pormenor os dispositivos utilizados e o método de ligação utilizado para a realização do projeto elétrico. Neste capítulo é ainda explicado como é que a segurança foi implementada e quais os dispositivos utilizados.

O Capítulo 6 é vocacionado à programação dos produtos, dos motores e dos dispositivos envolventes. Para facilitar a compreensão da lógica de controlo desenvolvida, são apresentados fluxogramas detalhados.

No Capítulo 7 são apresentados os resultados do projeto desenvolvido e os problemas e alterações realizados. Por último, no Capítulo 8 é exposta uma breve reflexão do projeto desenvolvido e apresentadas possíveis futuras melhorias.

Capítulo 2

Automação e robótica industrial

Este capítulo aborda o processo evolutivo da automação e da robótica industrial até aos dias de hoje. Tanto o PLC como os robôs têm um papel muito importante na automatização dos processos das empresas, tendo estas obtido resultados bastante positivos comparativamente às empresas que procuram apenas a sobrevivência no mercado.

Neste capítulo, para além da constituição do PLC e dos robôs, serão abordadas as redes e os protocolos de comunicação existentes entre os dispositivos mestres e os dispositivos escravos, bem como a eletrificação e o princípio de funcionamento dos sensores de instrumentação de campo. Tendo em conta que nos processos automáticos é importante a existência de um sistema de segurança fiável, neste capítulo serão também abordados os equipamentos de segurança.

2.1 Desenvolvimento histórico da automação industrial

O conceito de automação industrial, estima-se que se tenha iniciado no século XVIII com a criação da máquina a vapor, em Inglaterra. Esta máquina veio revolucionar a indústria e a economia, fazendo aumentar o número de artigos manufaturados e ao se tornar a base na criação de novas máquinas mais modernas. No século XIX, novas fontes de energia foram descobertas e o ferro começou a ser substituído pelo aço, tornando as máquinas mais avançadas e seguras [4]. Nos anos seguintes foi criado um dispositivo eletromecânico que veio dar início à II Revolução Industrial, os chamados relés. Estes eram dispositivos que permitiam fazer o controlo de sistemas automatizados, embora de pouca complexidade. O funcionamento dos relés era simples e baseava-se na alimentação de uma bobine que, quando alimentada, criava uma força magnética fazendo a transição de "0" (OFF) para "1" (ON). Perante a evolução das máquinas e dos

sistemas, os relés começavam a ser insuficientes e passavam a existir dificuldades em fazer alterações aos processos desenvolvidos [5]. Dick Morley, presidente da empresa Bedford Associates e conhecido como "o pai do PLC", que mais tarde formou a empresa *Modular Digital Controller* (MODICON), desenvolveu vários dispositivos eletrônicos com o objetivo de substituir todos os sistemas compostos por relés. Apesar do vasto conhecimento adquirido, Morley encontrou alguns problemas nas máquinas e protótipos construídos no que diz respeito à memória e à velocidade de processamento. Relativamente à limitação de memória, uma vez que apresentava apenas 125 palavras de memória, esta rapidamente se esgotava e não permitia o controlo de sistemas de grandes complexidades e dimensões. Ao final de algum tempo, e após a realização de vários protótipos, Morley desenvolveu o 84º protótipo e destacou-o como o primeiro PLC industrial à venda, designado por Modicon 084, em 1969. Este foi o primeiro passo para a substituição de um conjunto de relés por um PLC. Em 1973, e uma vez que ainda eram encontradas várias imperfeições, Michael Greenberg introduziu um novo PLC no mercado, o PLC MODICON 184 [6]. Este foi o que impulsionou um maior número de vendas por parte dos clientes e o que permitiu a muitas empresas automatizarem os seus processos de forma flexível, rápida e independentemente da sua complexidade. Na Figura 2.1a é apresentado o protótipo de um PLC lançado para o mercado pela empresa MODICON. Na Figura 2.1b está representado o PLC desenvolvido por Michael Greenberg em 1973.

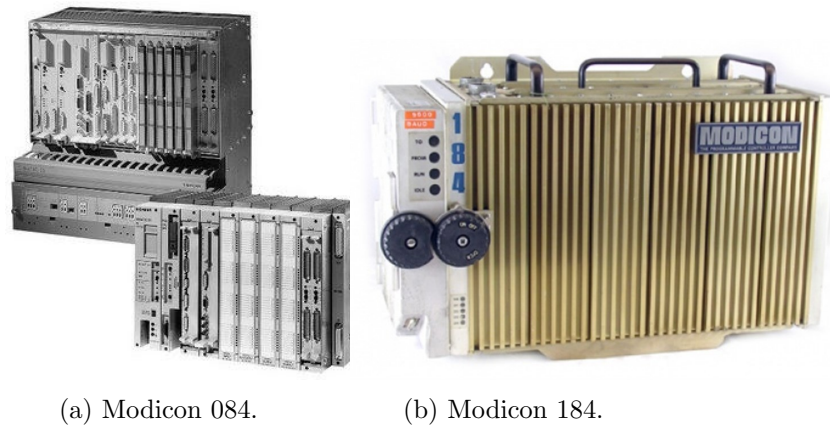


Figura 2.1: PLC projetado e desenvolvido por Dick Morley e Michael Greenberg (adaptado de [5] [4]).

2.1.1 O PLC, hardware e software

2.1.1.1 O conceito

O PLC, representado na Figura 2.2, é o dispositivo mais utilizado hoje em dia nas indústrias para controlar e monitorizar os processos industriais. É definido

como uns computadores em miniatura baseados em microprocessadores que contêm um *hardware* e um *software* que são utilizados para realizar funções de controlo [4].



Figura 2.2: Autómato programável.

Diz-se que um PLC é muito semelhante a um computador, uma vez que a sua arquitetura ainda se encaixa na Arquitetura de Von Neumann. A unidade central de processamento, do inglês *Central Processing Unit* (CPU), recebe a informação através de uma unidade de entrada de dados, sendo posteriormente realizada a programação. De seguida, são atualizadas as variáveis de saída, resultado do processamento efetuado, ficando guardadas em memória. Como mencionado, o aparecimento do PLC veio colmatar as dificuldades encontradas em automatizar quando se utilizava relés e, conseqüentemente, os excessos de cablagem. Como resultado, o PLC mostrou possuir várias vantagens [7]:

- **fácil programação e configuração:** a programação e configuração do PLC é simples. A linguagem de programação vulgarmente utilizada é o *ladder* que é de fácil aprendizagem. A configuração é também acessível, uma vez o *software* e o manual do fabricante do dispositivo possuem todo o conteúdo explícito;
- **alta resistência e fácil manutenção:** uma vez que o autómato permite automatizar tarefas em diferentes ambientes, este é um equipamento robusto e resistente, sendo capaz de trabalhar em ambientes com ar poluído, ruidosos, com grandes variações de temperatura e vibrações;
- **reduzido preço:** o PLC foi desenvolvido para substituir o uso de relés nos sistemas, ficando mais barato;

- **capacidade de controlo à distância:** uma vez que o PLC é implementado nos mais diversos ambientes, torna-se por vezes perigoso o controlo ou o seu acesso. Desta forma, o PLC é desenvolvido de forma a poder ser acedido remotamente, permitindo efetuar alterações e acompanhar o seu desempenho;
- **maior versatilidade:** dado que a linguagem de programação é de fácil aprendizagem, as alterações às máquinas tornam-se simples de realizar, permitindo rapidamente colocá-las em funcionamento;
- **maior confiabilidade:** uma vez realizada a programação no *software* do fabricante, o programa resultante é transferido para o autómato, ficando armazenado em memória. A partir deste momento, este fica a trabalhar independentemente da ação do Homem ou de qualquer dispositivo.

Posto isto, o PLC surgiu para reduzir os custos da produção e permitir uma maior flexibilidade e controlo sobre a gestão da empresa, uma vez que tudo é automático e o risco de ocorrer imprevistos é reduzido.

2.1.1.2 Constituição e funcionamento do PLC

Apesar de existirem vários fabricantes de autómatos, como a Siemens, Schneider e Omron, o princípio de funcionamento e a sua constituição são idênticos. Vários fabricantes implementaram a sua família de PLC, possibilitando-os de ter diferentes características, como a memória, protocolos de comunicação, velocidades de leitura e processamento dos programas, tornando-os específicos para determinadas aplicações. Como é possível observar na Figura 2.3, na generalidade, os autómatos são constituídos por uma CPU, uma unidade de entradas e saídas, uma fonte de alimentação e uma unidade de memória.

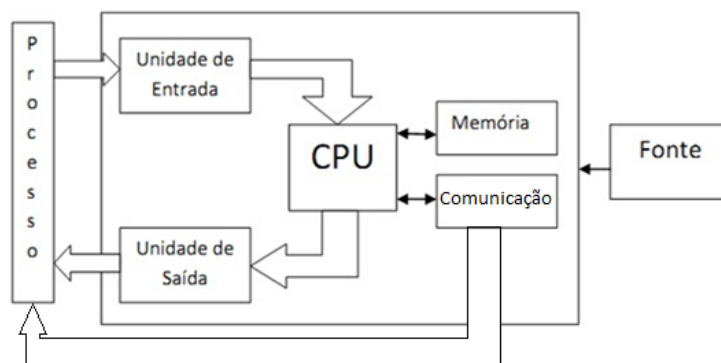


Figura 2.3: Constituição de um autómato programável.

O princípio de funcionamento é muito simples e resume-se ao esquematizado na Figura 2.4. A CPU vai buscar à memória do sistema operativo as instruções a seguir, iniciando a leitura das variáveis de entrada através dos dispositivos que estão ligados aos terminais de entrada. Caso exista tensão no terminal, as variáveis são convertidas para o valor lógico "1", caso contrário, são convertidas para o valor lógico "0". Posteriormente o microprocessador executa o programa com a informação recolhida. Chegado ao final do programa, são realizados os pedidos de comunicação com os dispositivos externos e é realizado um autodiagnóstico à CPU, verificando se está tudo no seu correto funcionamento. De seguida, os dispositivos presentes no terreno recebem os valores atualizados das variáveis de saída.

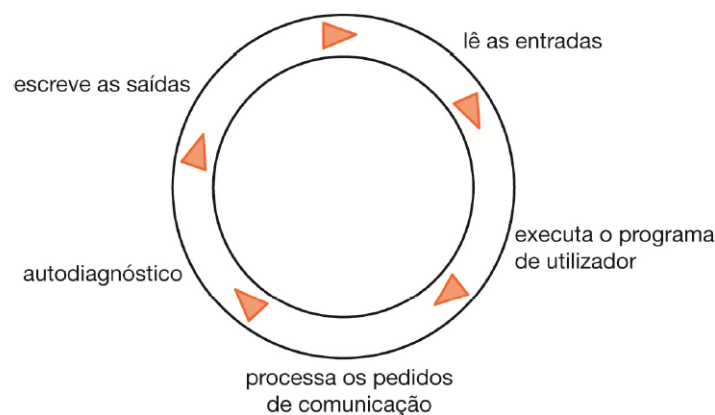


Figura 2.4: Ciclo de funcionamento da CPU.

O autómato possui quatro modos de operação:

- **programação:** a CPU encontra-se num estado em que está a ser utilizada para efeitos de programação, estando ligada a um computador. Através deste e com recurso ao *software* do fabricante, o programador desenvolve o código que pretende para a otimização do processo. Após esta fase concluída, é realizado o *download* para o autómato que fica assim preparado para iniciar em modo RUN;
- **run:** neste modo o PLC está operacional. Começa o varrimento pela verificação do sistema operativo, seguido da leitura do estado das entradas, processamento da lógica de controlo desenvolvida, terminando com a atualização das variáveis de saída. Neste modo, o PLC pode continuamente comunicar com os periféricos a ele endereçados, por exemplo, a HMI, motores, robôs, entre outros. No caso do computador estar conectado ao PLC, é possível visualizar o estado da atuação e da leitura das variáveis no *software* do fabricante em tempo real;

- **stop:** neste estado o microprocessador encontra-se parado, sem ler o estado das entradas e sem fazer qualquer tipo de processamento ou atuação das variáveis de saída. Neste modo não é possível fazer o *download* do programa a partir do computador;
- **reset:** é utilizado para restaurar as condições iniciais da operação, ou seja, as variáveis de saída e as variáveis internas do código são colocadas a zero. Após a colocação em modo RUN, o autômato inicia o programa.

2.1.1.3 Linguagens de programação

Existem diversos tipos de linguagem de programação de autômatos, sendo estas muitas vezes alvo de discussão pelos programadores no momento da adoção de qual a melhor a ser utilizada. Para programar os autômatos existem linguagens do tipo gráfico e de texto estruturado, ambas padronizadas na norma IEC 61131. As linguagens gráficas são de mais fácil compreensão e aprendizagem e, por isso, quase consideradas como linguagens universais. Uma vez que o programa vai estar nas mãos do cliente, é importante que ele perceba o código para, caso necessário, fazer alteração de variáveis ou condições. O texto estruturado, é uma linguagem de alto nível e já requer algum conhecimento. O uso desta facilita muitas vezes alguns cálculos, condições ou até a programação de alguns processos, simplificando o código e tornando-o mais rápido e eficaz aos olhos dos programadores. Sendo uma linguagem padrão, o código desenvolvido pode ser facilmente copiado e introduzido noutra família de PLC.

Dentro da linguagem textual, encontram-se as duas seguintes [8]:

- **Instruction List (IL):** conhecida em português como lista de instruções, é uma linguagem de baixo nível e semelhante ao *assembly*, ou seja, a programação é realizada diretamente no microprocessador. É vantajoso utilizar em pequenas aplicações ou para otimizações de aplicações complexas;
- **Structured Text (ST)**[9]: o texto estruturado, como é conhecido em português, é um tipo de linguagem de alto nível, estruturado em blocos e com uma programação muito parecida ao Pascal. É utilizada para procedimentos complexos que não sejam fáceis de se implementar com a linguagem do tipo gráfico. Este tipo recorre a condições como "*if-then-else*", "*while*", "*for*", tornando uma programação simples e moderna.

A linguagem gráfica é baseada em blocos e é muito parecida à lógica elétrica, encontrando-se dividida em três tipos [8]:

- **Ladder Diagram (LD):** a linguagem ladder tem analogia com os circuitos elétricos, tornando-se assim numa linguagem básica e de fácil compreensão.

Nesta programação, as linhas verticais representam a tensão ou, por outras palavras, a alimentação dos blocos e dos contactos. Cada degrau de código representa uma operação no controlo do processo e inicia-se com a leitura de uma entrada ou variável interna, terminando na ativação de uma saída. Apesar deste tipo de linguagem ser a mais utilizada, esta possui algumas desvantagens, pois em processos complexos, a programação pode tornar-se complicada e demorada;

- **Function Block Diagram (FBD)**[10]: este tipo de linguagem, também designada por diagrama de blocos funcionais, permite ao programador utilizar os blocos pré-programados (por exemplo, contadores e temporizadores), e desenvolver os seus próprios, permitindo assim a troca de dados e sinais entre blocos. O FBD surgiu de forma a colocar funções escritas com muitas linhas de código em blocos;
- **Sequential Function Chart (SFC)**: linguagem conhecida como Grafcet, que utiliza etapas, transições e ações, transformando os sistemas complexos em modelos de gráficos compactos. Por ser uma linguagem que permite a descrição de ações sequenciais, é definida como a ideal na programação de processos sequenciais.

2.1.2 Robótica industrial

A robótica veio substituir o trabalho árduo e perigoso que alguns seres humanos estavam a executar colocando a própria vida em risco. Um estudo realizado nos Estados Unidos em 2009, o "Roadmap for US Robotics", mostra que ao longo dos últimos 50 anos os robôs têm sido utilizados maioritariamente para fornecer precisão e rendimento particular para tarefas repetitivas, tais como soldadura, pintura e trabalho de produção de alto volume e perigoso [11].

2.1.2.1 Definição de robô e a evolução da robótica industrial

Na literatura não existe uma definição oficial do termo robô, no entanto, segundo a *Robotics Industry Association* (RIA) pode ser definido como um manipulador reprogramável e multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para desempenhar uma variedade de tarefas [12].

O primeiro robô industrial foi projetado e desenvolvido pela empresa norte americana Unimation Inc, por George Devol e Joseph Engelberger e designado por Unimate (ver Figura 2.5). Este robô foi programado através de um computador e, inicialmente usado para fins comerciais. O Unimate tinha como função retirar peças de metal fundidas sob pressão de uma máquina de fundição e realizar

soldagens em peças de automóveis. Este robô serviu assim de exemplo para os robôs industriais que se seguiram.

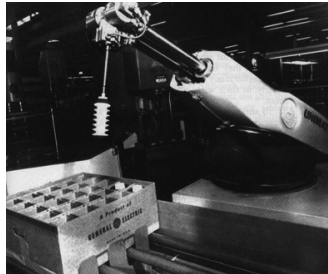


Figura 2.5: Robô Unimate [13].

Em 1974 foi produzido pela empresa Cincinatti Millacron o primeiro robô industrial com sensores designado de T3, da sigla The Tomorrow Tool, sendo posteriormente comercializado em 1978. Alguns anos após, a divisão de robótica da empresa foi comprada pela ABB, que mantém ainda esta linha de produtos, os robôs manipuladores. O robô Stanford Arm, criado e projetado por Victor Scheinman em 1969, foi o primeiro protótipo de robôs acionados por motores elétricos e controlados por computadores. Mais tarde, este deu origem ao robô Puma da Unimation Inc. Após o desenvolvimento dos robôs industriais, começaram a desenvolver-se outros tipos de robôs para outras aplicações. Após um longo estudo desde 1980, a Honda lançou em 2000 o robô humanoide designado de "Asimo" (Advanced Step in Innovative Mobility)(ver Figura 2.6). Asimo foi idealizado para um ambiente doméstico e tinha a capacidade de locomoção e sentidos, como a visão, tato e comunicar através de sinais de voz. Após o seu lançamento, Asimo passou por sete atualizações ao longo dos anos, sendo a última intervenção realizada em 2011, inculindo-lhe a capacidade de segurar objetos, abrir portas, tirar obstáculos do caminho e saltar. Dado que esta é uma área em constante avanço, em simultâneo com o aparecimento de novas tecnologias, prevê-se para uma data próxima o lançamento de um humanoide para acompanhamento hospitalar, tendo este o comportamento de uma enfermeira [14].



Figura 2.6: Robô Asimo lançado pela Honda [14].

Os manipuladores industriais tradicionais possuem a limitação de não poderem operar fora de uma vedação de segurança, pois podem colocar a vida do ser humano em risco caso os seus movimentos sejam interstetados por uma pessoa. Assim, com o estudo contínuo nesta área, foram desenvolvidos os robôs colaborativos que permitem trabalhar em conformidade com o ser humano e não possuem qualquer tipo de vedação entre ambos. Estes possuem em cada eixo sensores de pressão que, após sentirem uma determinada pressão num eixo acima da pressão de segurança, param o seu movimento, não necessitando assim de uma "jaula" de segurança. Este tipo de robôs foi a mais recente inovação na área da robótica e pode ser aplicado nas mais variadíssimas funções, como inspeção visual e testes de materiais com recurso a câmaras, carga e descarga, embalagem, entre outros.

2.1.2.2 Constituição do robô

Sendo o robô uma máquina complexa, este é subdividido em várias partes que, no seu todo, permitem o bom funcionamento do mesmo.

Um manipulador robótico é constituído por uma estrutura mecânica, pelos atuadores, atuador final, controlador e a interface que serve de programação ao mesmo, a consola. A estrutura mecânica subdivide-se, sendo caracterizada por uma base que o sustenta, pelos elos, juntas e punho.

- **elos:** os elos correspondem às estruturas rígidas que compõem o braço mecânico e que se movimentam relativamente a outros elos. Estes estão sempre interligados através de juntas (Figura 2.7).

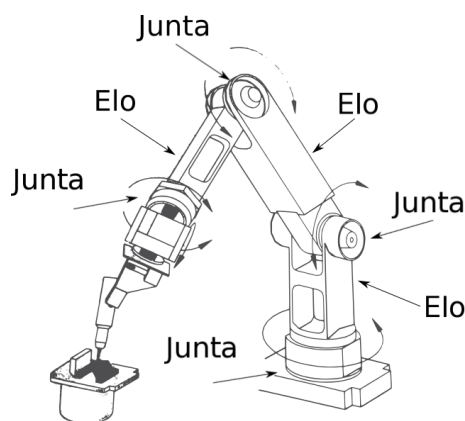


Figura 2.7: Elos do robô [15].

Dependendo do movimento dos elos, o robô pode ser classificado quanto à estrutura cinemática que apresenta:

- paralela: os elos estão ligados de forma paralela e possuem, normalmente, de 3 a 6 graus de liberdade. Os robôs deste tipo possuem sempre duas plataformas, sendo uma delas fixa e outra móvel. Na Figura 2.8a é apresentado o robô Delta da ABB, com cinemática paralela e três graus de liberdade;
- série: os robôs deste tipo possuem elos que são ligados por juntas em série, sendo assim designados por robôs série. Os robôs seguem uma sequência de elos e juntas que se iniciam na base e terminam no atuador final. Na Figura 2.8b está representado um robô com cinemática série.



Figura 2.8: Robôs classificados consoante a sua estrutura cinemática [16].

- **juntas:** fazem a ligação de dois ou mais elos de forma a permitir que estes se movimentem, proporcionando vários graus de liberdade. Dependendo do movimento dos elos, as juntas podem classificar-se em:
 - juntas cíclicas ou do tipo C: formadas por dois elos que giram entre si. Um elo encontra-se dentro do outro, permitindo ao elo interior realizar o movimento de torção e o prismático;
 - juntas prismáticas/lineares ou do tipo P: permitem o deslizamento entre dois elos;
 - juntas rotacionais ou do tipo R: caracterizadas por permitirem que um ou dois elos executem um movimento rotacional entre si. Esta rotação é realizada sobre o eixo de rotação da própria junta;
 - juntas esféricas ou do tipo S: constituídas por duas superfícies esféricas congruentes. Uma superfície monta-se no interior da outra, permitindo uma rotação em qualquer direção a partir do centro da esfera.

Dependendo dos tipos de junta utilizados, o robô pode ser classificado em:

- robô cartesiano (PPP) ou linear: é constituído por três juntas do tipo prismático, formando entre os elos ângulos de 90° [17]. É utilizado em diversas aplicações como na paletização, no armazenamento de objetos em armazéns verticais, manipulação de cargas e em aplicações como fresadoras. Na Figura 2.9 é apresentada a configuração e o volume de trabalho em forma de paralelepípedo que este robô possui;

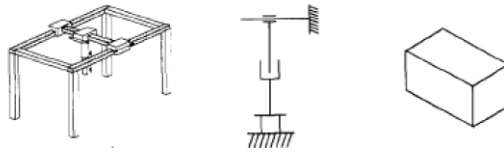


Figura 2.9: Estrutura cartesiana [18].

- robô cilíndrico (RPP): é composto por uma junta rotacional e duas prismáticas, resultando numa área de trabalho cilíndrica maior comparativamente aos manipuladores cartesianos. Este tipo de robô é implementado para executar funções de manuseamento, montagem ou soldagem por pontos. Na Figura 2.10 é apresentada a estrutura deste tipo de robô e o seu volume de trabalho;

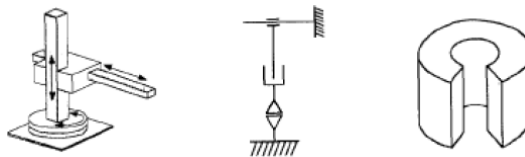


Figura 2.10: Estrutura cilíndrica [18].

- robô SCARA (RRP): possui duas juntas rotacionais articuladas horizontalmente e uma junta prismática, ocupando uma área de trabalho cilíndrica e reduzida, como representada na Figura 2.11. Dado que possui vantagens como a elevada velocidade de trabalho, precisão, repetibilidade e manobrabilidade, este pode ser aplicado em tarefas de montagem;

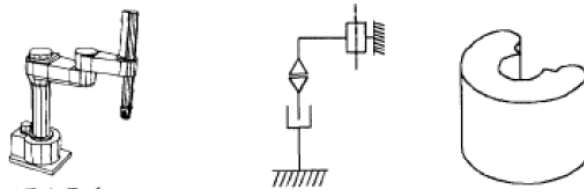


Figura 2.11: Estrutura do robô SCARA [18].

- robô esférico ou polar (RRP): possui duas juntas rotacionais e uma prismática, apresentando uma área de trabalho esférica. Este robô possui uma elevada precisão e repetibilidade de trabalho, o que garante a sua aplicação em trabalhos como soldadura. O volume de trabalho e a estrutura deste tipo de robô estão representados na Figura 2.12;

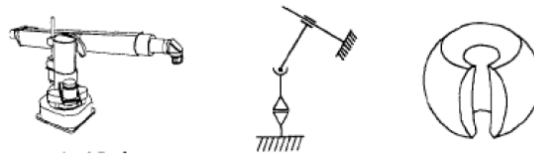


Figura 2.12: Estrutura robô do tipo esférico [18].

- robô articulado (RRR): composto exclusivamente por três juntas rotacionais, apresentando uma área de trabalho superior aos anteriormente referidos. Dada a sua grande manobrabilidade e facilidade em contornar obstáculos e, uma vez que possui um grande volume e velocidade de trabalho, este robô pode ser aplicado nas indústrias para realizar trabalhos como a pintura, soldadura e movimentação de cargas. Na Figura 2.13 é apresentada a estrutura articulada deste tipo de robô e o seu volume de trabalho. Dentro desta gama, existem ainda os robôs constituídos por dois braços, sendo estes comparados ao ser humano. São utilizados para diminuir o tempo de ciclo das operações, uma vez que utilizam dois braços.

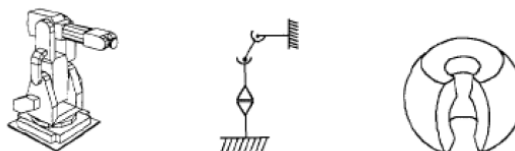


Figura 2.13: Estrutura articulada do robô [18].

- **punho:** parte constituinte do robô que se encontra na sua extremidade (Figura 2.14). Serve de ligação entre o último elo e o atuador final. Permite orientá-lo de variadas maneiras, sendo para isso utilizadas normalmente juntas esféricas. O punho possui a configuração "yaw-pitch-roll" (XYZ), sendo o *yaw*, a rotação do punho em torno do eixo do "X", fazendo o movimento para a esquerda e para a direita; *pitch*, a rotação para cima e para baixo através do eixo do "Y" e, *roll*, a rotação em torno do braço no eixo do "Z";

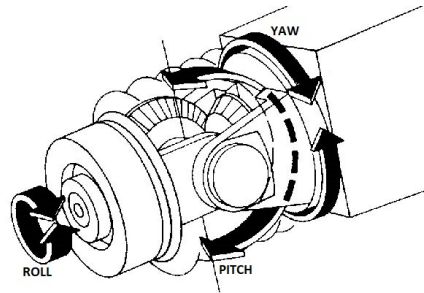


Figura 2.14: Punho do braço robótico (adaptado de [19]).

- **manipulador:** conjunto de estruturas ligadas por juntas, formando cadeias cinemáticas que definem a estrutura mecânica. Muitas vezes utiliza-se formalmente a palavra "robô" e "manipulador" como tendo o mesmo significado, no entanto não é totalmente correto. Na Figura 2.15 é apresentado o manipulador robótico mais parecido a um braço do ser humano, o manipulador articulado;



Figura 2.15: Manipulador robótico (adaptado de [19]).

- **atuadores:** são utilizados para movimentar a estrutura mecânica dos manipuladores de forma a executarem as funções para que foram programados. Os robôs podem ser movimentados através de três tipos de atuações: hidráulica, pneumática e elétrica.

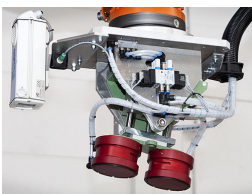
Os atuadores hidráulicos utilizam a energia fornecida por um motor elétrico que bombeia os fluídos de forma a provocar o movimento dos elos do manipulador. Os cilindros e motores hidráulicos são controlados através de servo-válvulas que são ativadas e desativadas eletricamente.

Os atuadores pneumáticos utilizam um sistema de ar comprimido, permitindo assim a movimentação do manipulador. É um sistema de fácil controlo e utilização e apresenta baixos custos.

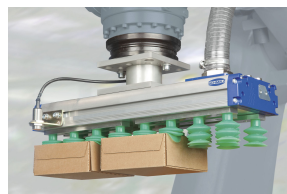
Os atuadores elétricos utilizam motores que produzem o movimento dos manipuladores alimentados por energia elétrica. Sob o ponto de vista industrial, os motores mais utilizados são os servo motores de corrente alternada, uma vez que não utilizam escovas, são bastantes simples ao nível da sua estrutura, apresentam bons desempenhos e baixos custos;

- **atuadores finais:** são dispositivos que são instalados no punho do manipulador, tornando-o capaz de realizar diversas tarefas. Existem dois grupos distintos de atuadores finais: as garras e as ferramentas.

As garras são dispositivos que permitem pegar e manipular objetos dentro do volume de trabalho do manipulador. Para diferentes aplicações e materiais, existem vários tipos de garras: mecânicas, vácuo, magnéticas, adesivas e de mecânica simples. As garras mecânicas são geralmente constituídas por dois ou mais dedos/pinças, que permitem agarrar nos materiais. As magnéticas são utilizadas para fazer manuseamento de materiais ferrosos, especialmente quando estes estão sob a forma de chapas ou placas metálicas. As garras de vácuo ou de sucção são bastantes simples e flexíveis e são vulgarmente utilizadas para manusear objetos planos, lisos e limpos. As garras adesivas são aplicadas para manipular materiais como têxteis e outros que não podem ser manipulados através de garras magnéticas ou de sucção. Existe ainda outro tipo de garras com uma aplicabilidade muito reduzida, como as garras de agulhas, insufláveis ou diafragma, eletroadesão, com tecnologia de *jammimg*, entre outras [20]. Na Figura 2.16 são apresentados três tipos de garras que foram acima referidas.



(a) Garra Magnética [21].



(b) Garra de vácuo [22].



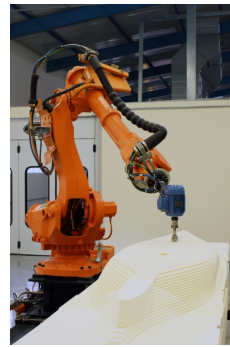
(c) Garra mecânica [20].

Figura 2.16: Tipos de garras que tornam os robôs versáteis.

As ferramentas são utilizadas para realizar trabalho sobre uma peça sem a necessidade de a pegar. Estas podem ser simples, como uma tocha de soldadura ou pistola de pintura, ou mais complexas e personalizadas de forma a permitir a realização de funções específicas para determinadas aplicações. Na Figura 2.17 são apresentadas duas ferramentas que podem ser instaladas no punho do manipulador;



(a) Tocha de soldadura [23].



(b) Ferramenta de rebarbagem [24].

Figura 2.17: Ferramenta para robôs.

- **sensores:** são utilizados para fornecer dados necessários para o correto e seguro funcionamento do robô. Para tal, este dispõe de dois grupos de sensores, os internos e os externos. Os primeiros obtêm valores de velocidade, posição e aceleração das juntas através da utilização de codificadores óticos. Os sensores externos são instalados ao redor do robô e permitem ler e, através da lógica programada, realizar as funções pretendidas. Existem diversos tipos de sensores [25]:
 - proximidade: possuem uma saída binária que indica a presença de um objeto a uma distância pré-definida. Os sensores indutivos são exemplos deste tipo e permitem detetar a presença de materiais metálicos;
 - fim de curso: após os materiais atingirem o ponto onde estes sensores são instalados, estes são acionados e alteram o estado lógico da saída, enviando um sinal digital para o robô;
 - fotoelétrico: permite detetar através de um feixe de luz, quando existe material na interseção do sensor. Na ausência do feixe refletido, o estado de saída é alterado e enviado para o dispositivo mestre.
- **controlador:** é um dispositivo baseado num microcomputador que controla o movimento do manipulador. A partir do controlador e das cartas de entradas e saídas, é possível ler e atuar variáveis de saída de acordo com a lógica desenvolvida. O controlador do robô permite comunicar com

computadores e outros tipos de máquinas e dispositivos industriais, possibilitando a troca de sinais com facilidade. Resumidamente, o funcionamento do controlador passa por três etapas distintas: tratamento dos dados recolhidos pelos sensores; decidir e coordenar as tarefas que permitem ao manipulador realizar as movimentações; e, por fim, a troca de informações entre o robô e os dispositivos envolventes. A consola, também designada por *teach pendant*, possibilita a programação do robô, assim como o seu controlo e acesso à memória. Na Figura 2.18 é apresentado um controlador e respetiva consola do fabricante Fanuc.



Figura 2.18: Controlador e respetiva consola (adaptado de [26]).

2.1.2.3 Programação do robô

A programação de robôs pode ser realizada de duas maneiras e com diferentes tipos de linguagens. O programa desenvolvido é armazenado na memória do controlador que, posteriormente, processa e executa os movimentos e funções pretendidas. A programação reside em dois métodos possíveis: *online* e *offline*.

A programação *online* é simples, rápida e pode ser usada em aplicações como a pintura ou para programar de forma eficaz trajetórias complexas. O código é desenvolvido com recurso ao controlador, não possibilitando, durante a programação, o funcionamento em modo automático. Existem dois tipos de programação *online*, a automática e a manual. No primeiro tipo, através da consola, o manipulador é movido para os pontos desejados e são alteradas e gravadas em memória as suas características, como velocidade e tipo de trajetória. Posteriormente, o controlador realiza o processamento do código desenvolvido e executa a sequência de pontos com as instruções definidas. O modo manual consiste num operador que, através do movimento manual do punho do robô, ensina a trajetória que pretende que este realize. Através da utilização da consola é necessário configurar as velocidades das trajetórias entre os pontos e outras parametrizações.

A programação *offline* consiste na realização de simulações em formato digital ou desenvolvimento de código. Através de *software* de simulação, é possível passar o ambiente em formato 2D/3D da célula e programar as funções e movimentos que se pretende que o robô venha a realizar. Através da simulação é possível visualizar

singularidades, velocidades, colisões e verificar os alcances dos robôs. De seguida, é enviado o programa para o controlador que corre o programa. Apesar de este processo ser mais demorado e trabalhoso, é mais rápido no cliente, uma vez que a programação já vem preparada. A programação do robô através de linguagens de programação, consiste na criação de um documento de texto com as operações que o robô deve de realizar. Em suma, o tipo de programação *offline* é considerada a mais correta, uma vez que não obriga a passar tanto tempo no cliente e o robô encontra-se ocupado a realizar outras tarefas enquanto se está a realizar a programação.

2.1.3 Comunicação industrial

Nos sistemas industriais complexos e de grandes dimensões, a comunicação com os equipamentos tornou-se um problema para a área da automação. A rede *fieldbus* foi a impulsionadora da comunicação entre máquinas. Segundo o estudo anual do mercado de redes industriais da HMS Networks, para o ano 2019, preve-se que a rede *Ethernet Industrial* e *Wireless* mantenham um elevado crescimento e será marcado o declínio da rede *fieldbus*. Perante a análise do gráfico representado na Figura 2.19, com uma taxa de crescimento de 20%, a *Ethernet Industrial* representa atualmente 59% dos novos nós instalados (53% comparativamente ao ano anterior), enquanto que a *fieldbus* apresenta apenas 35%. Com 15% do mercado mundial, a rede EtherNet/IP é a mais amplamente utilizada (representando 15% do mercado), seguindo-se a *profinet* com 14% [27].

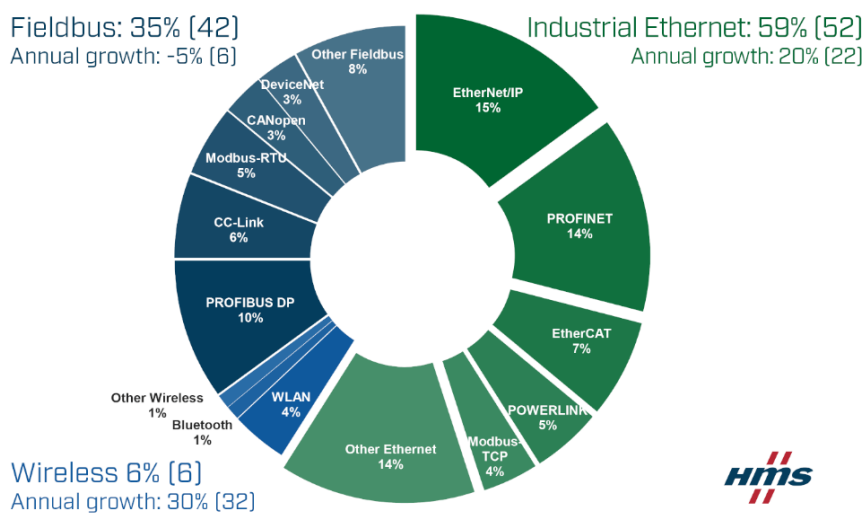


Figura 2.19: Estudo do mercado das redes industriais para o ano 2019 [27].

2.1.3.1 Protocolos de comunicação

Como já analisado na subsecção 2.1.3, existem vários tipos de protocolos de comunicação dentro de uma rede. Estes definem um conjunto de regras que indicam como é que a comunicação deve de ser realizada e encriptada, permitindo aos dispositivos envolvidos na rede perceberem e realizarem troca de dados com sucesso.

O protocolo *profibus* é o principal sistema de comunicação industrial utilizado dentro da rede *fieldbus*. Este define muitos perfis de aplicação para dispositivos específicos e para diferentes indústrias, como é exemplo, o ProfDrive - protocolo utilizado nos variadores de velocidade - e o Profisafe, usado em aplicações de segurança. Esta rede é caracterizada por uma velocidade de transmissão compreendida entre 9,6 kb/s e 12 Mb/s.

O Modbus, desenvolvido pela empresa Modicon, e gerido atualmente, pela Modbus User Organizations, é um protocolo posicionado no nível sete do modelo *Open System Interconnection* (OSI) e utiliza a comunicação do tipo cliente/servidor. É um protocolo de pedido/resposta, onde o dispositivo que solicita a informação é denominado de mestre e os que enviam a resposta são denominados de escravos.

O protocolo DeviceNet foi desenvolvido pela Rockwell Automation. Este apresenta velocidades de transmissão entre 125 e 500 kbit/s, no entanto, apesar de um valor relativamente baixo, este é eficiente na troca de dados com dispositivos como variadores de velocidade, sensores, relés, entre outros. O protocolo DeviceNet integra todas as entradas e saídas numa rede composta por quatro fios, sendo dois de alimentação 24 V e dois de dados. Uma rede pode conter até 64 dispositivos, onde cada um ocupa um nó da rede com endereços compreendidos entre 0 e 63. Qualquer um destes pode ser utilizado, com exceção do 63 que deve ser reservado para outros fins. Esta rede utiliza um protocolo denominado de *Common Industrial Protocol* (CIP) que é orientado a objetos.

Ethernet/IP é um protocolo aberto e, tal como o DeviceNet e ControlNet, utiliza o protocolo CIP. Permite a troca de informação entre dispositivos sem que seja necessário *hardware* personalizado para o processo. EtherNet/IP é construído sobre o padrão TCP/IP, e faz uso das sete camadas do modelo OSI. Uma vez que utiliza a camada física da Ethernet, torna-se mais fácil fazer troca de dados entre os dispositivos do terreno (sensores, atuadores, eletroválvulas) e os servidores e controladores de rede. As velocidades de transmissão podem ser de 10, 100 e 1000 Mbit/s, tornando a troca de dados bastante rápida em modo *full-duplex*.

O protocolo CANopen foi criado pela empresa Bosch com o objetivo de ser implementado na indústria automóvel, sendo atualmente utilizado também em equipamentos médicos e transportes públicos. Os dispositivos presentes na rede, e que utilizam este protocolo, têm todos livre acesso e a prioridade do identificador de 11 bits é a responsável por resolver problemas de conflito quando ocorrem

acessos simultâneos ao barramento. A rede CANopen possui um mestre, responsável por gerir a rede e também um conjunto de até 127 dispositivos escravos (nós). Todo o escravo presente na rede possui um endereço próprio e único e pode variar entre 1 e 127. Este protocolo possui uma taxa de transmissão com valores compreendidos entre 10 kbits/s e 1 Mbits/s. Dado que é baseado no protocolo CAN, a trama de informação trocada entre dispositivos tem por base o padrão representado na Figura 2.20 [28].

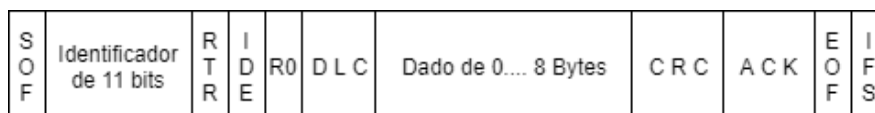


Figura 2.20: Trama de dados do protocolo CANopen [28].

O protocolo de comunicação Profinet foi desenvolvido pela Siemens e pela Organização de Utilizadores Profibus. Este tem como padrão a Ethernet e utiliza as normas TCP/IP, complementando-as com protocolos e mecanismos específicos para um bom desempenho em tempo real. Este protocolo possui uma velocidade de transmissão de 100 Mbit/s.

Existem dois tipos de protocolos Profinet: Profinet IO e Profinet CBA. O primeiro é utilizado em aplicações em tempo real (rápidas) e o segundo em aplicações onde o tempo não é crítico. O Profinet possui três modelos distintos de operação: *Non Real Time* (NRT), *Real Time* (RT) e *Isochronous Real Time* (IRT) [29] [30].

2.2 Quadro elétrico e componentes

O Quadro Elétrico (QE) é o componente mais importante de um sistema elétrico de uma célula, máquina ou edifício. Aqui estão localizadas todas as proteções dos dispositivos que se encontram a jusante, assim como os periféricos que servem de controlo ao sistema.

Nesta secção é realizada uma breve explicação da constituição do quadro elétrico e uma abordagem explicativa das funcionalidades dos dispositivos utilizados para efeitos de segurança e controlo.

2.2.1 Constituição de um QE

O QE é constituído por um armário que pode ser de várias dimensões e formas e pela respetiva platina. Sobre a calha *Deutsches Institut für Normung* (DIN) instalada na platina, são colocados os dispositivos de proteção como disjuntores, diferenciais, barramento de alimentação, periféricos de controlo, entre outros.

As calhas rasgadas são utilizadas para fazer a passagem de cabos de potência, controlo e de comunicação.

Por princípio, e devido a efeitos eletromagnéticos, os cabos e os dispositivos de potência que transportam e utilizam a tensão trifásica são separados dos cabos e equipamentos de controlo com tensão de 24 V. Os ruídos eletromagnéticos intensificam-se quando existe um aglomerado de cabos com grandes distâncias e corrente. De forma a diminuir estas interferências nas comunicações, deve-se separar os cabos de potência dos de controlo. A escolha da secção do cabo que transporta a corrente é crucial para a proteção e diminuição do efeito eletromagnético. Existem valores tabelados das secções de cabos recomendados para a corrente máxima permitida [31].

2.2.2 Elementos de proteção

Os dispositivos de proteção dimensionados e instalados no quadro elétrico seguem uma ordem de ligação de forma a cortar e proteger os equipamentos a jusante e garantir o correto funcionamento das máquinas e a proteção do ser humano. De seguida são explicados os dispositivos de proteção utilizados numa instalação elétrica de um QE.

- **interruptor geral:** é o primeiro dispositivo de uma instalação elétrica e permite fazer a ponte entre a eletricidade da fábrica e a alimentação da célula. Possui apenas dois estados possíveis: fechado ou aberto, permitindo ou não a passagem de corrente até aos dispositivos instalados a jusante. Dependendo do tipo de tensão de funcionamento dos equipamentos, estes podem ser de dois pólos (com alimentação monofásica), de três polos (com três fases) ou de quatro polos (com três fases mais neutro).

O dimensionamento da capacidade de corrente máxima que o interruptor permite seccionar tem de ser calculada através da soma da corrente nominal de todos os dispositivos e, posteriormente, utilizar um fator multiplicativo de 1,5 ou 1,7. Este valor permite dar uma margem de segurança ao interruptor de forma a permitir o funcionamento normal dos equipamentos sem os danificar.

- **interruptor diferencial [32]:** este dispositivo faz a proteção diferencial e é utilizado após o interruptor geral. O interruptor permite fazer a proteção do ser humano através da verificação da corrente de fuga no sistema. O seu princípio de funcionamento baseia-se na comparação entre duas correntes e "dispara" ou atua quando a diferença entre ambas excede um valor pré-definido. Este tipo de dispositivo é normalmente utilizado em conjunto com disjuntores magnetotérmicos que permitem proteger os equipamentos contra curto-circuitos ou sobrecargas. A sensibilidade do interruptor é a

corrente de fuga máxima que faz com que os dispositivos disparem. Quanto menor for a corrente, e conseqüentemente a sensibilidade, melhor o sistema se encontra protegido. Caso exista uma passagem à terra de um valor de corrente superior ao valor de corrente máxima de fuga do interruptor, este dispara. Os valores típicos de corrente de fuga encontram-se no intervalo de 30 mA a 300 mA.

- **disjuntor magnetotérmico:** são dispositivos de proteção utilizados para proteger os equipamentos do terreno contra curto-circuitos e sobrecargas. O dimensionamento da capacidade de proteção é estabelecido através do produto da corrente nominal do equipamento com o fator de segurança compreendido entre 1,5 e 1,7. Os equipamentos de proteção como os disjuntores apresentam as curvas de disparo regulamentadas pela norma ABNT NBR NM60898 [33], que identificam três tipos de curvas: tipo B, C e D. Cada curva determina o tipo e o tempo de disparo da proteção. Na Figura 2.21 está representado um gráfico que permite visualizar as curvas B, C e D dos disjuntores de proteção. No eixo dos YY está representado o tempo de disparo do disjuntor em função da corrente nominal, no eixo dos XX.

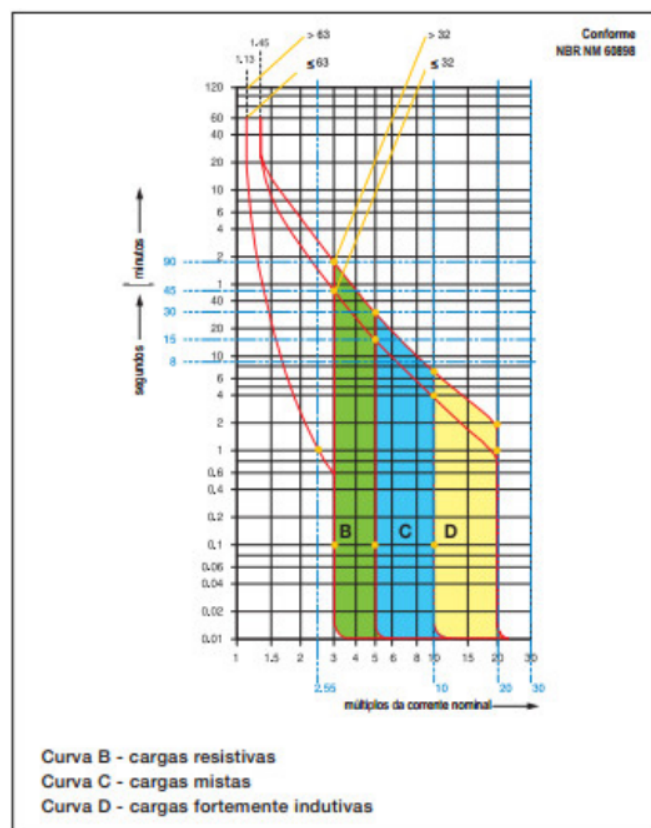


Figura 2.21: Curvas do tipo B, C e D dos disjuntores [34].

- **fusível:** é um dispositivo de proteção utilizado nos sistemas elétricos e protege os equipamentos contra sobrecorrentes. Quando existe um curto circuito ou sobrecarga no circuito elétrico, o fusível queima-se e interrompe a passagem de energia a jusante. Este tipo de dispositivo é utilizado para proteger circuitos como as *motherboards* e circuitos elétricos dos quadros.

Para além dos dispositivos de proteção dos equipamentos, os quadros elétricos utilizam outros acessórios que permitem o correto funcionamento e conservação. São exemplos:

- **termóstato:** permite manter a temperatura de um sistema constante dentro de valores estabelecidos através de uma regulação automática. Após ser detetado uma temperatura fora do intervalo definido, é acionado, por exemplo, uma ventoinha, que permite fazer a entrada e/ou saída de ar do sistema alvo de controlo. Por norma, os equipamentos que produzem mais calor devem ser colocados na parte superior do quadro, de forma a não sujeitar os restantes a elevadas temperaturas. Para fazer a circulação do ar, deve de ser instalada uma ventoinha na parte inferior do quadro. Na zona lateral superior, pode ser instalada uma caixa de saída de ar ou, caso o quadro utilize equipamentos que produzam muito calor, é necessário uma ventoinha extratora de ar.
- **sinalização:** a utilização de sinalizadores luminosos na porta dos quadros é cada vez mais utilizada pelos projetistas. A luz *Light Emitting Diode* (LED) de sinalização deve ser periodicamente testada, uma vez que pode estar danificada e, conseqüentemente, dar a entender que o quadro não está a ser alimentado. A utilização da torre luminosa e buzina são equipamentos que permitem clarificar aos trabalhadores se a máquina ou célula se encontra parada, desligada ou em processo contínuo. Para além da sinalização e do interruptor geral colocados na porta do QE, é usual acrescentar uma HMI, botões de operação que permitem pausar a máquina, limpar todas as variáveis, entre outras funcionalidades. Todos os botões, interruptores e sinalizações devem ser devidamente sinalizados.
- **iluminação:** alguns quadros possuem uma luz no quadro, no entanto, a sua instalação é opcional. Esta é usualmente instalada no teto e é accionada após a abertura da porta do quadro ou quando é detetado movimento.

2.3 Sensores para controlo e automação de processos

No estudo e controlo de processos industriais é necessário conhecer as condições do sistema e obter os valores das variáveis físicas do ambiente a ser monitorizado.

Os sensores podem ser aplicados na indústria para medir distâncias, temperaturas, detetar obstáculos, movimentos, entre muitas outras funcionalidades. O sinal de saída dos sensores pode ser de dois tipos: digital ou analógico. Os sinais digitais possuem um *output* discreto com dois estados possíveis, ligado (ON) ou desligado (OFF). Os sinais analógicos apresentam à saída um sinal em tensão ou corrente que, depois de manipulados, representam um intervalo de valores possíveis, sendo assim designados de sensores contínuos. Os sensores podem ser Normalmente Aberto (NA) ou Normalmente Fechado (NF) e do tipo PNP ou NPN. Na Figura 2.22 são apresentadas as configurações dos dois tipos de ligação existentes: PNP e NPN. Pela análise da figura, se o sensor for do tipo PNP (Figura 2.22a), o sinal de saída do sensor é positivo, sendo a carga (PLC) ligada entre o sinal e o negativo. Se for do tipo NPN (Figura 2.22b), a saída obtém um sinal negativo e a carga é ligada entre o sinal e o positivo.

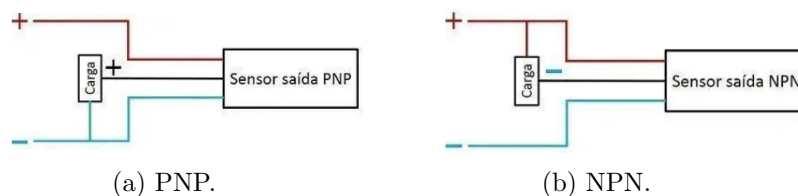


Figura 2.22: Ligação dos sensores do tipo PNP e NPN [35].

Existem vários tipos de sensores que podem ser utilizados na indústria para conhecer e controlar o meio, de forma a poder tornar o processo automático com recurso a robôs, PLC ou outro tipo de microprocessador. O reconhecimento do ambiente pode ser realizado recorrendo ao uso de sensores indutivos, magnéticos, sensores óticos, eletroválvulas, entre muitos outros. De seguida, serão explicados os principais tipos de sensores utilizados e os seus princípios de funcionamento.

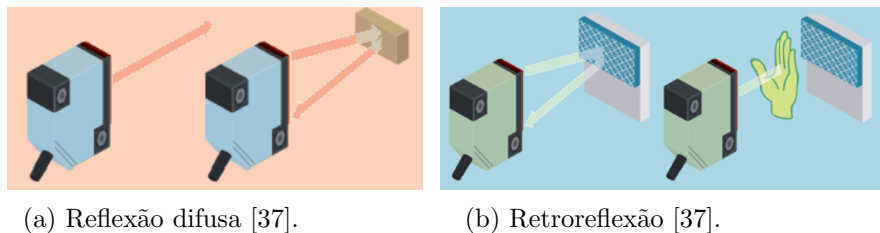
- **sensor magnético:** sensor que é ativo após detetar a presença de um campo magnético produzido por um íman. Este tem a capacidade de detetar a presença de materiais a uma distância próxima dos milímetros. Aplicam-se mais usualmente nos cilindros pneumáticos para indicar a posição da sua haste. O cilindro internamente possui uma haste com íman na sua extremidade e, externamente, dois sensores magnéticos nas duas extremidades. O cilindro quando acionado, faz chegar a sua haste aos extremos, fazendo chegar o íman junto dos sensores magnéticos. Por sua vez, estes detetam o campo magnético e enviam um sinal para o dispositivo mestre, indicando a posição relativa da haste. Na Figura 2.23 é demonstrado uma exemplo prático usualmente utilizado nas indústrias para indicar a posição da haste do cilindro.



Figura 2.23: Cilindro pneumático com dois sensores magnéticos [36].

- **sensor ótico:** sensor que funciona através da emissão de um feixe LED que é recebido por um foto-detector que deteta ou não a presença de luz. Existem três tipos de sensores óticos: por reflexão difusa, por retro-reflexão e de barreira direta. No primeiro caso, o emissor e o recetor estão localizados no mesmo dispositivo. O princípio de funcionamento consiste na emissão de um feixe luminoso pelo sensor e pela respetiva reflexão no material. Este tipo de dispositivo é utilizado em aplicações em que não seja possível colocar um espelho refletor. No entanto, uma vez que a reflexão é realizada pelo material, é necessário alguma precaução pois pode haver materiais em que não seja possível a reflexão do feixe. Na Figura 2.24a é apresentado o princípio de funcionamento do sensor ótico por reflexão difusa.

No segundo caso, trata-se de um dispositivo emissor que emite um feixe luminoso, sendo este refletido por um espelho refletor. Enquanto não existe passagem de material, o feixe está continuamente a ser refletido. Após a passagem de um material, o feixe deixa de ser refletido e é accionado o sensor. Dependendo do tipo de configuração NA ou NF, o sensor transmite a informação ao dispositivo mestre que recebe e faz o seu processamento. Na Figura 2.24b está demonstrado o princípio de funcionamento dos sensores fotoelétricos com reflexão através de espelho.



(a) Reflexão difusa [37].

(b) Retroreflexão [37].

Figura 2.24: Princípio de funcionamento dos sensores óticos por reflexão difusa e retroreflexão.

Os sensores de barreira direta são caracterizados por um emissor e um recetor localizados em dispositivos diferentes. Os sensores devem ser colocados frente a frente de forma que o emissor faça a emissão de luz e o recetor

consiga receber. Como é possível visualizar pela análise da Figura 2.25, quando não existe nenhum objeto a intersestar o feixe luminoso, o recetor apresenta a saída inativa. Quando um objeto interrompe o feixe, o recetor deixa de receber e é alterado o estado de saída do sensor.

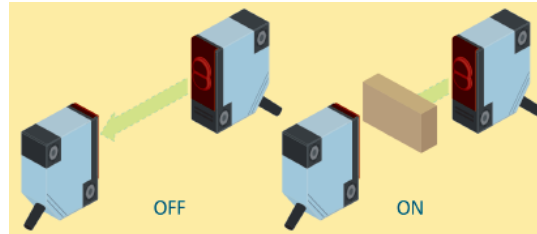
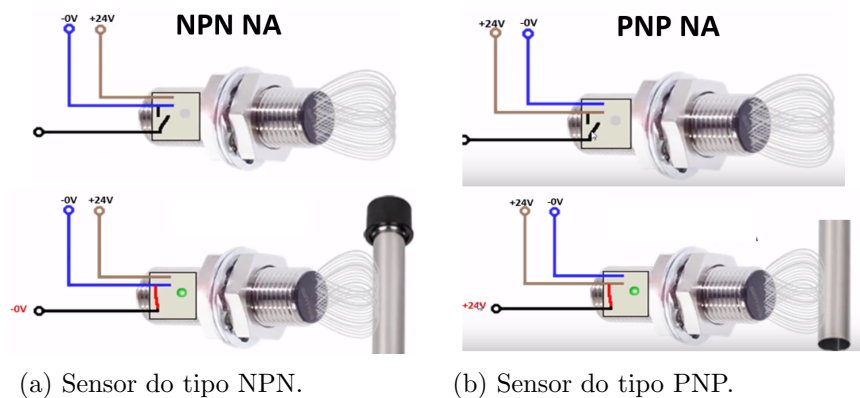


Figura 2.25: Princípio de funcionamento do sensor óptico de barreira direta [37].

- **sensores indutivos:** detetam a proximidade de materiais metálicos numa distância definida pelo sensor. Dependendo da distância de deteção, existe um conjunto diversificado de sensores deste tipo. O seu princípio de funcionamento baseia-se na geração de um campo eletromagnético, através de uma bobina, que diminui com a presença de um metal. Esta diminuição faz atuar o disparo do sensor e atuar a saída. Na Figura 2.26 é possível visualizar o funcionamento do sensor indutivo do tipo NA e no modo NPN (Figura 2.26a) e PNP (Figura 2.26b).



(a) Sensor do tipo NPN.

(b) Sensor do tipo PNP.

Figura 2.26: Sensor indutivo (NA) do tipo NPN e PNP no momento antes e após a aproximação do objeto metálico [38].

Na Figura 2.27 é apresentado o comportamento de um sensor indutivo do tipo NF com funcionamento PNP e NPN. Como é possível visualizar na Figura 2.27a, na ausência de material metálico próximo do sensor indutivo, este apresenta o contacto normalmente fechado, enviando um sinal de 0 V. Com a presença da barra metálica junto do campo magnético do sensor, é

alterado o estado do contacto e é circula uma corrente no sentido da carga para o sensor. O procedimento para o sensor do tipo PNP, representado na Figura 2.27b é semelhante, alterando apenas o estado e as condições iniciais do contacto.

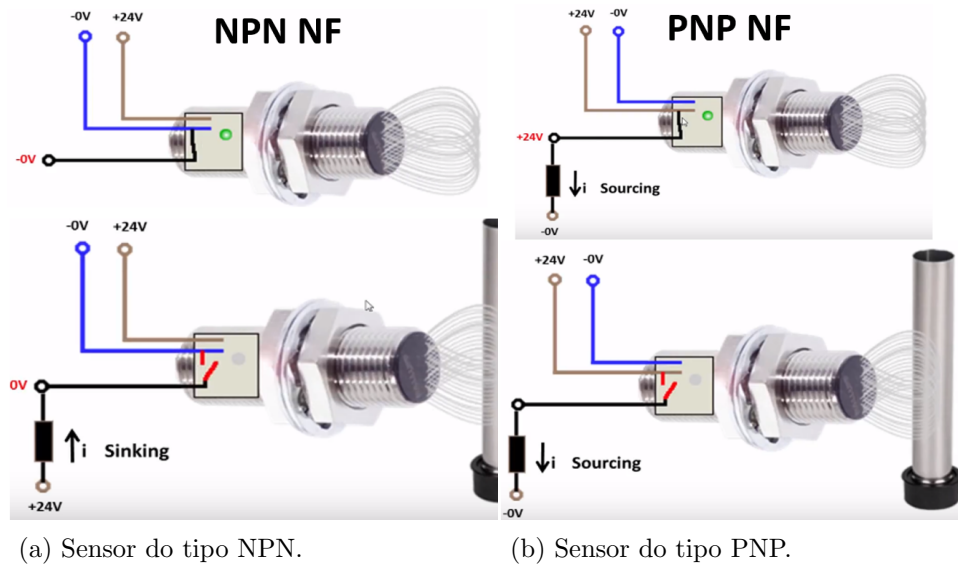


Figura 2.27: Sensor indutivo (NF) do tipo NPN e PNP no momento antes e após a aproximação do objeto metálico [38].

- **encoders:** é um transdutor que converte um movimento linear ou angular em sinais digitais para determinar a posição, velocidade, direção e aceleração. Estes podem ser aplicados nos eixos dos robôs, mesas rotativas, no controlo de velocidade e posição de motores elétricos. Existem dois tipos de *encoders*: incrementais e absolutos.

O *encoder* incremental consiste na utilização de uma régua linear (*encoder* linear) ou um disco rotativo (*encoder* rotativo) constituído por dois tipos de setores desfasados. Os sensores óticos são utilizados para fazer a leitura do *encoder* através de setores translúcidos e opacos ou refletivos e não refletivos. Em ambos os casos, os dispositivos de leitura são realizados por uma fonte emissora LED e um detetor de luz, como um *Light Dependent Resistor* (LDR).

Na Figura 2.28a é demonstrado um *encoder* incremental ótico rotativo constituído com setores translúcidos e opacos. Como é visível, foram utilizados um emissor e um recetor em posições opostas, sendo separados por um disco rotativo. Na Figura 2.28b é apresentado um esquema do *encoder* ótico incremental linear com setores refletivos e não refletivos. Neste caso, o emissor e o recetor estão localizados do mesmo lado.

Um *encoder* incremental necessita sempre de dois canais desfasados de 90° , que são obtidos através do posicionamento dos dispositivos de leitura e dos elementos móveis. Dado que são incrementais, este tipo de *encoder* possui alguns inconvenientes pois, dependendo das aplicações, tende a "deslizar" e a incrementar, apresentando no fim um *offset* relativamente à sua posição real. Para corrigir esta situação, é necessário fazer o "reset" das variáveis de forma a limpar os valores das variáveis. Os ambientes onde estes são colocados podem dificultar o seu correto funcionamento pois, no caso dos sensores óticos, podem apresentar sujidade entre o emissor e o recetor, prejudicando assim a contagem do pulso. O funcionamento deste tipo de *encoder* é apresentado com mais detalhe na referência [39].

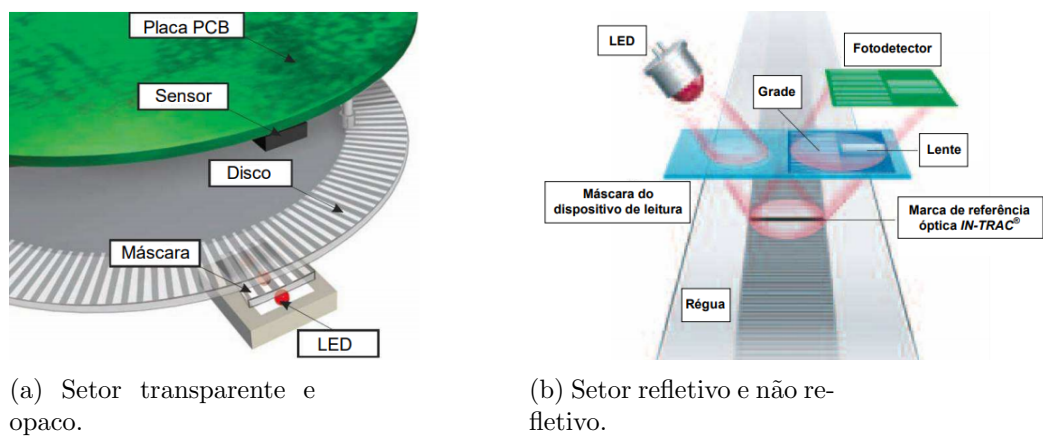


Figura 2.28: Esquema de *encoder* ótico incremental com dois tipos de setores [39].

Os *encoders* absolutos surgiram para colmatar os problemas encontrados pelos incrementais. Ao contrário dos incrementais, os absolutos na ausência de eletricidade não perdem a posição atual. Existem dois tipos de *encoder* absoluto: rotativo e linear. O primeiro é formado por um disco que apresenta um código gravado e formado por dois tipos de regiões contendo uma propriedade diferente que os diferencia. A cada região é associado um valor em binário "0" ou "1". Este código pode ser lido sob a forma elétrica, magnética ou por sensores óticos. No disco podem ser gravados diferentes tipos de código, como binário e o *Binary Coded Decimal* (BCD). O *encoder* absoluto linear apenas difere do rotativo na forma como é constituída a placa onde é gravado o código, pois esta é semelhante a uma régua.

Na Figura 2.29 é apresentado o conceito de *encoder* absoluto. Como é possível analisar, existe uma fonte emissora de luz que incide sobre o disco rasurado e, no lado da sombra do disco, vários recetores luminosos dispostos de forma radial a fazer a leitura do código codificado.

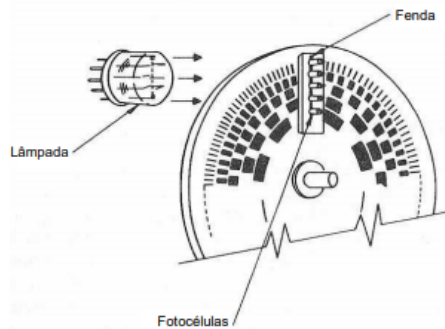


Figura 2.29: Princípio de funcionamento do *encoder* óptico absoluto [39].

2.4 Segurança industrial

A segurança no mundo industrial é algo que se deve preservar e promover de forma a diminuir cada vez mais o número de acidentes que acontecem ao longo dos anos. Segundo a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA), a cada três minutos e meio morre uma pessoa na União Europeia devido a causas relacionadas com o trabalho. Estes números significativos originaram em maio de 2006 a Diretiva Máquina 2006/42/CE que permitiu determinar os requisitos para a integração da segurança aquando da conceção e fabrico de máquinas, bem como na sua instalação e manutenção [40]. Para avaliar os riscos das máquinas e para a criação de sistemas de segurança para protegerem o operador dos riscos de operação das mesmas, o *Comité Europeu de Normalização* (CEN) e CENELEC publicaram normas que definem os termos técnicos indicados na diretiva.

Quando se constrói uma máquina é necessário identificar e eliminar todos os riscos possíveis aos quais os utilizadores estão expostos. Para tal, foram criadas normas que permitem classificar as máquinas em categorias de segurança. A norma EN 954-1, que atualmente não se encontra em vigor, permitia fazer a avaliação da frequência dos riscos, das gravidades das lesões, assim como da análise das probabilidades de fugas. As normas IEC 62061 e EN ISO 13849-1 encontram-se atualmente em vigor, formalizando as normas de segurança para a utilização e criação de máquinas, assim como para a proteção do ser humano. A norma EN 62061 estabelece um requisito de Nível de Integridade de Segurança (SIL), através de um valor que indica a probabilidade de falhas perigosas por hora, para cada função relacionada. A estimativa de risco é realizada consoante a gravidade da lesão (S), frequência e duração da exposição ao perigo (F), probabilidade de ocorrência de perigo (W) e da possibilidade de evitar ou limitar o dano (P) [41].

O nível de integridade de segurança é definido com base na Tabela 2.1. A

classe K definida na imagem é calculada pela soma dos parâmetros acima definidos ($K = F + W + P$).

Gravidade (S)	Classe (K) 3 – 4	Classe (K) 5 – 7	Classe (K) 8 – 10	Classe (K) 11 – 13	Classe (K) 14 – 15
4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
3		(AM)*	SIL 1	SIL 2	SIL 3
2			(OM)	SIL 1	SIL 2
1				(OM)	SIL 1

Tabela 2.1: Classificação do SIL [41].

A norma EN ISO 13849 define um nível de desempenho de segurança denominado de *Performance Level* (PL), representado pelas letras A, B, C, D ou E. Quanto maior o risco que a máquina representa para o ser humano, melhor deve ser o controlo dos sensores e sistemas de segurança. O PL define a contribuição dos sistemas de segurança para a máquina em concreto, sendo ao nível "A" estabelecido um baixo risco e ao nível "E" um risco elevado. O PL é estabelecido de acordo com as três variáveis alvo de estudo: gravidade da lesão (S), frequência e/ou duração da exposição ao perigo (F) e a possibilidade para evitar o perigo (P) [42].

Na Figura 2.30 é apresentado graficamente como é determinado o nível PL após realizada a avaliação perante as condições anteriormente referidas. A análise é realizada da seguinte forma: se a probabilidade de a máquina causar raramente (F1) um ferimento ligeiro (S1) e for possível evitar o perigo (P1), então esta apresenta um risco baixo.

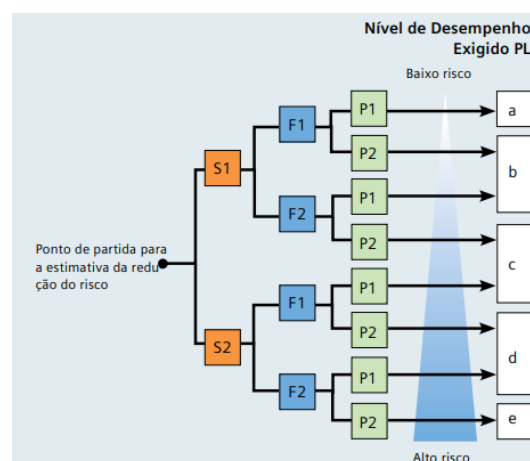


Figura 2.30: Classificação do PL [43].

No caso da utilização dos robôs, existem também um conjunto de regras e princípios que valorizam a segurança do ser humano, as normas ANSI/RIA/ISO. Grande percentagem de acidentes que acontecem com os robôs estão associados a erros de programação e manutenção, entrada não autorizada na área segura, falhas mecânicas e falhas na segurança. De forma a evitar uma grande parte dos acidentes, deve-se ter em conta três regras que se consideram ser as fundamentais da segurança da robótica:

- se o robô não se encontrar em movimento, não se deve assumir que não se irá mexer;
- se o robô executar um padrão de movimentos, não se deve assumir que o continuará a executar de forma repetitiva;
- deve-se manter o respeito pelo robô e pelo que pode vir a fazer.

Os acidentes que acontecem com os robôs nas indústrias ocorrem com mais frequência nas fases de programação, testes, arranque e em reparações e manutenções. No momento da programação *online* e testes, o robô deve ser manipulado a baixa velocidade de modo a garantir a segurança do programador e do meio envolvente. Após esta fase procede-se à realização de testes a baixa velocidade para verificar e garantir que não surgem problemas. O arranque da célula é realizado com a consola na mão e com recurso à função "hold to run" associada ao botão "dead man jog". Nesta fase, as proteções como portas, barreiras e circuito de segurança devem estar em correto funcionamento de forma a garantir a paragem dos robôs e máquinas perante um movimento não desejado do ser humano ou das máquinas. Na fase de manutenção e reparação, o robô deve permanecer desligado e garantir que não é ligado por outra pessoa. O robô deve ser movimentado manualmente através da consola e a baixa velocidade.

De forma a diminuir o número de acidentes são tomadas medidas de proteção passivas e ativas. As passivas correspondem ao conjunto de regras que definem a segurança para evitar os acidentes. Como é exemplo a marcação das zonas de perigo eminente, definição das zonas de segurança e das zonas de trabalho, a proibição da entrada para dentro da célula com roupas largas ou acessórios que possam ficar presos em qualquer parte do robô ou componente, como também o uso de equipamento de proteção adequado. Este tipo de medidas promovem também a formação das pessoas que vão trabalhar com o robô e a sua montagem nas posições indicadas e previamente marcadas. As medidas ativas são destinadas a limitar os efeitos e consequências dos acidentes quando as medidas passivas não conseguem evitar. São implementadas na fase de projeto e são exemplo o circuito de paragem de emergência, pré-fixação das saídas, sistemas para impedir o acesso não autorizado às áreas de trabalho dos robôs, entre outros.

2.4.1 Dispositivos de proteção para segurança

Na subsecção 2.2.2 foram referidos os elementos de proteção de segurança para proteger os dispositivos e as pessoas contra choques, sobrecargas e curto-circuitos. Nesta subsecção são abordados os elementos de proteção que garantem a segurança das pessoas enquanto as máquinas e robôs estão a operar. Para tal, são utilizados um conjunto diversificado de equipamentos e circuitos de proteção que permitem prevenir o risco de acidentes no trabalho. As vedações das zonas de trabalho dos robôs e das máquinas perigosas são o principal método de segurança a implementar num projeto de automação. Estas podem ser de vidro ou de rede, dependendo da aplicação a que são submetidas. O número de entradas na célula deve ser o menor possível, de forma a facilitar o circuito e as condições de segurança.

Na Figura 2.31 são apresentados os vários dispositivos de segurança que podem ser implementados num projeto industrial, protegendo o ser humano dos possíveis acidentes. Com a numeração 1 e 2 são apresentadas as barreiras de segurança com *muting* e a barreira com reflexão em canto, respetivamente. Os *scanners* de proteção (3 e 4) e os tapetes de segurança (5) são utilizados para fazer a deteção de pessoas. Para detetar a tentativa de entrada dentro da célula, são utilizadas as fechaduras de segurança (6) e os sensores de *laser* utilizado para a deteção de mãos (7). A borda de segurança (8) é instalada em peças móveis de máquinas e são utilizadas para fazer a paragem segura após a deteção de pressão.

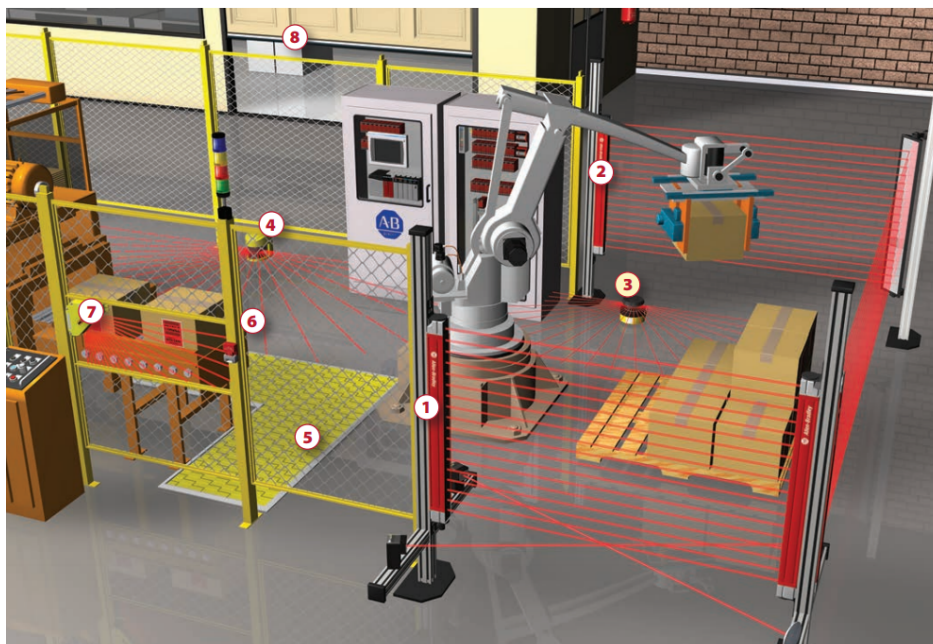
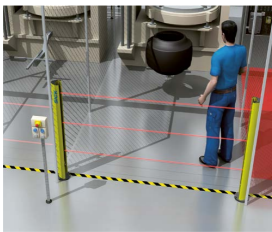
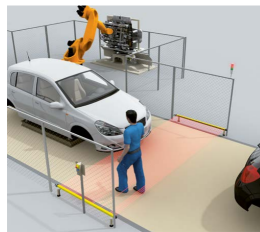


Figura 2.31: Dispositivos de segurança [44].

As barreiras de segurança, representadas na Figura 2.31 com a numeração "1" e "2", são utilizadas para impedir a passagem não autorizada de pessoas e objetos para dentro da área considerada perigosa. Dependendo das aplicações, estas podem variar de acordo com a sua resolução, sendo as que possuem menor valor caracterizadas por uma maior quantidade de feixes e por um menor espaçamento entre eles. Na Figura 2.32 são apresentados três tipos de barreiras: vertical e horizontal - implementadas para a detecção de pessoas e objetos de grandes dimensões; e a barreira com resolução de proteção de dedos ou mãos, utilizada nas máquinas que possuem uma reduzida área de trabalho.



(a) Barreira vertical.



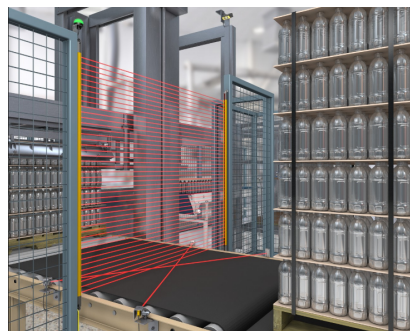
(b) Barreira horizontal.



(c) Barreira de mãos.

Figura 2.32: Diferentes tipos de barreira [44].

As barreiras de *muting* implementadas em determinadas aplicações permitem a detecção de pessoas, no entanto, permitem a passagem de material sem interromper o funcionamento automático da célula. Na Figura 2.33 é representado um sistema de saída de paletes com material, onde está implementado este tipo de barreira. Quando a paleta corta o primeiro sensor fotoelétrico, inicia o bloqueio da barreira através da inibição dos feixes. Após a saída do material pela última fotocélula, a barreira volta a rearmar mantendo-se em segurança. A segurança da barreira é configurável, uma vez que é necessário programar o tempo estimado que o material demora a atravessar a barreira. Caso pare a meio, ou os tempos de passagem do material estejam incorretos, a barreira considera que foi quebrada por outro corpo/material e entra em alarme.

Figura 2.33: Barreira com *muting* [45].

Os dispositivos representados pelo número "5" na Figura 2.31 são designados por tapetes de segurança sensíveis à pressão. Este tipo de proteção é utilizado junto às máquinas e, através de sensores de pressão, ajuda a detetar a presença de pessoas dentro da zona de trabalho interdita. Este tipo de dispositivos não são dos mais utilizados, no entanto permitem um elevado grau de segurança aquando implementado nas células automáticas. O dispositivo de segurança representado pelo número "7" na Figura 2.31, é um sensor de segurança que permite a deteção de mãos a um ponto de acesso perigoso. É um sensor de segurança refletivo que cria um plano de deteção em aberturas de diversos tamanhos e formatos.

A fechadura de segurança, referenciada na Figura 2.31 com a numeração "6", permite a proibição de entrada dentro da área protegida através da fechadura implementada na porta. Esta é instalada na porta e pode ser magnética, de dobradiça, atuada através da tecnologia RFID, programáveis, entre outras, dependendo do fabricante. As fechaduras são os dispositivos mais importantes de segurança, uma vez que é pela porta que existe maior vulnerabilidade de a pessoa entrar e correr perigo. As fechaduras possuem ainda uma manete de segurança por dentro, designada por escape de segurança que é utilizado para destrancar a porta a partir do interior da célula.

Na Figura 2.34 são representados dois tipos de fechaduras do fabricante Allen Bradley, sendo que na Figura 2.34a é apresentada uma fechadura de caixa programável com botões mais a emergência e na Figura 2.34b é demonstrada uma fechadura magnética do tipo lingueta.



(a) Fechadura programável [46].



(b) Fechadura magnética [47]

Figura 2.34: Fechaduras de segurança utilizadas em projetos de automação.

As botoneiras de emergência individuais são normalmente colocadas junto de entradas e saídas de materiais, de forma a auxiliar o ser humano em caso de acidente. Este tipo de dispositivo é utilizado em série com os restantes contactos de emergência, sendo criadas áreas de emergência: caso um botão seja pressionado, pode ser parado um conjunto de equipamentos dentro de uma certa área de trabalho onde um incidente aconteceu, no entanto, os restantes de outras áreas de trabalho podem continuar a operar. Na Figura 2.35 é representada uma caixa com botão de emergência que é colocado na entrada e saída de materiais e que

se encontra também implementado nas caixas de fechaduras referidas no ponto anterior.



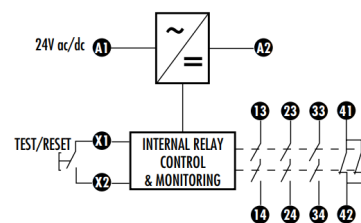
Figura 2.35: Caixa com botão de emergência [48].

Os relés e o PLC de segurança são equipamentos que fazem a supervisão de circuitos que garantem a segurança do equipamento/sistema e do operador. São projetados para atender às mais atualizadas normas de segurança, sempre com o objetivo de obter o máximo de eficiência e confiabilidade num só produto. São utilizados para monitorizar os dispositivos dependendo das condições de entrada. Por outras palavras, estes permitem fazer a desabilitação dos equipamentos como máquinas, robôs e motores através da análise dos dispositivos de entrada como as portas de proteção, botões de emergência, barreiras de luz, tapetes de segurança, entre outros.

Existem diversos tipos de relés consoante a aplicação a que são sujeitos e o número de dispositivos que têm de controlar, sendo para tal utilizados relés de vários canais com contactos normalmente abertos e alguns normalmente fechados. Na Figura 2.36a é apresentado um relé da família Allen Bradley com três contactos NO (13-14, 23-24, 33-34) e um contacto NF (41-42). Os contactos NF são utilizados vulgarmente para dar o *feedback* ao dispositivo controlador de que o respetivo relé se encontra desarmado. Os contactos normalmente abertos, quando atracados permitem a passagem de corrente para os dispositivos fazendo a sua ativação. Os terminais X1 e X2, servem para fazer o *reset* do relé após este ter sido desarmado. Na Figura 2.36b é apresentado o esquema elétrico do relé de segurança apresentado.



(a) Relé [49].



(b) Circuito do relé [50].

Figura 2.36: Exemplo de um relé da família Allen Bradley e o respetivo circuito.

Capítulo 3

Robótica de paletização

A área da robótica está cada vez mais presente nas nossas vidas, sendo aplicada de uma forma progressiva nas indústrias com o objetivo inerente de encontrarem baixos custos de produção, alto rendimento e para melhorar a qualidade de vida do ser humano em algumas aplicações a que estavam submetidos. Os vários fabricantes de robôs desenvolvem diferentes tipos de robôs para as mais diversas aplicações, tornando-os versáteis. Com isto em vista, são fabricados robôs com diferentes capacidades de carga, número de eixos, velocidades, quanto à estrutura, entre outros.

A robótica pode ser aplicada nas mais diversas áreas, como na medicina, através de robôs fisioterapeutas utilizados para facilitar o processo de recuperação de pessoas com mobilidade reduzida, nos desportos, através dos robôs atuados por cabos que fazem a transmissão de jogos, na indústria, onde desempenha funções de pintura, soldadura, empacotamento, transporte, assim como em aplicações com ambientes diversos, como na desativação de minas, operações de busca e salvamento, pesquisas submarinas, entre outros. No entanto, a aplicação de robôs na indústria é a mais em abundante, uma vez que são os que produzem maior fonte de rendimento e promovem a competição empresarial.

No período das guerras surgiu a necessidade de utilizar as paletes para realizar os transportes de material militar. Com o forte desenvolvimento da época, surgiram as primeiras máquinas empilhadoras que começaram a tornar o processo de transporte bastante simples, eficaz e rápido. Consequentemente, na indústria começaram a adotar este estilo de armazenamento de produto, aumentando a facilidade de organização dentro do veículo transportador.

Paletização é o nome que se dá ao armazenamento e organização de material em cima de paletes, formando torres de grandes dimensões que, futuramente,

são envolvidas por um filme/plástico protetor que permite conceder estabilidade à paleta. Este processo é realizado normalmente no final das linhas, momento em que o produto final através de mão de obra humana ou por processos automáticos, é armazenado em caixotes, paletes ou outro tipo de armazenamento. O trabalho humano neste tipo de aplicação é cansativo, repetitivo e, dependendo do material, pode exigir bastante força humana. A excessiva repetição e o peso do produto, induz com o tempo no ser humano as doenças profissionais, como tendinites e problemas de ossos. A elevada altura das paletes e a velocidade com que é preciso posicionar o produto nas paletes são dois fatores que levam as pessoas a não quererem realizar este tipo de trabalho. As doenças profissionais e a vontade associada para realizar este tipo de trabalho, levam a chefia da empresa a tomar decisões de forma a rentabilizar o trabalho, diminuir a mão de obra nestes locais e utilizar as pessoas para efeitos de gestão, controlo da máquina e da linha que vai realizar o trabalho de paletização. Assim surgem os robôs que fazem a paletização de vários tipos de material, com velocidade superior ao ser humano e com a capacidade de trabalhar dia e noite sem qualquer tipo de paragem. As ferramentas utilizadas acopladas ao punho do robô neste tipo de aplicação são na maioria específicas para cada aplicação, sendo a empresa criadora do projeto a projetar e a desenvolver.

No seguimento deste tópico, são apresentados vários tipos de ferramentas utilizadas neste tipo de aplicação e alguns casos de estudo que permitem explicar as vantagens, por que motivo e o tipo de ferramentas utilizadas em algumas indústrias.

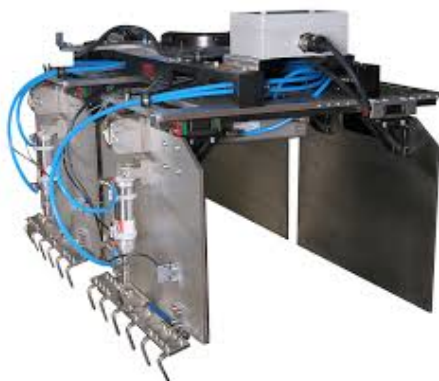
3.1 Tipos de ferramentas

No processo de paletização existe uma vasta quantidade de ferramentas disponibilizadas no mercado por um conjunto diversificado de fabricantes. No entanto, dependendo da função que a equipa criadora do projeto pretende executar, na maior parte dos casos é necessário desenhar/projetar e criar uma ferramenta específica para cada projeto ou célula. Podem ser criadas ferramentas apenas para manusear um tipo de produto, vários produtos, pegar em paletes, em *flyers* para fazer a separação entre camadas, entre muitas outras funcionalidades. As ferramentas mais utilizadas são do tipo *clamp*, *fork* e garra, tendo as ferramentas específicas o mesmo princípio de funcionamento e a mesma ideia que as envolvidas pelos fabricantes; no entanto, permitem mais funções.

As ferramentas do tipo *clamp* são constituídas por dois ou quatro painéis, permitindo pegar no material por duas ou quatro laterais, respetivamente. O princípio de funcionamento deste tipo de ferramenta é através do accionamento pneumático com recurso a cilindros e um pressóstato. Este é utilizado para garantir a pressão máxima requerida para não esmagar o produto e, simultaneamente,

garantir que este não cai por falta de atrito ou por insuficiência de aperto. Em alguns casos, o projetista para garantir que não amassa o material e, ao mesmo tempo, não o deixa cair por falta de atrito, desenha uns garfos na zona inferior da ferramenta, permitindo pegar no material e colocar uma base de sustentação, garantindo segurança. Quando o produto chega à zona de *picking*, o robô aproxima-se e, através da pinça, fecha a ferramenta e faz uma pressão sobre o material. Depois de pegar e levantar, ativa os garfos que esticam e fazem suporte para não deixar cair o material.

Na Figura 3.1 estão representados dois tipos de ferramentas utilizadas para fazer paletizações através de um processo automático com recurso a um robô. Como é possível visualizar na Figura 3.1a, a ferramenta para além das palas laterais utilizadas para pegar em materiais, utiliza também uns garfos pequenos que suportam os produtos por baixo e servem assim de apoio, pois caso não existissem, a probabilidade de estes caírem era elevada. Na Figura 3.1b é apresentada uma ferramenta de paletização que consiste numa espécie de pinça que aperta as embalagens de cartão e as transporta.



(a) Ferramenta com garfos [51].



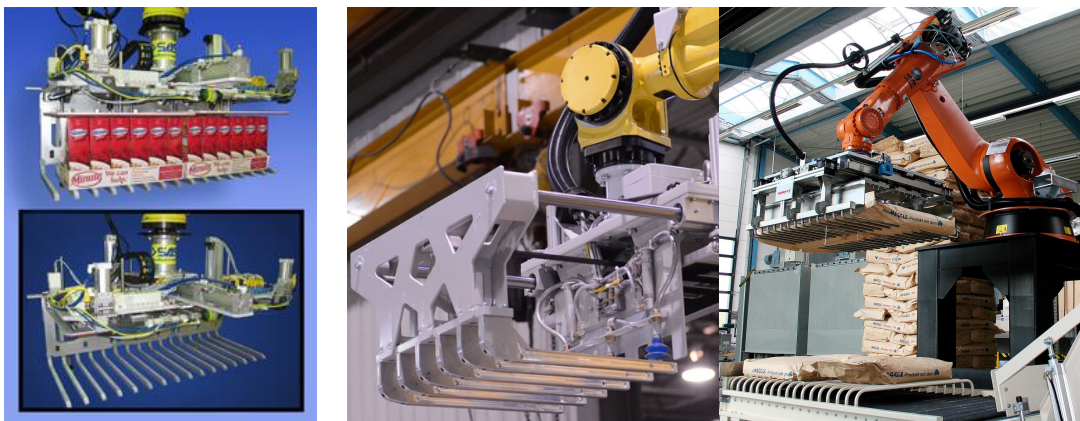
(b) Ferramenta sem garfos [52].

Figura 3.1: Exemplo de ferramentas aplicadas em robôs para paletização.

As ferramentas do tipo *fork* são semelhantes às anteriormente referidas, no entanto possuem uns garfos compridos que servem de apoio aos materiais que possuem características mais fráccidas. Este tipo de ferramenta é bastante eficaz, no entanto possui algumas desvantagens na forma de colocação dos produtos em paletes, uma vez que os garfos podem danificar os materiais já lá colocados ou, por vezes, não deixá-los nos locais corretos. O princípio de funcionamento é muito semelhante ao anteriormente descrito, a única diferença é que possui uns garfos maiores. Em alguns casos, a ferramenta possui uma das laterais fixa e a outra

que contém o garfo móvel, possibilitando a abertura e fecho de forma a pressionar os materiais. Os produtos chegam normalmente até à zona de *picking* onde são posteriormente paletizados pelo robô. Uma vez que este possui uns garfos, existem dois métodos de pegar nos produtos: pelas laterais e e com recurso a um suporte elevatório. No primeiro caso são utilizados transportadores sem proteções laterais ou só com proteção de um lado, permitindo ao robô entrar com a ferramenta pela lateral e com os garfos a passar pelo espaçamento dos rolos. No segundo método são utilizadas umas superfícies elevatórias que elevam o produto, facilitando a entrada dos garfos entre a superfície e os rolos. Este método é utilizado quando a importância das proteções laterais dos transportadores assume um papel fulcral. Na zona de *place* isto é, na zona onde são colocados os produtos nas paletes, no caso da ferramenta com uma lateral fixa e outra móvel, é colocada a parte fixa para o lado de dentro da paleta e a móvel para fora, de forma a poder abrir e deixar o material na melhor posição possível. Nos casos em que possui dois garfos de cada lado, normalmente este tipo de ferramenta é utilizada em aplicações onde os produtos ocupam a paleta inteira, deixando-os na posição correta e só depois tiram os garfos e abrem a ferramenta.

Na Figura 3.2 são apresentados três tipos de ferramentas de paletização do tipo *fork*, que podem ser utilizadas em aplicações onde seja mais fácil o uso de ferramenta de apenas uma lateral com garfos (Figura 3.2a), ou com duas laterais sendo uma delas fixa e outro móvel e com garfo (Figura 3.2b) e, por último, a ferramenta constituída por duas laterais com garfos para pegar em produtos ou conjunto de produtos, como é visível na Figura 3.2c.



(a) Sem lateral [53].

(b) Com lateral [54].

(c) Com dois garfos [55].

Figura 3.2: Exemplo de ferramentas de paletização com/sem laterais e com garfos.

As ferramentas de vácuo constituídas por um conjunto de ventosas permitem pegar no material e manuseá-lo. Neste caso em concreto, são utilizadas para fazer paletizações, sendo de fácil manuseio e não permitindo espaçamento entre

produtos. O princípio de funcionamento das ventosas para pegar no material é por vácuo. Após chegar ao destino, é desligado o vácuo ou, caso necessário, injetado ar na direção oposta. Uma vez que utiliza vácuo no seu funcionamento, este tipo de ferramenta não pode ser aplicável a todo o tipo de produtos, como chapas com furos ou que contenham areias ou óleo. Ferramentas com ventosas possuem a vantagem de não necessitar da localização exata do produto pois o poder de sucção das ventosas faz com que seja possível apanhá-lo e manuseá-lo. As ventosas e o poder de sucção são dimensionados consoante o peso e o tipo de produto alvo de trabalho.

Na Figura 3.3 é apresentada uma ferramenta composta por ventosas aplicada em várias áreas, como na paletização.



Figura 3.3: Ferramenta de ventosas [54].

Exemplo de ferramentas que são a fusão de *fork* e *clamp* são designadas por ferramentas *finger*. São muito semelhantes a uma pinça, no entanto possuem umas palas laterais e uns garfos curvados que permitem pegar nos materiais pela parte superior e, ao mesmo tempo, dar estabilidade ao produto através do apoio na base. O princípio de funcionamento difere da ferramenta *fork*, pois esta pega nos produtos através das palas laterais e utiliza os garfos apenas como apoio. Os robôs que possuem esta ferramenta conseguem apresentar tempos de ciclo mais curtos comparativamente aos anteriores, pois a abertura e fecho da garra são mais simples e o facto de apanhar os materiais por cima simplifica muito o processo. Os garfos são normalmente espaçados de igual forma dos transportadores, permitindo encaixar e pegar nos produtos. Esta ferramenta possui algumas desvantagens, uma vez que se o material vier em condições diferentes, isto é, posicionado com

uma inclinação que não a desejada, os dentes furam e danificam o produto. Outra desvantagem encontra-se na deposição dos produtos na paleta pois, uma vez que possuem dois garfos, os produtos ficam normalmente espaçados devido à abertura dos braços. Na Figura 3.4 é apresentado um exemplo de ferramenta do tipo *finger* a transportar um saco.



Figura 3.4: Ferramenta do tipo *finger* [54].

Existem ainda outros tipos de ferramentas que podem ser aplicados ao punho do robô como as ferramentas magnéticas utilizadas para transportar materiais ferrosos; ferramentas do tipo *pail* utilizadas para pegar em baldes pelo topo e transportá-los; do tipo *ring* utilizadas para transportar objetos redondos e de grandes dimensões. Uma vez que são ferramentas mais incomuns, não é realizada uma explicação detalhada do seu princípio de funcionamento.

3.2 Casos de estudo

A paletização é uma aplicação da área da robótica, talvez das mais utilizadas nos dias de hoje devido ao excelente desempenho que apresentam e melhorias que apresentam aos olhos dos gerentes das indústrias e operários. Como já foi dito anteriormente, o excesso de peso de cargas, a altura das torres de produtos e a repetibilidade da função, são as principais funções que geram problemas de saúde profissional, motivo pelo qual muitas pessoas evitam a realização destas tarefas.

De seguida, são apresentados alguns casos de estudo de aplicações de paletização nas mais variadas indústrias, permitindo perceber e estudar o tipo de robô utilizado, a ferramenta projetada e desenvolvida, assim como os transporta-

dores e máquinas adjacentes que alimentam o robô e enviam a palete já pronta e envolvida para *stock*.

3.2.1 Projeto Floralys

O projeto Floralys resulta de um sistema de paletização automático de embalagens de rolos de papel higiênico da marca Floralys. Consiste numa linha que transporta embalagens de rolos de papel, sendo o objetivo inerente o armazenamento de embalagens com diferentes mosaicos sobre uma paleta. Posteriormente, esta passa por uma máquina de envolvimento de filme protetor utilizada para proporcionar solidez e segurança aos produtos que estão sobre ela.

O projeto, instalação, respetivos testes e a colocação da linha automática em funcionamento foram realizados num intervalo de três meses e meio pela empresa de automação SABO S.A. Como é possível visualizar na Figura 3.5, o projeto é constituído por um robô da FANUC, o modelo M-410 iB/185 com uma capacidade de carga de 185 kg, e uma envolvedora de filme protetor com um sistema de estabilização de carga superior. A ferramenta desenvolvida para o robô e o dispensador automático de paletes foram desenhados pelos projetistas da obra.



Figura 3.5: Linha automática de paletização Floralys [56].

A descrição da linha é apresentada na Figura 3.6 com as respetivas numerações e legendas. Dado que a linha de paletização não é linear, isto é, apresenta um trajeto com curvas na vertical e horizontal (representado pelas setas pretas na Figura 3.6), foram utilizados dois empurradores, caracterizados por cilindros que são atuados de forma pneumática e estão legendados com a numeração "1" e "2". A zona "3" é designada por zona de *picking*, sendo utilizada para o robô pegar (*pick*) nas embalagens e colocar sobre a paleta (*place*). O dispensador de paletes, identificado pelo número "4", permite armazenar até um máximo de 10 paletes, sendo estas largadas uma de cada vez. O dispensador consiste num sistema de elevação com garfos que assume três posições: em baixo - onde larga a paleta que pretende; médio - local onde pega nas restantes paletes; alto - local onde se levanta as restantes paletes, permitindo assim a saída da primeira. As paletes passam por baixo da base do robô, permitindo assim a rentabilização do espaço da célula (representado pela seta laranja na Figura 3.6). Na zona 5, também designada zona de *place*, é onde se encontra a paleta e o robô constrói a torre através de várias camadas e diferentes mosaicos, dependendo do produto. Após a paleta feita, esta passa para a zona de embalagem.

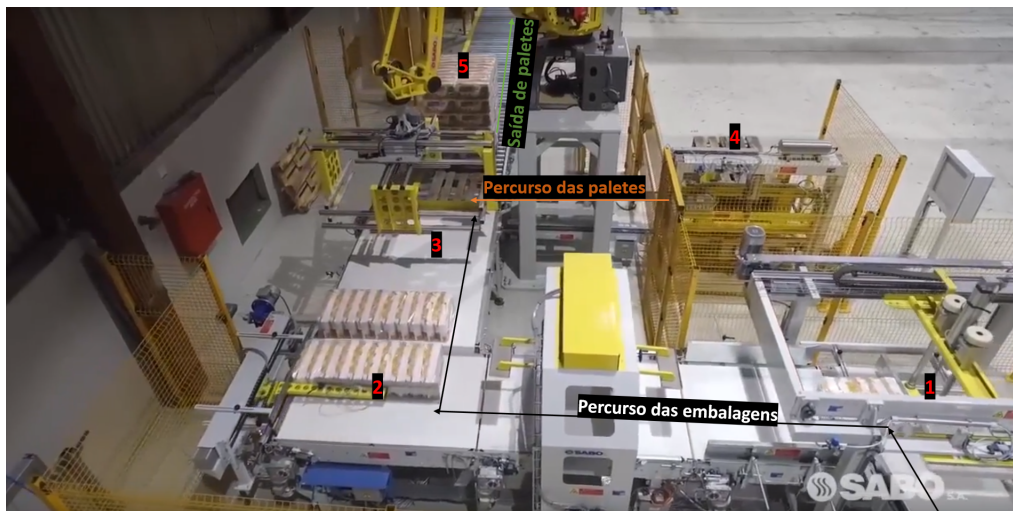


Figura 3.6: Descrição da linha automática de paletização [56].

A ferramenta foi projetada e criada para fazer apenas o manuseamento das embalagens. Não existe qualquer *flyer* entre camadas nem na base da paleta, não sendo necessário nenhum sensor ou funcionalidade extra na ferramenta. Esta foi desenvolvida através de três barras de perfil de alumínio em cada lateral, que abrem e fecham a ferramenta através da atuação de dois cilindros pneumáticos, uma vez que não é uma estrutura quadrada. Assim sendo, existe um cilindro pneumático para o eixo dos "XX" e para o eixo dos "YY". De forma a não amassar o material, é utilizado um sensor de pressão que permite detetar a pressão exercida

sobre a embalagem, utilizando para o efeito um pressóstato. Esta pressão não deve ser muito elevada para não amassar as embalagens, no entanto, também não pode ser muito baixa, pois pode-as deixar cair. Na Figura 3.7 é apresentada a ferramenta fechada em ambos os eixos e a segurar numa embalagem.

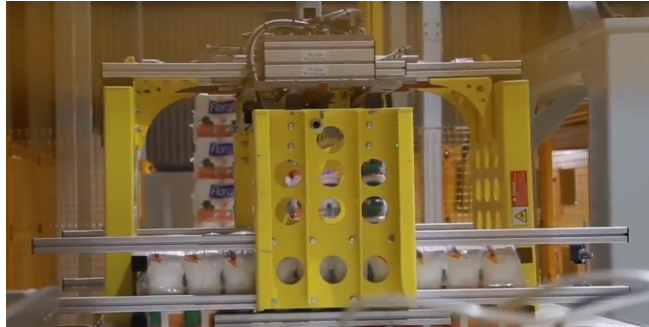


Figura 3.7: Ferramenta de paletização do projeto Floralys [56].

Relativamente a um sistema automático de paletização, é sempre necessário obter uma máquina que disponibilize, quando necessário, uma paleta. Para tal, foi projetado um dispensador de paletes que tem a capacidade máxima de 10 paletes. Como é possível visualizar na Figura 3.8, o dispensador é constituído por uma estrutura que possui uns braços e neles uma extensão que permite fazer a função de garfos que suportam o peso das paletes. O princípio de funcionamento é muito simples, sendo para tal utilizados apenas três posições de operação, baixo, médio e alto. O processo de largar paleta consiste no seguinte: o dispensador baixa os braços até à posição mais baixa, abre os braços e sobe até à posição média. Para pegar nas paletes todas excepto a última, os braços fecham nesta posição e levantam até ao máximo, onde permanecem até ser pedida uma nova paleta.



Figura 3.8: Colocação de paletes no dispensador de paletes [56].

Após a formação da paleta em várias camadas, esta passa por uma envolvedora de filme *stretch* para promover a estabilização da carga. A envolvedora é constituída por um sistema de estabilização da carga superior e por um elevador de paletes. O primeiro é caracterizado por um cilindro pneumático que na extremidade possui um disco de grande superfície, permitindo fazer pressão sobre a carga para esta não tombar enquanto a máquina exerce força nas laterais através do filme protetor. O elevador é utilizado para fazer subir a paleta, para a máquina não envolver apenas o produto, mas também a paleta de forma a permitir consistência e segurança entre os produtos e a mesma. Se a proteção fosse apenas realizada sobre os produtos, estes poderiam-se soltar da base e cair. Na Figura 3.9 está representada a máquina projetada para fazer o envolvimento de paletes com filme protetor.



Figura 3.9: Máquina de envolvimento de filme protetor [56].

3.2.2 Projeto Torfresma

A empresa brasileira Torfresma dedica-se à automatização de processos das indústrias através da equipa de projeto e desenvolvimento de engenharia. Iniciaram a sua empresa através de aplicações de torneamento, fresagem e manutenção,

sendo posteriormente adaptada às necessidades do mercado e utilizando os robôs e o PLC como equipamentos indispensáveis à automação e robótica. De seguida, é apresentado um projeto de paletização de embalagens com pacotes de leites, com a explicação da respetiva ferramenta desenvolvida pelos projetistas, a forma como são disponibilizadas as paletes ao sistema e o uso e funcionamento de um envolvente de paletes no final da linha.

As indústrias de laticínios procuram cada vez mais a robótica para fazer encaixotamento de pacotes de leite e paletização das embalagens. O trabalho repetitivo e a competitividade dos mercados levou estas indústrias a aumentarem o volume de produção e de vendas, com um preço menor e com uma maior margem de lucro. Surge assim a robótica associada com os sistemas de manuseamento de caixas, encaixotamento e paletização.

A empresa Torfresma, perante o pedido do cliente e com o recurso a apenas um robô, desenvolveu duas linhas compostas que permitem fazer paletização de dois tipos de leites simultaneamente. As embalagens de leite chegam através de transportadores, posteriormente e dependendo do mosaico pretendido, é utilizado um desviador que permite mudar a sua direção. Na Figura 3.10 é apresentado o sistema de paletização de produtos lácteos projetado pela empresa Torfresma. Como é possível visualizar, existem duas linhas de produtos (identificadas pelas numerações 1 e 2 na Figura 3.10), que fazem a paletização através de um robô. De salientar as proteções dos cabos elétricos utilizados sobre as calhas, pois estes estão tapados por um invólucro metálico, uma vez que se está a trabalhar com material que contém líquido no interior e que, ao cair, pode provocar estragos no circuito elétrico.

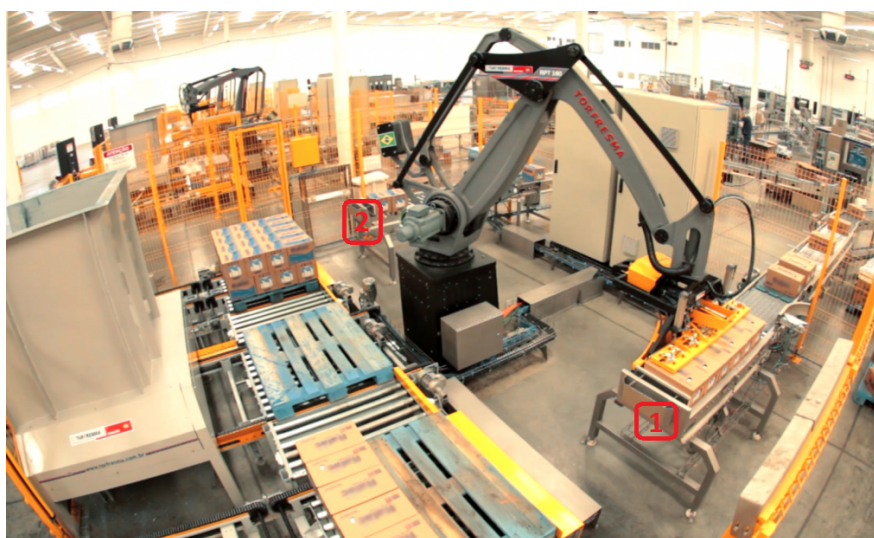


Figura 3.10: Linha de entrada de paletização de produtos [57].

Na célula desenvolvida, uma vez que existem duas linhas de paletização, é utilizada uma máquina envolvente em cada linha que permite fazer a proteção dos produtos para evitar possíveis acidentes. Na Figura 3.11 são apresentados os finais de linha de paletização de cada produto, as respectivas envolventoras e uma empilhadora a abastecer o dispensador de paletes que tem a capacidade máxima de 10 paletes. A célula encontra-se bem organizada, sendo que os produtos entram numa extremidade através de dois tapetes separados e o robô, que se encontra no meio, consegue alcançar ambas as linhas. O dispensador de paletes encontra-se na zona de saída de materiais, sendo disponibilizadas paletes após a saída de paletes da zona de *buffer*, como vai ser explicado de seguida. Da zona de *buffer* as paletes podem deslocar-se em dois sentidos (esquerdo e direito) e são paletizados pelo robô dois tipos de produtos que, após a formação da torre com várias camadas, saem da célula e entram numa máquina envolvente. Após a palete envolvida, a empilhadora pode retirá-la e guardá-la em armazém.



Figura 3.11: Linha de saída de materiais paletizados [57].

As embalagens de produtos chegam até à zona de *picking* através de dois tapetes transportadores. A utilização de sensores fotoelétricos instalados nos transportadores permite determinar quantas embalagens passam e, após uma programação desenvolvida, define quando se deve utilizar o desviador. Este serve para fazer a manipulação das embalagens, ou seja, os produtos que devem ou

não ser posicionados de uma forma diferente para se adaptarem ao mosaico pretendido. Na Figura 3.12 é apresentado um desviador implementado junto à zona de *pick* e utilizado para manipular as embalagens. Após a contagem de embalagens, e através da programação desenvolvida, é ativada a eletroválvula que permite accionar o cilindro fazendo esticar o veio do desviador. Com a velocidade do tapete, os produtos batem na superfície curva e tendem a rodar ficando com a face de menor tamanho para a frente, como é possível visualizar na figura. A recolha do veio ocorre quando é desativada a eletroválvula, retirando-lhe o ar comprimido.



Figura 3.12: Desviador utilizado na linha de paletização [57].

A ferramenta projetada e criada para a paletização deste tipo de embalagens é do tipo *fork*. Possui garfos longos e é constituída por duas zonas, uma móvel que contém os garfos, definida a amarelo na Figura 3.13, e uma zona fixa representada a preto. O funcionamento do *gripper* resulta da utilização de cilindros pneumáticos que permitem o avançar e o recuar dos garfos e pressionar ou soltar os produtos. Através da análise da figura é de mais fácil compreensão o seu funcionamento: quando o robô se aproxima da zona de *pick*, a parte móvel amarela avança em direção à zona fixa preta, esticando os garfos. Estes, que têm o mesmo espaçamento que os rolos dos transportadores, penetram por baixo das embalagens até a peça preta tocar no produto, indicando que este já se encontra em zona segura, ou seja, por cima dos braços. De forma a garantir que estes não deslizam lateralmente, são acionadas através de dois cilindros pneumáticos duas palas superiores que fazem pressão sobre o produto de forma a garantir a sua segurança. De seguida, o robô sobe verticalmente e desloca-se até à zona de *place* onde deixa os materiais sobre a palete, formando camadas. Nesta zona, os cilindros pneumáticos são desativados, fazendo recolher os garfos e as palas superiores. A parte metálica preta permite garantir que os garfos são recolhidos mas, no entanto, o produto não é recolhido juntamente ou não sai da posição definida.

A ferramenta desenvolvida permite pegar no máximo em cinco embalagens de cada vez e formar assim vários mosaicos de camadas na palete, dando-lhe consistência.

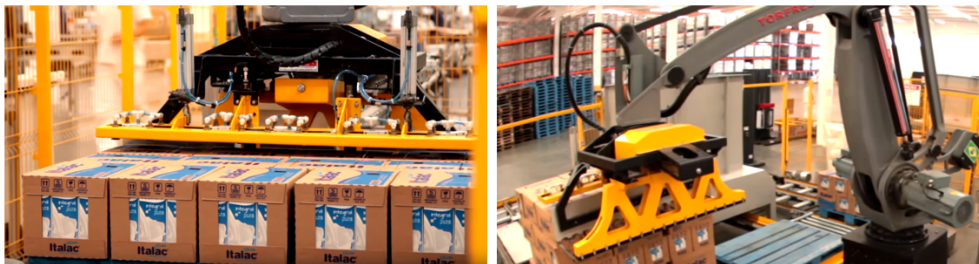


Figura 3.13: Ferramenta de paletização [57].

Na Figura 3.14 é apresentada com mais pormenor a ferramenta projetada pela empresa para este projeto. Dado que as embalagens de leite podem ficar amassadas, foram utilizados separadores entre camadas, sendo, para tal, utilizado na ferramenta umas ventosas que descem ou sobem consoante a atuação dos cilindros pneumáticos. Por sucção, estas agarram o cartão e, através das escovas laterais do suporte de cartão, é possível separar os vários *flyers*. Para este caso específico, foram utilizados divisores no início da paleta, a meio das camadas e na parte superior da torre.



Figura 3.14: Ferramenta vista com mais detalhe [58].

Os transportadores por onde circulam as paletes provenientes do dispensador até ao *buffer* são de dois tipos, correntes e rolos. As paletes que saem do dispensador e ficam na zona de *buffer* são movidas através do transportador de correntes. Este mecanismo consiste na descida do transportador de rolos, ficando à superfície as correntes que suportam as paletes. Após estas atingirem o *buffer*, o transportador de rolos sobe e faz o transporte das mesmas até à zona de *place*, através do acionamento dos rolos. Relativamente ao funcionamento do dispensador de paletes, este possui um funcionamento muito semelhante ao caso anterior, sendo constituído por dois braços e duas espécies de garfos que suportam o peso das paletes.

Como é possível visualizar na Figura 3.15a, quando a paleta chega à zona de *buffer*, o transportador encontra-se posicionado mais abaixo de forma que a

corrente de transporte seja superior aos rolos e consiga transportar a paleta. Após a chegada da paleta à zona de espera (Figura 3.15b), o transportador sobe e a paleta desloca-se para a direção onde a zona de *place* se encontra livre.

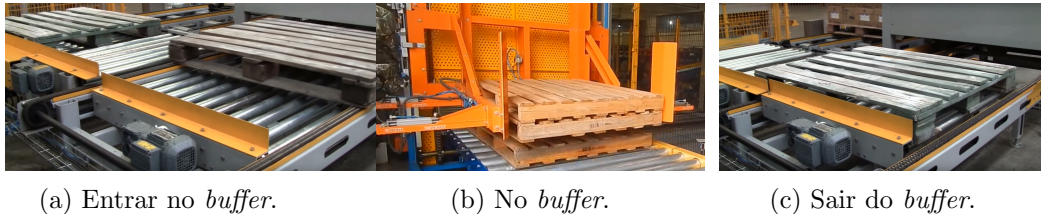


Figura 3.15: Funcionamento do dispensador de paletes [59].

A máquina de envolvimento de filme protetor da paleta é posicionada no fim de cada linha. Esta é constituída por um braço vertical fixo e faz o envolvimento da paleta com o auxílio da mesa rotativa onde assenta a paleta. Quando se dá o envolvimento, a mesa rotativa começa a rodar e o braço vertical com a bobine de filme protetor sobe e desce de forma a envolver a paleta na totalidade. Uma vez finalizada esta etapa, a paleta fica nesta zona a espera de ser recolhida por uma empilhadora. Na Figura 3.16 estão representadas as duas máquinas envolvedoras utilizadas no final das duas linhas que fazem a paletização de duas marcas de produtos de leite.



Figura 3.16: Envolvedoras fixas utilizadas no projeto de paletização de leite da Torfresma [57].

3.2.3 Projeto SEE Sistemas

A empresa brasileira SEE Sistemas integra soluções para a movimentação e armazenamento de materiais, oferecendo vantagens para o aumento de produtividade nos processos de logística interna de empresas dos mais variados segmentos [60]. A empresa tem uma vasta experiência na área de paletização dos mais variados materiais, disponibilizando e criando uma grande diversidade de ferramentas

de paletização e sistemas de automação. Fazem paletização de garrafas de vidro, sacos de rações, sementes e outros tipos, caixas, baldes, entre outros. De seguida é apresentado um caso de estudo de uma aplicação desenvolvida por esta empresa para a paletização de sacos de sementes de 30 kg. Dado o peso dos sacos e a repetibilidade do processo, o cliente procura com esta aplicação diminuir a dificuldade dos trabalhos e aumentar a produtividade. Para tal, existe um sistema que transporta os sacos até à zona de paletização do robô e uma linha paralela que disponibiliza as paletes a cada instante.

Os sacos chegam através de tapetes transportadores em formato de tapete e entram na zona de *pick* através de transportadores de rolos. Enquanto esta zona se mantiver ocupada, o primeiro saco que interromper a fotocélula instalada na transição dos dois transportadores fica em modo de espera, parando o motor do transportador. Após a zona estar livre o tapete arranca e passa o saco. Na Figura 3.17a está representada a entrada de produtos na linha de paletização, com o robô à espera de saco na zona de *pick* (Figura 3.17b).



(a) Entrada da linha.



(b) Zona de *pick*

Figura 3.17: Linha de entrada de produtos do projeto SEE Sistemas [61].

A ferramenta projetada e criada é do tipo *finger* e permite detetar e transportar sacos e cartão. Esta possui dois sistemas de garfos que são acionados através de dois cilindros pneumáticos que, quando ativos fazem a extensão do veio, permitindo pegar no produto pela base. Para além dos garfos, a ferramenta possui ainda umas palas laterais e uma superior que sobem e descem através de três cilindros pneumáticos, sendo um deles acionado de forma independente dos outros dois. Na palete, para os sacos não se danificarem, são utilizados cartões que são colocados pelo robô através de quatro ventosas, acionadas através de quatro cilindros pneumáticos presentes na ferramenta. Para garantir a presença de

cartão e saco quando a ferramenta está fechada, foi implementado na parte superior do *gripper* um *laser* que permite medir a distância e, se o valor for superior ao previamente calculado, definir se houve ou não um incidente e alertar o robô. Na Figura 3.18 é apresentada a ferramenta desenvolvida pela empresa SEE Sistemas e os procedimentos a executar para garantir o seu bom funcionamento. Assim, quando um saco chega à zona de *pick* é enviado um sinal ao robô, iniciando o seu movimento (Figura 3.18a). Após o seu posicionamento sobre o produto, as eletroválvulas dos dois cilindros pneumáticos das palas laterais são ativas e estas descem (Figura 3.18b). De imediato, os garfos entram por entre os espaços dos rolos do transportador, envolvendo o produto (Figura 3.18c). Para garantir o não deslizamento do saco com a deslocação do robô, é ativada a eletroválvula do cilindro que permite descer a placa superior (Figura 3.18d).

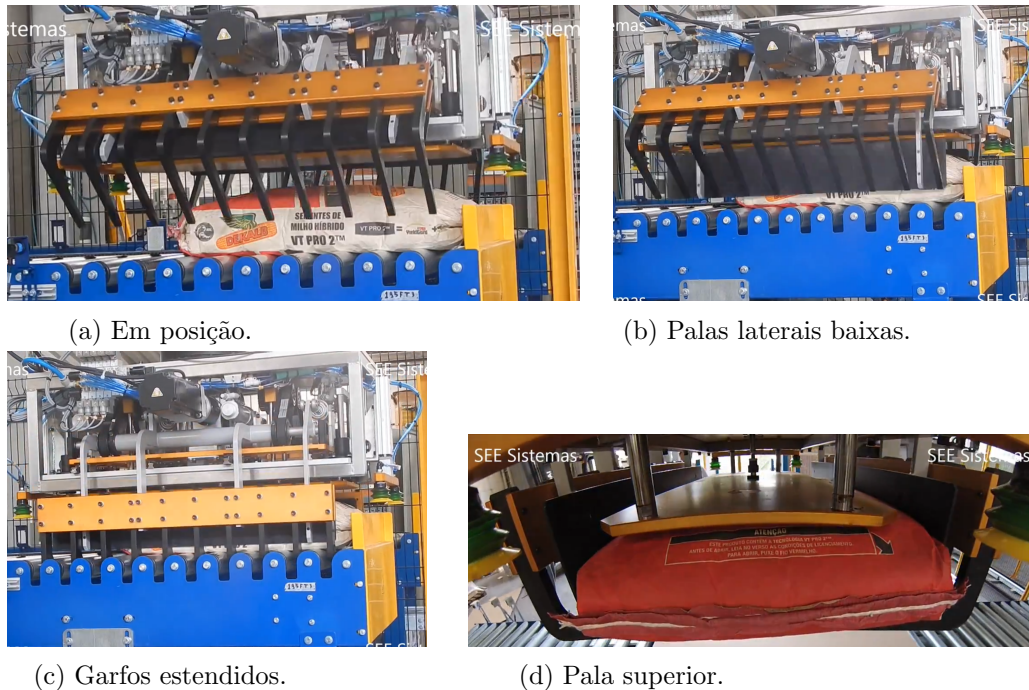


Figura 3.18: Funcionamento da ferramenta passo a passo [61].

O dispensador de paletes, dimensionado e criado pela empresa, consiste em dois braços que sobem e descem através da atuação de um motor, e de quatro dentes/garfos que são acionados através de uma eletroválvula que ativa os quatro cilindros pneumáticos simultaneamente. Os cilindros permitem acionar os dentes dos cilindros que, quando ativos, fazem avançar o veio e suportar o peso das paletes. De forma semelhante aos dispensadores anteriores, este possui três posições de estado possíveis: em baixo para largar a paleta, a meio para agarrar nas restantes paletes, e em cima para segurá-las e permitir que a última saia. Na

Figura 3.19 é apresentado o dispensador com as características referidas acima e desenvolvido pela SEE Sistemas.



Figura 3.19: Dispensador de paletes [61].

Quando a paleta chega à zona de paletização propriamente dita, esta bate em dois batentes instalados juntos aos transportadores e controlados por dois cilindros pneumáticos que se encontram sempre ativos, isto é, com os veios esticados (ver Figura 3.20). Dado que esta pode ainda estar mal posicionada, é utilizado um empurrador lateral que faz pressão sobre a paleta quando esta se encontra na posição de paletização. Uma vez terminada a torre de produto, as eletroválvulas são desativadas e os veios dos cilindros recuados, permitindo libertar a pressão exercida sobre a paleta e a saída da mesma para o final da linha.



(a) Batentes avançados.



(b) Batentes recuados.

Figura 3.20: Posicionamento da paleta na zona de paletização [61].

Capítulo 4

Arquitetura do sistema

Este capítulo aborda as várias fases do projeto, sendo apresentado, numa fase introdutória, o problema e as exigências estabelecidas pelo cliente assim como a solução encontrada. De seguida, é demonstrada e explicada a planta da célula projetada e os equipamentos necessários para o seu correto funcionamento. É realizada uma descrição pormenorizada de cada componente utilizado no sistema, assim como dos métodos de segurança utilizados. São ainda apresentados os *softwares* utilizados para a programação e parametrização dos equipamentos e a configuração da rede para a comunicação entre os diversos dispositivos.

4.1 Problema e solução

A empresa Trevipapel decidiu inovar e procurar soluções de forma a aumentar o volume de produção e reduzir a mão de obra repetitiva e cansativa realizada pelo ser humano na estruturação de produto em paletes. Esta empresa incorpora linhas de produção de rolos de papel higiénico e de cozinha resultantes de bobines de papel.

Uma vez que a Trevipapel procura entrar no mercado competitivo da indústria de papel *tissue*, esta teve de inovar e tornar os seus processos automáticos, de forma a aumentar o tempo e a quantidade de produção. Com este objetivo incutido, criou-se uma linha automática que produz embalagens de rolos de papel com maior diversidade e com diferentes quantidades e tamanhos. Como produto final, obtém paletes de embalagens, devidamente protegidas com filme protetor *stretch* e etiquetadas. A nova linha tem como entrada uma bobine de papel que é desenrolada e, posteriormente enrolada em pequenas quantidades em tubos de cartão que são armazenados em *buffer*. De seguida, estes passam por um disco de grandes dimensões que faz o corte em pequenos rolos e os envia para uma

máquina a jusante que os envolve com um plástico, formando as embalagens. No final da linha, foi projetada e criada uma célula que, com recurso a robôs, faz a paletização de embalagens, envolvimento com filme protetor e impressão de etiquetas.

O projeto da célula desenvolvida está representado na Figura 4.1 e consiste na utilização de dois robôs, uma máquina envolvedora e uma etiquetadora. A célula é caracterizada por duas entradas (uma com embalagens para manipulação e paletização com robôs, e outra com paletes prontas a serem envolvidas) e uma saída por onde se obtém o produto final. Esta estrutura permite a divisão da célula em dois: a zona 1 é constituída por dois robôs e um dispensador de paletes (ver Figura 4.1). Os dois robôs permitem fazer a reordenação e paletização dos produtos e o dispensador a alimentação de paletes. A segunda zona é constituída por uma máquina envolvedora designada por PIERI e por uma etiquetadora.

A criação de duas zonas da célula permite o envolvimento automático do produto paletizado de forma manual e automática. Dado que na zona 2 entra material proveniente da zona 1 e do exterior da célula, esta tem a capacidade de fazer o envolvimento automático, apresentando um funcionamento independente. Assim, caso a zona 1 deixe de funcionar por motivos de manutenção ou avaria, a continuação da produção é assegurada.

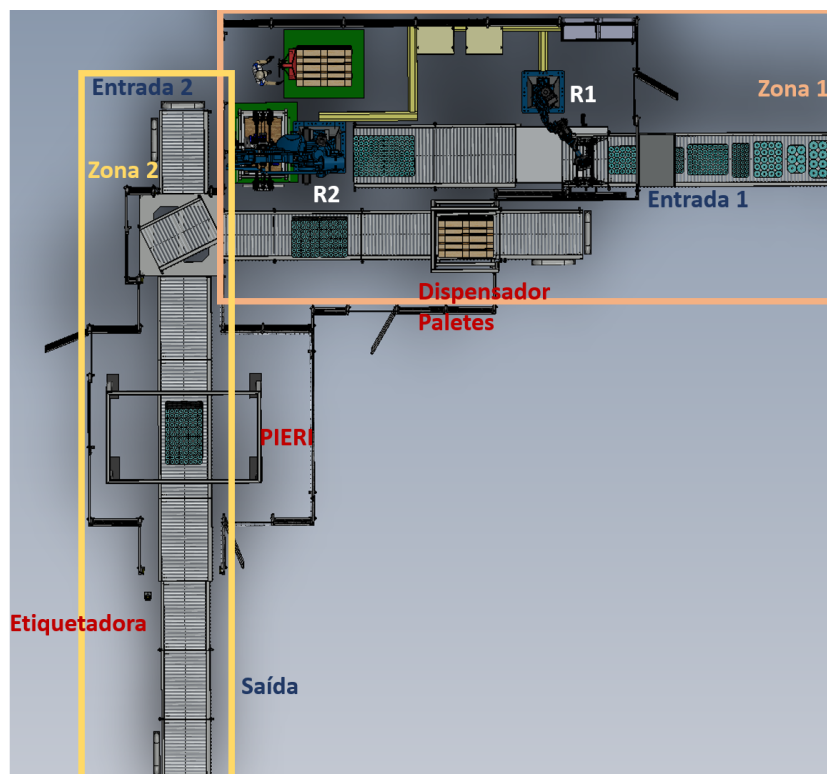


Figura 4.1: Projeto de célula de paletização.

A célula possui quatro portas, sendo que três destinam-se à entrada e saída de pessoas e uma é apenas utilizada para efeitos de manutenção da mesa do robô de reorganização de embalagens. A entrada na célula é controlada pelas fechaduras que estão instaladas nas portas que contêm um botão para permissão de entrada. O acesso pela porta de manutenção é autorizado pelo PLC que desativa o trinco magnético.

O cliente possui vários tipos de produtos, no entanto, para efeitos de programação do robô e do PLC, é apenas necessário considerar 10 produtos diferentes, uma vez que os restantes possuem o mesmo princípio de funcionamento. No Anexo A é apresentada a tabela dos 10 produtos necessários programar, onde está ilustrada a forma como estes são deixados pela máquina a montante da célula e como estes ficam, posteriormente, organizados na paleta. Na subsecção 6.2.4, são referidos os métodos de programação dos produtos.

4.2 Arquitetura geral

Os dispositivos presentes na célula automática de paletização comunicam entre si através da rede de comunicação profinet. Para tal, foram utilizados dois *switches* de oito e cinco portas, da família JetNet. O dispositivo *master* da comunicação é o PLC.

Na Figura 4.2 está apresentada a arquitetura geral do sistema que descreve os dispositivos que comunicam entre si e como esta comunicação é estabelecida. Os *switches* possuem uma alimentação de 24 V e interligam os periféricos através de um cabo RJ45. O *master* da comunicação (PLC) liga-se ao *switch* que, após todos os escravos conectados, faz os endereçamentos e, posteriormente, o controlo e troca de dados. Os dispositivos escravos são compostos por: motores mestre das ilhas dos transportadores, motor mestre da ferramenta do robô de paletização, dois robôs Yaskawa, uma HMI e um computador.

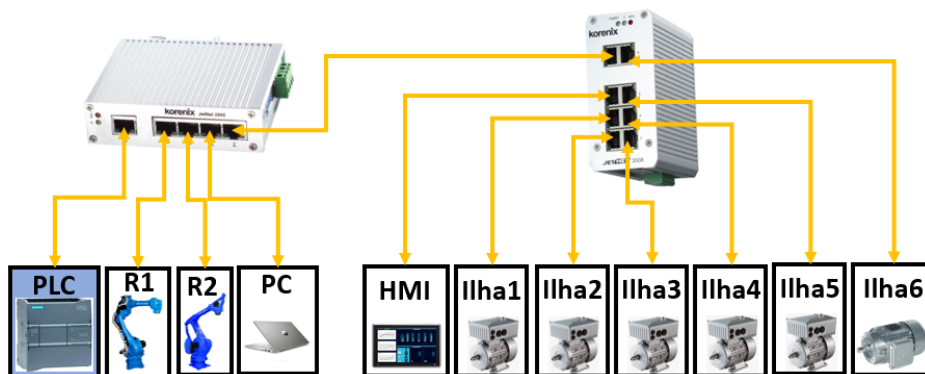


Figura 4.2: Arquitetura do sistema de paletização.

4.3 Projeto da célula de paletização

Nesta secção são apresentadas algumas características da célula, assim como os princípios básicos de funcionamento com os dispositivos de instrumentação presentes em campo.

4.3.1 Linha paletização

A célula é constituída por três transportadores de rolos de baixa pressão representados na Figura 4.3. O primeiro faz a ligação com a máquina a montante que disponibiliza as embalagens a uma cadência dependendo do produto. O segundo transportador é a zona de *pick* para o primeiro robô, uma vez que os materiais entram no transportador 2, são reordenados e colocados no transportador seguinte. Neste último transportador existem duas zonas distintas que servem de apoio: a de *buffer* - utilizada para criar os mosaicos de cada camada; e a de *pick* - zona onde chegam as camadas prontas para o robô paletizar. Os três transportadores são constituídos por rolos de baixa pressão que param o seu movimento quando existe produtos que exercem elevada pressão.

Ao nível elétrico, foi colocada uma caixa de derivação na junção entre o transportador 1 e 2, permitindo fazer as ligações dos sensores de campo implementados nesta ilha. A alimentação de potência dos motores é ligada diretamente ao quadro elétrico, sem ser necessário passar por uma caixa.

Relativamente ao controlo dos motores, foram criadas ilhas de comunicação entre motores, sendo esta zona denominada de ilha 1. Em cada ilha, o motor mestre comunica com o PLC através da rede Profinet. Entre os motores da ilha, a comunicação é realizada através da rede CANopen. As parametrizações dos motores são realizadas através do *software* de fabricante NORDCON.

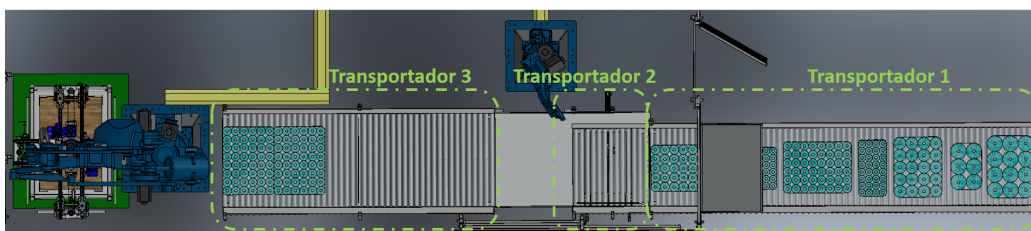


Figura 4.3: Transportadores 1, 2 e 3.

- **Transportador 1:** Na Figura 4.4 são apresentadas duas imagens do transportador, onde é possível visualizar os sensores e as proteções de segurança implementadas. A proteção utilizada na entrada de material impede o ser humano de chegar às embalagens que entram na célula, protegendo-o do funcionamento do robô. A porta de manutenção foi projetada de forma a

ser usada apenas para retirar embalagens que tenham ficado presas ou para efeitos de manutenção.

Neste transportador, foram utilizadas duas fotocélulas com espelho: uma para indicar quando o transportador está cheio (FT1) e outra para denotar que existe material junto ao batente (FT2). O batente projetado é acionado pneumicamente e tem a funcionalidade de permitir ou não a passagem de produto para o próximo transportador. Por *default*, no seu estado inativo, o cilindro encontra-se com o batente em cima. Cada cilindro projetado possui um sensor magnético que identifica o posicionamento do veio nas extremidades. O controlo do cilindro é realizado pelo PLC que, após a sua saída ativa faz atuar um relé de saída e, conseqüentemente, a respetiva eletroválvula. O motor é controlado através de uma rede CANopen com o motor mestre da ilha, presente no transportador 2.

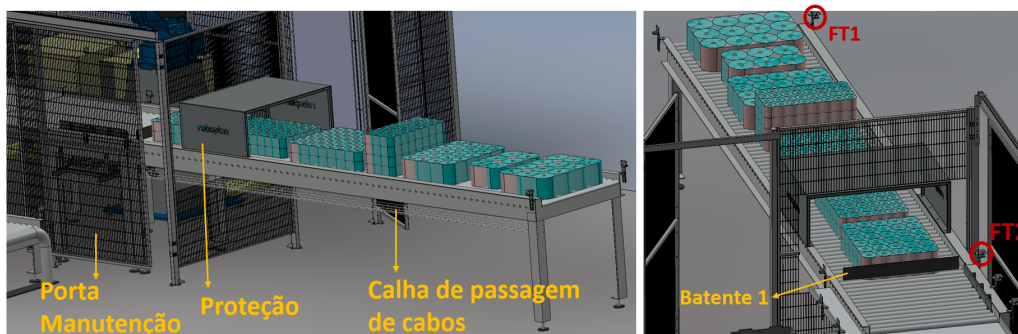


Figura 4.4: Transportador 1.

- Transportador 2:** O transportador e a mesa deslizante representados na Figura 4.5, possuem um comprimento de dois metros. O transportador é constituído por dois sensores fotoelétricos e um empurrador. O sensor fotoelétrico FT4 permite detetar a presença da primeira embalagem na zona de *pick* do robô. Em produtos de menores dimensões, o robô espera pelo segundo saco que é detetado pelo sensor FT3. Em alguns casos, dependendo do produto, é necessário diminuir o tempo de ciclo da operação para não interromper a cadência da máquina a montante. Para tal, foi implementado um empurrador que está representado na Figura 4.5. Este é constituído por dois cilindros pneumáticos de curso de 200 mm e 600 mm, sendo possível quatro estados possíveis: 200 mm, 400 mm, 600 mm e 800 mm. O motor deste transportador comunica com os restantes dois através da rede de comunicação CANopen e com o PLC através da rede Profinet.

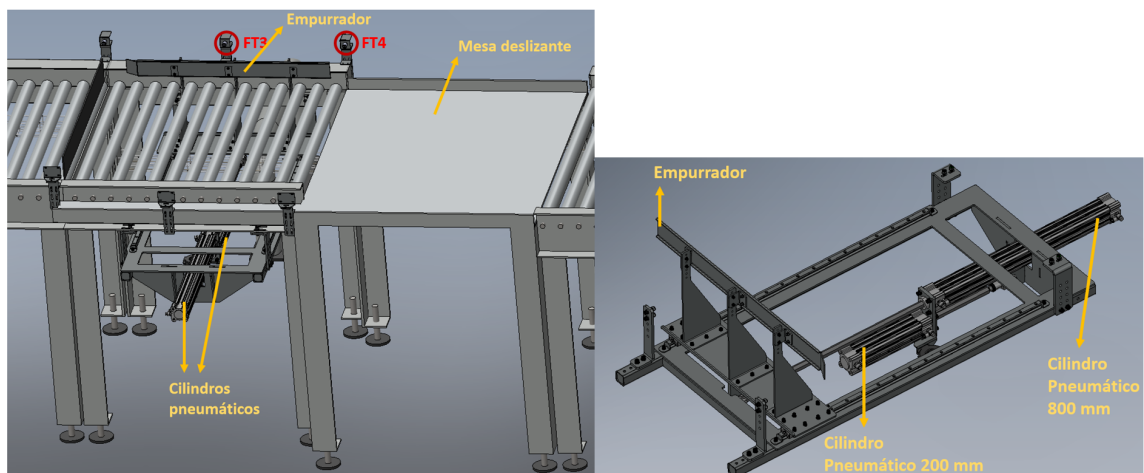


Figura 4.5: Transportador 2 com empurrador e mesa deslizante.

- Transportador 3:** Possui duas zonas distintas separadas pelo batente 2, como representado na Figura 4.6. Na zona de *buffer*, as embalagens são deixadas com uma determinada orientação e, após a camada estar finalizada o batente 2 desce e deixa-a passar. Quando esta chega à fotocélula 6, o robô 2 inicia a paletização. O batente 3 encontra-se sempre em cima, exceto quando o robô se aproxima, sendo a partir desta fase a ferramenta a servir de batente. O motor deste transportador comunica com os restantes através da rede CANopen.

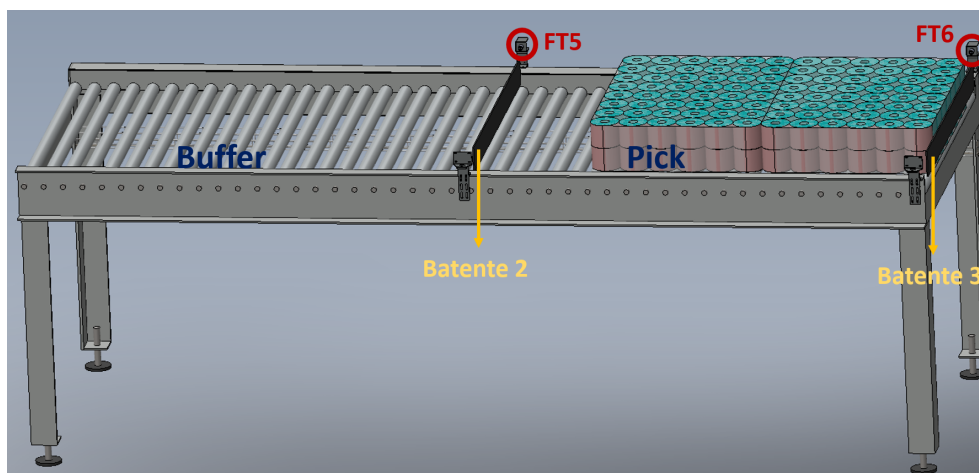


Figura 4.6: Transportador 3.

4.3.2 Linha do dispensador de paletes e evacuação

Esta linha possui um comprimento total de 7,8 metros e contém três transportadores e um dispensador de paletes. O transportador 4 faz a alimentação

do dispensador com paletes e possui duas fotocélulas: uma na diagonal (FT7) que permite a detecção de paletes na entrada do dispensador; e outra colocada no final do transportador (FT8) que deteta quando estas estão na transição entre transportadores.

O dispensador é constituído por dois braços e duas extremidades que se assemelham a dois garfos. O método de acionamento para abrir e fechar garfos é representado na Figura 4.7 pelo motor inferior, assim como para subir e descer paletes pelo motor superior que possui travão. De forma a garantir a presença de paletes no seu interior, é utilizada a fotocélula (FT9). O dispensador possui três sensores indutivos que definem três níveis de posicionamento: inferior, onde as paletes são largadas; intermédio, onde são agarradas as restantes paletes; e superior que serve para garantir que estas estão em cima e que a última pode seguir para a zona de *buffer*. A abertura e fecho dos garfos dispõe de dois sensores indutivos que permitem funcionar como fim de curso e garantir que os motores sejam parados eletricamente. A jusante do dispensador existe uma zona de *buffer* onde é armazenada uma paleta que está pronta a entrar na zona de *place* do robô, reduzindo o tempo de espera de entrada de nova paleta. Na Figura 4.7 é apresentado o dispensador de paletes sob diferentes perspetivas.

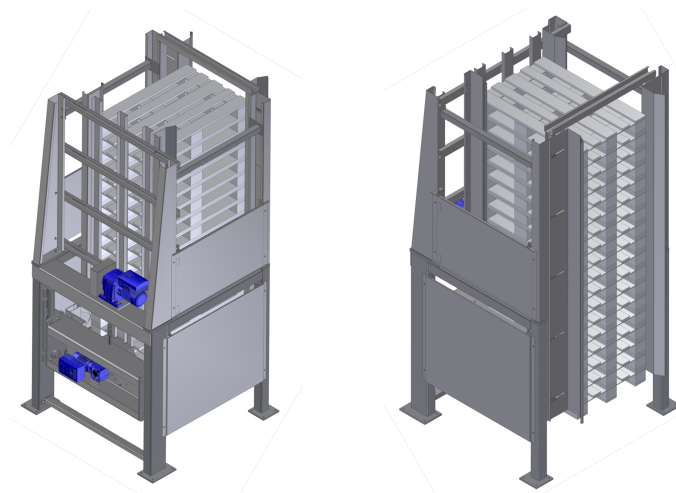


Figura 4.7: Dispensador de paletes em diferentes perspetivas.

Uma vez terminada a paletização, o batente 4 desce e a fotocélula FT11 deteta a passagem e faz subir o batente. Simultaneamente com a evacuação, a paleta armazenada em *buffer* inicia o seu movimento até à zona de paletização que, neste momento, já se encontra vazia e com o batente em cima. A evacuação termina após a passagem de "1" para "0" da fotocélula FT12. Na Figura 4.8 é apresentada a linha relativa ao dispensador de paletes e a zona de evacuação.

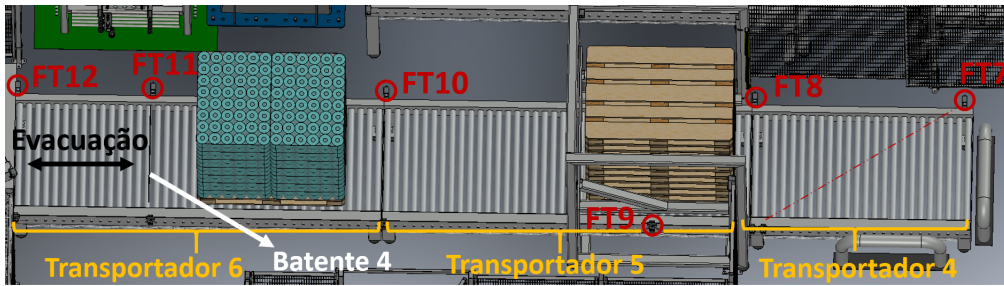


Figura 4.8: Linha do dispensador e de evacuação de paletes.

Relativamente à comunicação e controlo dos motores, foram criadas duas “ilhas” de comunicação: uma composta pelos dois motores do dispensador de paletes e pelo motor do transportador 4; a outra é constituída pelos motores dos transportadores 5 e 6. Os motores mestres da comunicação e que comunicam através da rede Profinet são os que estão implementados nos transportadores 4 e 6. Os restantes comunicam por CANopen dentro da ilha. Em relação à instalação eléctrica, foram utilizadas duas caixas eléctricas de derivação nos transportadores 4 e 6. Quanto à segurança, e uma vez que o dispensador automático pode causar ferimentos ao ser humano, foi projetada uma barreira com resolução de protecção de dedos. Caso esta seja interrompida, são parados somente os dois motores do dispensador de paletes. Adicionalmente, foi implementado um painel de operador com botoneira de emergência e um botão de *reset* da barreira.

4.3.3 Entrada de paletes externa e mesa rotativa

Esta zona da célula, representada na Figura 4.9, é caracterizada pela entrada de paletes estruturadas na máquina envolvente PIERI, para serem envolvidas com filme protetor *stretch*. As paletes entram na máquina através de duas formas distintas: pela zona de evacuação de paletes feitas pelo robô; e pela zona de alimentação de paletes externas colocadas manualmente pelos operadores no transportador 7. O transportador 7 é constituído por duas fotocélulas, FT13 e FT14, que permitem a deteção de carga e a transição de paletes entre o transportador 7 e a mesa rotativa, respetivamente. Esta mesa é constituída por dois motores, em que um é utilizado para fazer a rotação de 90° da mesa e o outro para realizar a movimentação dos rolos. A mesa possui dois sensores indutivos que definem dois estados de posicionamento: entrada da paletes em modo automático pelo lado do robô; e a entrada de paletes em modo manual pelo transportador 7. As fotocélulas FT15 e FT16, instaladas no transportador 8, permitem detetar a entrada e saída de paletes, respetivamente.

O controlo dos três motores é realizado através da rede de comunicação Profinet implementada entre o PLC e o motor do transportador 7, que comunica com os restantes dois motores através da rede CANopen.

Relativamente à segurança, dado que existe entrada de material na célula através do transportador 7, foi implementada uma barreira com *muting* com resolução de braço. Junto a esta entrada, foi instalado um painel com um seletor de duas posições e um botão de *reset* que permite fazer o rearme da célula.

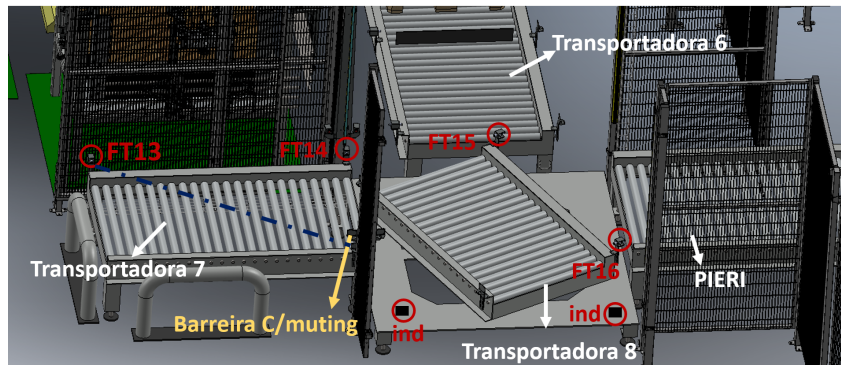


Figura 4.9: Entrada de produto na PIERI.

4.3.4 Final de linha

A jusante da máquina PIERI foram projetados três transportadores de final de linha (9, 10 e 11), representados na Figura 4.10. No final de cada transportador, foi instalada uma fotocélula que define o fim do transportador. Na máquina PIERI, a paleta é envolvida com filme protetor e, posteriormente, segue até ao transportador 9 onde se localiza a etiquetadora. Após interseção da reflexão do feixe da fotocélula FT17, o motor do transportador 9 pára e esta é etiquetada. De seguida, a paleta segue até ao último transportador livre, ficando *buffer*. O botão de emergência instalado junto à etiquetadora, permite fazer a paragem apenas dos motores de final de linha.

A comunicação, tal como nos restantes motores, é realizada através da rede Profinet com o PLC e, entre motores, através de CANopen.

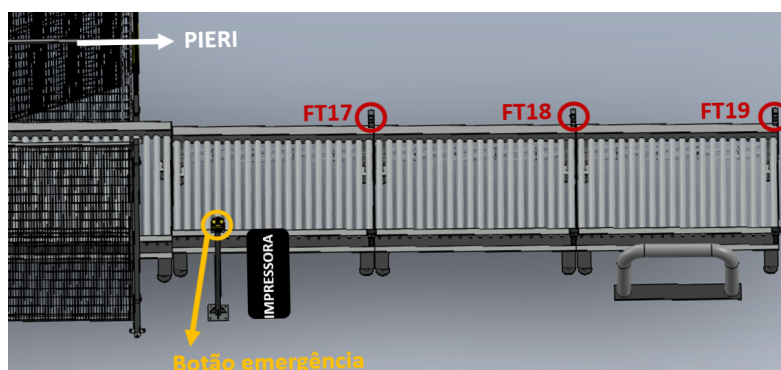


Figura 4.10: Final de linha do produto.

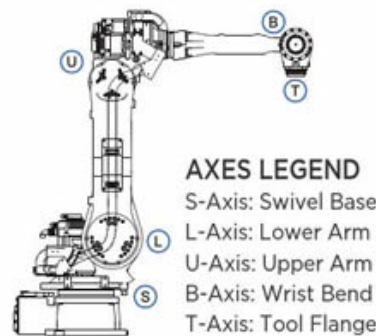
4.4 Robôs e ferramentas

Como já mencionado, foram utilizados na célula dois robôs do fabricante Yaskawa. O primeiro permite executar funções de reordenação das embalagens com o objetivo de formar camadas prontas a paletizar pelo segundo robô. A escolha dos robôs teve por base a capacidade de carga máxima permitida para o seu correto e seguro funcionamento, após a medição do peso total das embalagens e da ferramenta projetada. As ferramentas acopladas aos robôs foram projetadas, criadas e implementadas pela empresa, inculindo aos robôs funções específicas.

- O robô MPL-80, representado na Figura 4.11a, foi projetado para alterar a orientação das embalagens provenientes da máquina a montante. Para tal, dependendo do produto, o robô junta as embalagens aos pares e concede-lhes um nova orientação. O robô utilizado é aconselhado para aplicações de *pick and place* e caracteriza-se por ter uma capacidade de carga máxima no braço de 80 kg e por ter 5 eixos. Na implementação da célula optou-se por utilizar um sistema de anticolisão, RAC, entre a ferramenta e o punho do robô. Este sistema, após o contacto com um obstáculo, produz uma variação de pressão no RAC, fazendo-o disparar e, por segurança, desligar os atuadores. Os robôs do fabricante Yaskawa possuem uma configuração dependendo dos eixos, sendo que, para o caso em concreto de cinco eixos, apresenta-se da seguinte forma: S/L/U/B/T, como é visível na Figura 4.11b.



(a) MPL-80.



(b) Configuração 5 eixos.

Figura 4.11: Robô MPL-80 e a sua configuração perante o número de eixos [62].

A ferramenta do robô MPL-80, representada na Figura 4.12, permite atribuir várias funções ao robô. Esta foi projetada para manipular várias dimensões de embalagens, pegando nelas e atribuindo-lhes uma nova orientação. Para tal, foram utilizados 11 sensores indutivos que permitem detetar até que posição o *grripper* tem de fechar, de forma manuseá-las sem as danificar com a pressão exercida. A abertura e fecho do *grripper* é realizado através

de um cilindro pneumático e de uma eletroválvula. Foi ainda implementado um sistema de anticolição para garantir a segurança de trabalho do robô quando este encontra na sua trajetória um obstáculo. De forma a organizar a cablagem dos sensores e atuadores da ferramenta, foi colocada uma caixa de derivação sobre a ferramenta. A cablagem que chega à caixa é proveniente do quadro elétrico e passa pelo interior do braço do robô.

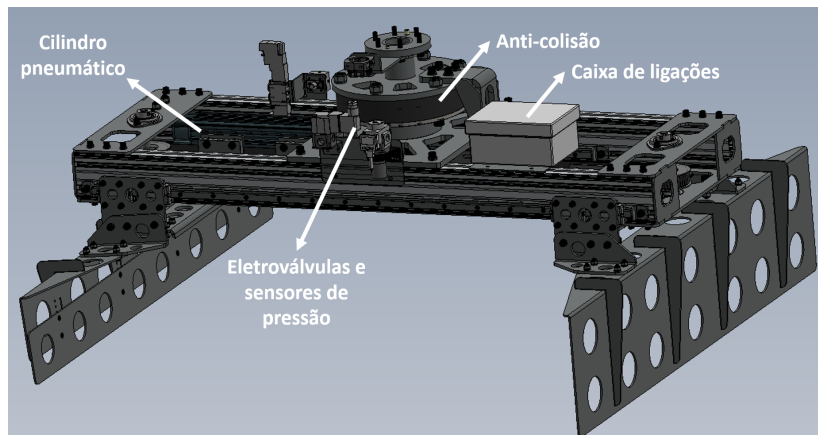
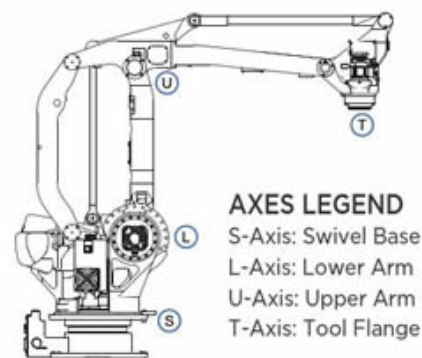


Figura 4.12: Ferramenta do robô 1.

- O robô de paletização da Yaskawa, modelo MPL-300, representado na Figura 4.13a, tem a capacidade máxima de 300 kg e possui quatro eixos de movimento, S/ L/ U/ T (ver Figura 4.13b). Para além da capacidade da passagem de cabos da base do robô até ao punho instalada por *default*, este tem ainda um braço oco que possibilita a passagem de mais cablagem, reduzindo as interferências e as manutenções. Acoplado ao punho, foi implementado um sistema de anticolição de forma a proteger o robô dos obstáculos e acidentes que poderão acontecer.



(a) MPL-300.



(b) Configuração 4 eixos.

Figura 4.13: Robô MPL-300 e a sua configuração perante o número de eixos [63].

A ferramenta, representada na Figura 4.14, possui um conjunto de sensores de instrumentação de forma a tornar o sistema fiável e garantir o correto funcionamento de todos os componentes. A ferramenta foi projetada para fazer tarefas de *pick and place* de camadas completas de embalagens de papel e com a capacidade pegar e transportar paletes vazias com dimensões de 1200 x 800 mm. Adicionalmente, possui um sistema que permite agarrar os divisores de camadas de cartão.

Caracterizada por seis ventosas e por um sistema de mola com sensor indutivo, o robô tem a capacidade de agarrar em divisores de camadas através da sucção e identificar a presença de cartão, respetivamente. Cada ventosa possui um cilindro pneumático com fins de curso magnéticos que permitem verificar o avanço e recuo das mesmas, quando ativada ou desativada a eletroválvula. O detetor de cartão possui um sensor indutivo que funciona como um contacto normalmente aberto que, quando entra em contacto com o cartão, faz encolher a mola e passar o detetor pelo sensor, indicando que está na presença de cartão. Caso o cartão se deixe cair ou tenha perdido a sucção da ventosa, o detetor volta à posição normal e a transição de "1" para "0" do sensor faz gerar um alarme avisando que não tem cartão.

A capacidade de agarrar em paletes é garantida por um sistema composto por dois cilindros e quatro garfos. Duas extremidades possuem dois garfos e um cilindro pneumático que, quando acionado através de uma eletroválvula, permite avançar os garfos, agarrando a paleta. Cada cilindro possui dois sensores magnéticos em cada extremidade de forma a verificar o posicionamento dos garfos durante o processo automático.

Para fazer o controlo da abertura e fecho da ferramenta, foram utilizados dois motores em cada eixo, uma vez que a ferramenta não apresenta uma estrutura quadrada. Cada motor possui um *encoder* e um sensor pressão. O motor pode ser controlado pela frequência de rotação, de posição e de binário. O método de funcionamento da ferramenta consiste em fecha-la em ambos os eixos até aproximar-se das dimensões da embalagem. De seguida, o motor passa a trabalhar em binário, exercendo uma pressão sobre as embalagens. A abertura da ferramenta acontece apenas tendo em consideração a posição zero, isto é, abertura máxima permitida.

A caixa eléctrica colocada sobre a ferramenta permite organizar as cablagens eléctricas dos sensores e dos motores que chegam até ao punho do robô através da cavidade oca do braço e punho.

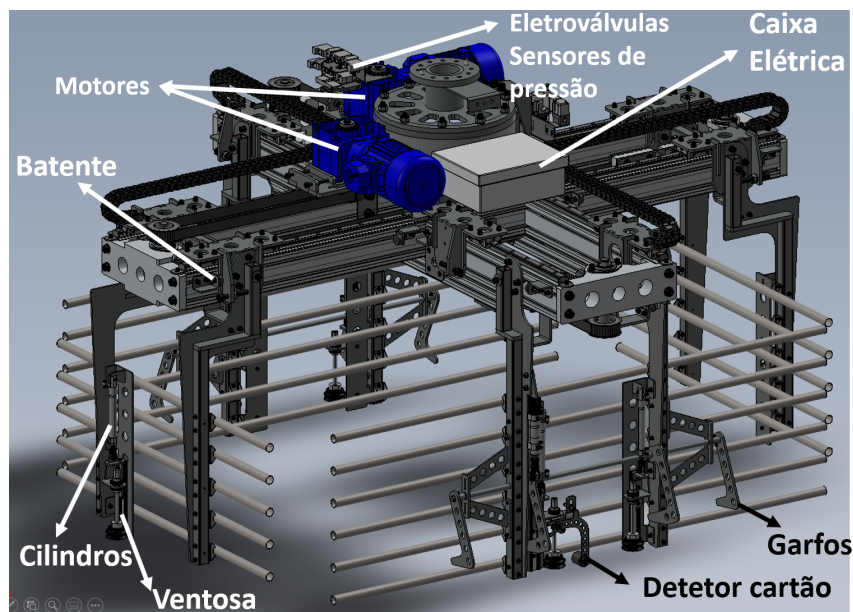


Figura 4.14: Ferramenta do robô 2.

4.5 Motores

Os motores são dispositivos indispensáveis no setor industrial nos dias de hoje, uma vez que podem ser aplicáveis em diversos sistemas como, nos transportadores, em robôs, máquinas industriais e em empilhadoras. Estes podem variar quanto à sua alimentação, podendo ser considerados como trifásicos ou monofásicos, de corrente contínua ou alternada. Podem ser controlados através de variadores de frequência, permitindo controlar um conjunto mais alargado de variáveis como a variação de velocidade, paragem segura, parametrização de vários pontos específicos dependendo das aplicações, entre muitos outros. Estes podem ser instalados nos próprios motores (ver Figura 4.15a) ou colocados em quadros elétricos específicos.

Neste projeto, os motores foram utilizados para permitir o movimento dos transportadores que conduzem as embalagens e as paletes. Para os transportadores foram implementados 12 motores trifásicos com os respetivos variadores, criando ilhas de comunicação entre eles através da rede CANopen. Cada ilha, possui um dispositivo mestre que mantém comunicação com o controlador do sistema através da rede Profinet, utilizando para tal uma carta Profinet específica, representada na Figura 4.15b. Como já referido anteriormente, foram ainda utilizados dois motores no dispensador de paletes.

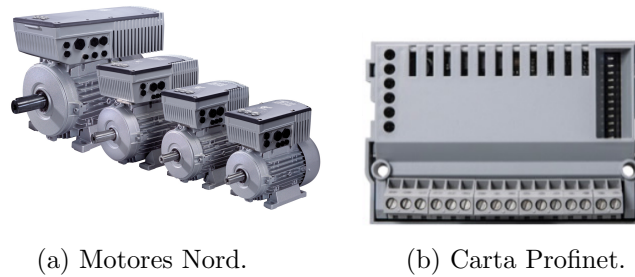


Figura 4.15: Motores com variadores NORD acoplados e cartas de comunicação Profinet.

Relativamente aos motores instalados na ferramenta do robô de paletização, dado que esta deve ter o menor peso possível, os respetivos variadores são colocados no quadro elétrico da célula. A comunicação entre eles procede-se de igual forma comparativamente com os restantes motores. Como estes variadores são diferentes dos restantes, estes possuem uma carta profinet diferente. Por serem mais complexos, os motores são controlados quanto à sua velocidade, paragem, arranque, posição e binário.

Na Figura 4.16 é apresentada a família de variadores NORD e a carta profinet utilizada nos variadores da ferramenta.

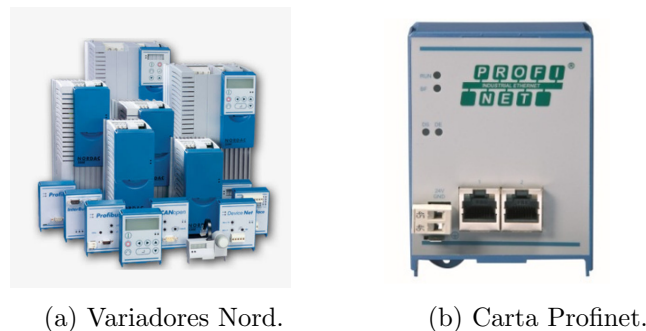


Figura 4.16: Variadores NORD e cartas de comunicação Profinet [64].

Na Tabela 4.1 são apresentadas as várias ilhas de comunicação criadas para realizarem a troca de dados com o PLC. Estão também explícitos a potência de cada motor e a identificação do posicionamento dos variadores nos motores. Como é visível, os motores de transporte de embalagens são de pequena potência, no entanto, os que transportam as paletes com produtos são caracterizados por uma potência maior. O motor que possui maior capacidade é o que se encontra instalado no dispensador de paletes e que contém travão, uma vez que tem de sustentar 16 paletes. Os motores do *gripper* são constituídos por um *encoder* e sensor de pressão, o que permite o funcionamento por controlo de posição e pressão, respetivamente.

Tabela 4.1: Quadro resumo das ilhas e potências dos motores

	Transportador	Potência (kW)	Ilhas Profinet	
Linha de Paletização	1	0,18	1	Variador Acoplado ao motor
	2	0,18		
	3	0,18		
Linha do dispensador e de evacuação	4	0,55	2	
	4,1	0,75		
	4,2	0,37	3	
	5	0,55		
Mesa Rotativa	6	0,55	4	
	7	0,55		
	8,1	0,55		
Linha de Paletes prontas	8,2	0,37	5	
	9	0,55		
	10	0,55		
Gripper	11	0,55	6	Variador instalado no Q.E.
	V1	0,37		
	V2	0,37		

4.6 Segurança

Como em todos os projetos automatizados, é necessário garantir uma segurança eficaz de todos os operadores e máquinas. Para tal, foram utilizadas duas zonas de trabalho distintas, uma vez que estas podem funcionar de forma independente uma da outra (zona 1 e zona 2).

Relativamente à segurança das paragens por emergência da zona 1, foram implementados quatro botões de emergência, sendo três correspondentes às fechaduras das portas e o outro encontra-se próximo ao dispensador de paletes. Adicionalmente, foi instalado um botão de emergência geral na porta do quadro elétrico que permite fazer a paragem geral de toda a célula. Cada robô possui um botão de emergência na sua consola. Uma vez que todos estes dispositivos se encontram ligados em série (à exceção do botão do dispensador), se apenas um deles for acionado, os robôs e os motores param o seu movimento. O botão de emergência do dispensador de paletes permite parar apenas os dois motores de subir e descer, bem como abrir e fechar os garfos. Junto ao dispensador, foi ainda instalada uma barreira com proteção de mãos.

A zona 2 é constituída pela máquina de envolvimento de paletes e etiquetadora. A máquina, apesar de pertencer à célula, possui um sistema de segurança e controlo independente. Junto à entrada de paletes externas à célula foi implementada uma barreira com *muting* que permite identificar a passagem de material e entrar em alarme em caso de entrada de pessoas. Na saída de paletes da PIERI, foi instalado um botão de emergência que é ativado em caso de acidente. Foram

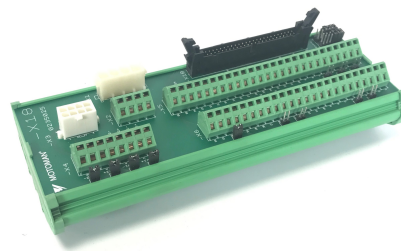
instaladas duas barreiras com *muting* na entrada e saída de paletes, de forma a impossibilitar a entrada não autorizada de pessoas.

A segurança dos robôs YASKAWA é assegurada com recurso às cartas de segurança X18 presentes nos controladores DX200. Estas permitem fazer a interligação do sistema envolvente com o robô: em caso de porta aberta, os robôs param o seu movimento deixando os servos ON; caso o botão de emergência seja pressionado os robôs desligam os servos.

Na Figura 4.17 são apresentados exemplos de equipamentos de segurança da família Allen Bradley e a carta de segurança instalada em cada robô.



(a) Equipamentos de segurança [65].



(b) x18 [66].

Figura 4.17: Equipamentos de segurança e cartas de segurança x18.

4.7 Envolvedora PIERI

Para fazer o envolvimento de paletes com produto, a Roboplan encontrou na empresa italiana PIERI, a máquina que precisava para realizar o envolvimento de paletes. De entre os vários produtos que esta comercializa, optou por escolher a envolvedora com o modelo Silver Go Ts (ver Figura 4.18), constituída por um braço giratório e um dispensador de película de polietileno superior para proteger a carga de sujidade e água.

A envolvedora possui um sistema de segurança e controlo próprio, com recurso ao PLC S7 1200 da Siemens. A célula da máquina possui três transportadores que são acionados perante a troca de sinais realizada com os sistemas instalados a montante e a jusante, neste caso, a célula de paletização. A máquina possui programas específicos para fazer a proteção da carga, fazendo a alteração da pressão da película sobre a carga ou a quantidade de filme a proteger. A escolha do programa é realizada através do painel de operador instalado no quadro elétrico.

O princípio de funcionamento consiste no envio do programa adotado e na troca de sinais realizada entre a envolvedora e o PLC, como são exemplo, a permissão de entrada de produto na célula, fim de envolvimento e a permissão

de saída. A entrada e saída de material da célula é identificada a partir de duas barreiras com *muting* que, caso identifiquem um objeto estranho no sistema, geram um alarme parando a envolvedora na totalidade. A célula da envolvedora possui uma porta que apenas permite a entrada de pessoas após o pedido de acesso de entrada realizado no painel de operador. Este vai ter de entrar muitas vezes na célula para abastecer a máquina com rolos de filme *stretch* e com película polietileno.



Figura 4.18: Máquina envolvedora PIERI.

4.8 Etiketadora

Para realizar a identificação dos produtos fabricados, a Roboplan recorreu à empresa Dominó para adquirir a etiquetadora com o modelo M230i-T4 (ver Figura 4.19). É uma máquina que tem a capacidade de imprimir em papel auto-colante etiquetas com o logótipo da empresa, as referências dos produtos, como também a hora e data de produção.

O controlo da impressora é realizado através da troca de sinais com o PLC que controla todo o sistema e que dá a permissão de impressão e recebe como *feedback* um sinal a indicar o fim da etiquetagem. Uma vez que existe uma grande quantidade de produtos fabricados, o dispositivo mestre envia em cada instante o código do produto fabricado.

A etiquetadora inicia a impressão após a interseção da palete com a fotocélula FT17 (ver Figura 4.10), que define que a palete está pronta a ser etiquetada. Para tal, o PLC envia um sinal à etiquetadora a dar permissão de início de impressão juntamente com o código do produto. O código é impresso na etiqueta e, após a indicação de impressão, o braço é esticado até encontrar o produto a etiquetar. Após sentir pressão, este é recolhido e a etiquetadora envia um sinal ao PLC indicando o fim do processo.



Figura 4.19: Etiquetadora.

Capítulo 5

Implementação

Este capítulo tem como principal objetivo descrever e explicar os métodos utilizados para a implementação da linha automática de paletização de embalagens de rolos de papel.

Numa primeira fase é abordado o tema da eletrificação do sistema, focando nos sensores de instrumentação de campo e a forma como estes são ligados, na construção do quadro elétrico e nos componentes utilizados, como também nos dispositivos de segurança e como estes são eletrificados. Passando para os equipamentos de maiores dimensões, é realizada uma explicação sobre as ligações dos motores dos transportadores, robôs, envolvente e etiquetadora. Posteriormente, e uma vez finalizada esta fase, é descrita de forma pormenorizada as parametrizações dos equipamentos como são exemplo os robôs, motores e o PLC.

5.1 Projeto elétrico

O projeto elétrico, desenvolvido a partir do *software* SEE Electrical, consiste no estudo e desenho das ligações elétricas em formato digital, dos esquemas de ligações dos componentes e o respetivo esquema do quadro elétrico. De forma a organizar as ligações, foram instaladas no terreno caixas de derivação com bornes duplos que permitem fazer a interligação entre o quadro elétrico e os periféricos de campo. Todos os cabos têm de estar devidamente identificados em formato digital e replicados na prática, de forma a ser de fácil compreensão e análise em caso de avaria.

5.1.1 Sensores

Os sensores são parte integrante de um projeto de automação e permitem conhecer o ambiente e o estado do sistema para o qual são aplicados, isto é, saber o posicionamento dos objetos ou máquinas, se o material já passou por um determinado local, entre muitas outras informações. Nesta secção são demonstrados os sensores utilizados neste projeto e apresentado o respetivo esquema de ligações e a função que desempenham quando aplicados.

5.1.1.1 Fotocélulas

As fotocélulas utilizadas na linha de paletização automática permitem fazer a deteção de embalagens e paletes nas transições entre transportadores ou identificar a presença de material num local. Para a escolha da fotocélula que melhor se adequa aos sistemas é necessário conhecer os objetos a serem detetados, uma vez que estes podem ser transparentes ou próprio material ser refletivo. No caso em concreto, os materiais a serem detetados são paletes de madeira e embalagens de rolos de papel que são envolvidos por plástico. Uma vez que este plástico pode causar reflexão, não é aconselhado utilizar sensores óticos com reflexão difusa. Assim sendo, e uma vez que é de fácil implementação, foram utilizados sensores óticos por retroreflexão, da família OMRON e com a referência E3FB-RP21-OMI. Este sensor, constituído por uma cápsula metálica, possui um alcance de feixe compreendido entre 0,1 a 4 metros e um tipo de conexão de cabo ou conector de 4 pinos. Por adoção, a Roboplan utiliza como *default* sensores com configuração PNP. Através do *datasheet* do fabricante é realizado um estudo e análise do dispositivo e são realizadas as ligações adaptadas a aplicação que se pretende.

Na Figura 5.1a está apresentado o esquema de ligações do sensor ótico da referência acima enumerada. Pela análise do esquema, pode-se concluir que existem dois métodos de funcionamento *light-ON* e *dark-ON*, apresentando à saída o sinal no estado lógico 1 ou 0 dependendo da presença ou ausência de luz. No primeiro modo a saída atinge o valor lógico 1 sempre que o recetor recebe a reflexão da luz, sendo que quando o material intersesta o feixe o *output* do sensor emite o estado lógico zero. O segundo modo apresenta o funcionamento inverso, isto é, com a ausência de material na interseção do feixe luminoso o estado da saída apresenta o valor 0 e após a interseção do feixe é apresentado um sinal com o valor lógico 1. O modo utilizado nos sensores óticos foi o *dark-ON*. Na Figura 5.1b é apresentado o conector de 4 pinos utilizado com as respetivas cores e descrições. A alimentação do sensor é realizada com os cabos 1 e 3 (castanho e azul, respetivamente). O cabo representado com a numeração 4 é o que transporta o valor em tensão até ao PLC que depois o converte no valor lógico 1 ou 0, dependendo da presença ou ausência de tensão. Uma vez que se utilizou o modo *Dark-ON*, o fio branco não foi ligado.

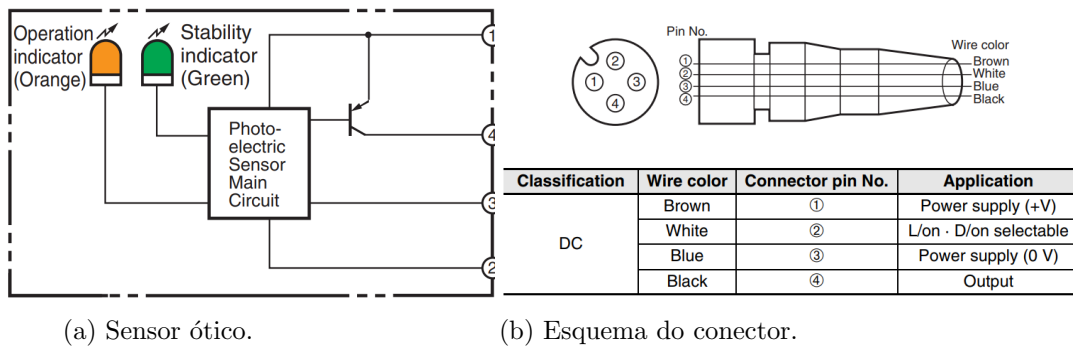


Figura 5.1: Sensor óptico por reflexão difusa e o respectivo esquema do conector utilizado [67].

5.1.1.2 Sensores magnéticos

Os sensores magnéticos foram instalados nos cilindros pneumáticos e servem exclusivamente para detetar a posição dos veios, isto é, na extremidade de cada cilindro são implementados dois sensores magnéticos que indicam se o veio está esticado ou recuado. O sensor utilizado pertence à família Aventics com a série ST6 e tem a referência R412022855 (Figura 5.2a). Este sensor tem apenas um modo de funcionamento em que apresenta o valor lógico 1 quando é magnetizado. Na Figura 5.2b é apresentado o esquema de ligações do sensor magnético do tipo PNP utilizado, onde o castanho (BN) e o azul (BU) representam a alimentação de 24 V e 0 V, respetivamente. O fio preto (BK) é o *output* e transporta a informação até ao dispositivo controlador do sistema.

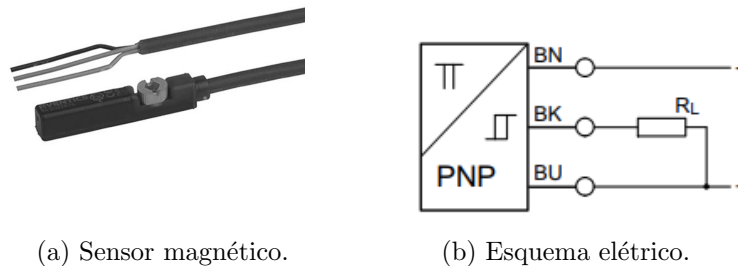


Figura 5.2: Sensor magnético e o respectivo esquema de ligação [68].

5.1.1.3 Sensores indutivos

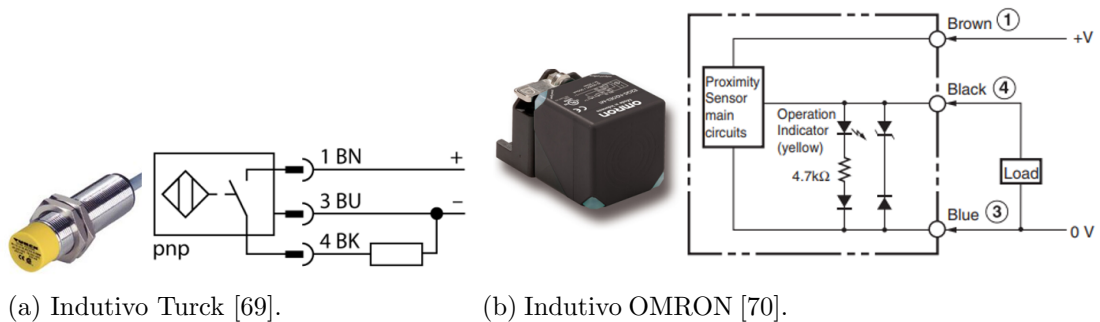
No projeto foram implementados dois tipos de sensores indutivos que fazem a deteção da posição de materiais com superfícies metálicas.

Os indutivos do fabricante Turck, com a referência BI1.5U-EGT08-AP6X-V1131, foram instalados na ferramenta do robô de manipulação de embalagens

para definir até quanto a ferramenta deve fechar para manusear os materiais com segurança. Este sensor foi ainda colocado no dispensador de paletes, permitindo definir os três níveis de posicionamento, como também identificar quando os garfos estão totalmente abertos ou fechados. Estes tipos de sensores utilizam uma alimentação de funcionamento de 24 V, com uma configuração elétrica do tipo PNP e uma saída normalmente aberta.

O outro modelo de sensores indutivos utilizados são da marca OMRON, com a referência E2Q5, e diferenciam-se dos anteriores pois possuem a capacidade de detetar superfícies metálicas de várias dimensões e com distâncias de deteção superiores. Estes foram aplicados na mesa rotativa, indicando a posição de entrada de paleta pela zona de evacuação automática ou, através do outro sensor, que a mesa está virada para a entrada de paletes externa.

Na Figura 5.3 estão representados os dois tipos de sensores indutivos com os respetivos esquemas de ligações. Em ambos os casos, os fios representados a cor castanha (BN) e azul (BU) representam, respetivamente, a alimentação de 24 V e 0 V. O fio a preto (BK) faz a comunicação entre o sensor e o PLC.



(a) Indutivo Turck [69].

(b) Indutivo OMRON [70].

Figura 5.3: Sensores indutivos e respetivos esquemas de ligação.

5.1.1.4 Fim de curso

Os fins de curso mecânicos apresentados na Figura 5.4 foram utilizados para identificar quando a ferramenta do robô de paletização chegava às extremidades. Para tal, para os eixos XX e YY foram utilizados quatro fins de curso, definindo quando a ferramenta está totalmente aberto ou totalmente fechado. De forma semelhante aos sensores anteriormente referidos, o princípio de funcionamento elétrico consiste num contacto normalmente aberto. Este apresenta uma tensão nula na ausência de passagem de material, no entanto, quando este toca no batede com mola, o sensor é acionado e transmite um valor em tensão ao PLC que, posteriormente, o converte no valor lógico 1. Eletricamente, este sensor utiliza uma alimentação de funcionamento de 24 V e 0 V transmitida pelos fios castanho e azul, respetivamente, sendo o fio preto destinado à comunicação com o PLC.



Figura 5.4: Fim de curso mecânico.

5.1.1.5 Eletroválvulas e sensores de pressão

As eletroválvulas permitem realizar o controle de fluídos, provocando a movimentação dos cilindros pneumáticos ou outros dispositivos. Como o próprio nome indica, a eletroválvula é ativa através de um sinal elétrico que posteriormente permite ou proíbe a passagem de um fluído. No projeto desenvolvido foram utilizados três batentes e um empurrador, todos controlados por cilindros pneumáticos que são acionados por eletroválvulas. O avanço e recuo do veio do cilindro provoca a subida ou descida do batente. Com o empurrador o processo é semelhante, uma vez que os dois cilindros pneumáticos utilizados são controlados por duas eletroválvulas independentes. Eletricamente, estas possuem apenas dois fios de ligação, o positivo de 24 V que traz o sinal enviado pelo PLC e o negativo de 0 V que fecha o circuito. Na Figura 5.5 é apresentada uma eletroválvula pneumática.



Figura 5.5: Eletroválvula pneumática [71].

Nos robôs foram implementados dois sistemas de anticolisão que previnem e reduzem os danos de colisões ou excessos de carga. O robô de manipulação possui um sistema de anticolisão RAC 100, permitindo pegar até 100 kg. Dada a dimensão da ferramenta do robô de paletização, foi instalado um sistema de anticolisão com maior capacidade RAC 300. Este sistema é caracterizado por uma eletroválvula e um sensor de pressão. Uma vez acionada a eletroválvula o sistema fica sujeito a uma determinada pressão. Após uma colisão ou excesso de carga, o sensor de pressão sente a pressão imposta e a câmara pressurizada abrir-se-á, immobilizando o robô e gerando um alarme.

Adicionalmente, e uma vez que a ferramenta do robô de paletização contém muitos sensores, são ainda utilizadas três eletroválvulas: uma para avançar e recuar os cilindros que permitem avançar e recolher os garfos; outra para avançar

e recuar as ventosas e, por último, uma que permite fazer o vácuo para as ventosas. Na ferramenta do robô de manipulação, foram utilizadas ainda duas eletroválvulas para abrir e fechar o *gripper*. Adicionalmente, para além do sensor de pressão do sistema de anticolisão, foi utilizado outro sensor que permite verificar a pressão exercida sobre embalagens durante o fecho da ferramenta.

Na Figura 5.6 é apresentado um sensor de pressão e um exemplo de um sistema de anticolisão, mais concretamente, um RAC 160.



(a) Sensor pressão [72].



(b) Rac 160 [73].

Figura 5.6: Exemplos de sistema de anticolisão e de um sensor de pressão instalados no *gripper* dos robôs.

5.1.2 Motores

Os motores são controlados pelos variadores e, dependendo da forma como são instalados, os variadores podem ser de dois tipos, sendo a eletrificação e as cartas de comunicação diferentes dos restantes tipos.

Os variadores dos transportadores que são acoplados nos próprios motores têm a referência SK 215E e possuem as ligações representadas na Tabela 5.1. Para além das ligações de potência realizadas entre o variador e o motor, e que não estão representadas no esquema, foram utilizados as seguintes ligações:

- (44:40) - representam a alimentação de controlo do variador com uma tensão de 24 V no pino 44 e 0 V no pino 40. Esta alimentação é a mesma utilizada para os sensores de instrumentação utilizados no projeto.
- (88:89) - as tensões de 24 V e 0 V aplicadas nos pinos 89 e 88, respetivamente, permitem fazer a paragem de segurança do motor. O sinal de 24 V passa por um conjunto de relés de segurança que, após a análise das condições de entrada permitem fazer o corte do sinal e parar os motores.
- (77:78) - representam as ligações do *system bus* e permitem fazer a comunicação CANopen entre os motores. A comunicação é realizada com os restantes variadores através dos pinos 77 e 78. O motor mestre da comunicação e que contém a carta Profinet, precisa também de ligar estes pinos aos respetivos pinos 77 e 78 da carta.

- (79:80) - os motores que apresentarem travão elétrico devem-no conectar nestes pinos.
- (38:39) - o termistor do motor permite fazer a leitura de temperatura. Ao atingir a temperatura de resposta nominal, o termistor aumenta o seu valor de resistência em quase 10 vezes. Quando atinge estes valores, por proteção o motor desliga-se.

Tabela 5.1: Esquema de ligações dos variadores NORD [74].

Device type		SK 205E	SK 215E	SK 225E	SK 235E	
Labelling			SH	AS1	SH+AS1	
Pin						
43	1	44	24 V (input)*			
14/84	2	44/84	24 V (input)*	ASI+		
16	3	40	GND			
12/85	4	40/85	GND	ASI-		
21	5	21	DIN1			
22	6	22	DIN2			
23	7	23	DIN3			
24/89	8	24/89	DIN4	24 V SH	DIN4	24 V SH
40/88	9	40/88	GND	0V SH	GND	0V SH
1	10	1	DOUT1			
40	11	40	GND			
77	12	77	SYS H			
78	13	78	SYS L			
11	14	-	---			
3	15	79	MB+			
40	16	80	MB-			
38	17	38	TF+			
39	18	39	TF-			

A carta Profinet dos variadores que são acoplados aos próprios motores com a referência SK CU4-PNT-C possui as ligações representadas na Tabela 5.2a. A comunicação entre o variador mestre da ilha e o PLC é realizada através de um cabo Ethernet de sete linhas, que de uma extremidade é ligado em fios aos pinos da carta e do outro é cravado um terminal RJ45 que é conectado ao *switch* instalado no quadro elétrico. A ligação é do tipo T568B e utiliza quatro linhas de comunicação que correspondem Rx+, Rx-, Tx+ e Tx-. Na Tabela 5.2b são apresentadas as ligações do cabo Ethernet ao variador e como é cravado o terminal RJ45 na outra extremidade. A carta possui ainda uma alimentação de 24 V e 0 V nos pinos 44 e 40. Os pinos 77 e 78, referentes à comunicação CANopen, são ligados entre a carta e o variador.

Tabela 5.2: Ligações da carta Profinet, do variador e do cabo RJ45 que faz a comunicação com o dispositivo mestre da comunicação.

Contact	Designation	Description
E8	PHY1 RX-	Ethernet connection 2 Receive Data -
E7	PHY1 RX+	Ethernet connection 2 Receive Data +
E6	PHY1 TX-	Ethernet connection 2 Transmission Data -
E5	PHY1 TX+	Ethernet connection 2 Transmission Data +
E4	PHY0 RX-	Ethernet connection 1 Receive Data -
E3	PHY0 RX+	Ethernet connection 1 Receive Data +
E2	PHY0 TX-	Ethernet connection 1 Transmission Data -
E1	PHY0 TX+	Ethernet connection 1 Transmission Data +
78	SYS -	System bus data line -
77	SYS +	System bus data line +
C1	DIN1	Digital input 1
C2	DIN2	Digital input 2
40	GND/0V	Reference potential (0 V/GND)
44	24 V	Supply voltage (+24 V)
40	GND/0V	Reference potential (0 V/GND)
44	24 V	Supply voltage (+24 V)

(a) Ligações da carta Profinet [75].

Pino	T568B	Variador
1	Branco / Laranja	E1
2	Laranja	E2
3	Branco / Verde	E3
4	Azul	
5	Branco / Azul	
6	Verde	E4
7	Branco / Castanho	
8	Castanho	

(b) Ligações variador e RJ45 (Adaptado de [76]).

Os variadores dos motores instalados no *gripper* encontram-se no quadro elétrico e têm um aspeto e tipo de ligação diferente. O variador mestre com a referência SK 511E-550-340-A possui a carta Profinet SK-TU3-PNT. Para além das ligações de potência nos terminais L1, L2, L3 e terra, são realizadas as ligações da carta Profinet e da rede CANopen. As ligações da rede Profinet é realizada entre o PLC e o variador, sendo o cabo Ethernet composto por dois terminais RJ45. Na Figura 5.7 são apresentadas as ligações Profinet e a respetiva carta. Identificado pela numeração "1" é apresentado o local onde se conecta o terminal RJ45 que vai comunicar com o PLC. Identificado com a numeração "2" encontra-se a alimentação da carta com 24 V e 0 V.

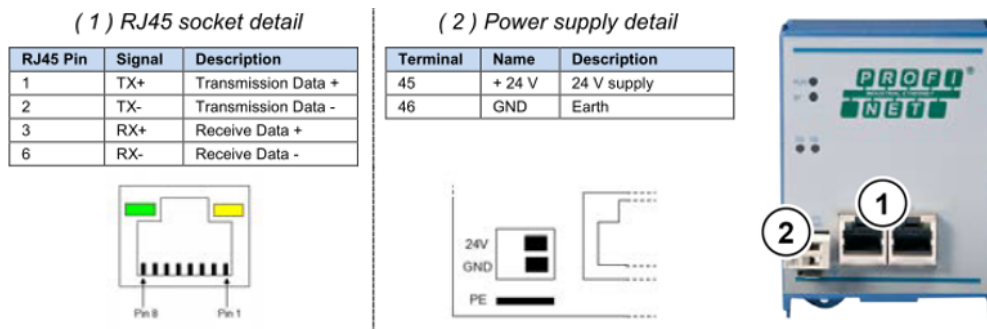


Figura 5.7: Esquema da carta Profinet presente no variador do quadro elétrico.

Relativamente à comunicação CANopen, o barramento é alimentado única-

mente pelo dispositivo que contém a carta Profinet. A alimentação do barramento de comunicação é realizada através de um cabo Ethernet que utiliza numa extremidade um terminal RJ45 que liga ao variador e na outra apenas os fios 7 e 8 que transportam 24 V e 0V, respetivamente. Um cabo Ethernet com as duas extremidades cravadas com terminal RJ45 conforme é representada na Figura 5.8, permite estabelecer a comunicação CANopen entre os dois motores. Este é ligado nos terminais X9 e X10 dos variadores.

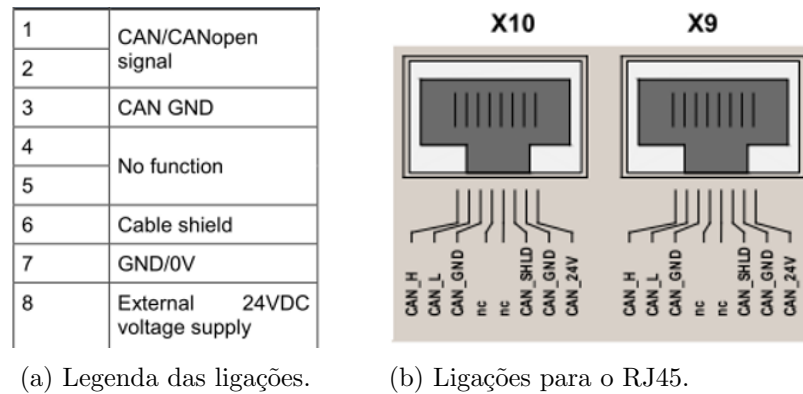


Figura 5.8: Ligações do cabo RJ45 para a comunicação por CANopen.

5.1.2.1 Parametrização dos variadores dos motores

A parametrização dos variadores é muito semelhante entre eles, sendo realizadas alterações na sua potência, endereço e tipo de comunicação, nos valores máximos e mínimos de frequência e nos tempos de aceleração e desaceleração. Os motores que possuem *encoder* e travão necessitam, adicionalmente, de uma configuração específica. De seguida, são apresentados e explicados os pontos mais importantes que fazem parte da parametrização dos variadores de frequência e que são realizados através do programa NORDCON e através de um cabo RS232.

Parâmetro:

- 102 - *acceleration time* - ajuste do tempo de aceleração dos motores quando acionados. Quanto mais próximo de zero for o número inserido, mais rápido o motor chega até à frequência estabelecida;
- 103 - *deceleration time* - ajuste do tempo de desaceleração dos motores que corresponde ao tempo que demoram desde que são desligados até parar. Um número pequeno produz uma paragem rápida do motor;
- 104 - *minimum frequency* - frequência mínima de rotação do motor. Se não lhe for inculida uma frequência de rotação, o motor quando acionado irá rodar com a frequência mínima definida por *default*;

- 105 - *maximum frequency* - frequência máxima de rotação. Estes valores estão definidos na chapa de característica do motor;
- 107 - *brake reaction time* - os tempos de reação dos freios são valores tabelados pelo fabricante e dependem do variador aplicado ao motor com travão [77]. Neste caso específico, foi utilizado um valor de 0,24 ms, tempo necessário para acionar o freio do motor;
- 114 - *brake delay off* - é o intervalo de tempo que permite desativar e fazer a abertura do freio. Este valor encontra-se tabelado pelo fabricante [77];
- 200 - *motor list* - permite fazer a identificação do motor perante a tensão de alimentação e a sua potência. Após a definição deste campo, os valores de frequência nominal, velocidade nominal, corrente nominal, tensão nominal e potência nominal, são automaticamente preenchidos;
- 503 - *leading function output* - este parâmetro deve ser definido em todos os variadores com *System bus active*, possibilitando a comunicação entre eles;
- 509 - *source control word* - parâmetro que permite fazer o controlo do motor diretamente através do computador, utilizando a opção [2]:USS. Para o funcionamento e controlo dos motores de forma automática, é necessário definir o variador mestre com o parâmetro [8]:Ethernet TU, sendo que os restantes dispositivos escravos da ilha têm de ser configurados com o [6]CANopen;
- 514 - *CAN bus baudrate* - segundo o fabricante, o *baudrate* da comunicação CANopen é de 250 kBaud;
- 515 - *CAN bus address* - os endereços dos dispositivos começam no número 32 do variador mestre, sendo que os restantes possuem os números pares seguintes, 34, 36, e assim sucessivamente, até a um máximo de oito variadores;
- o controlo dos motores é realizado através do envio de *control words* que são definidas nos parâmetros do variador. Assim, torna-se possível enviar ordens de arranque e paragem, valor da frequência pretendida, o valor de pressão a exercer, entre muitas outras funcionalidades. Como *feedback*, o motor pode retribuir muitas funções como posição atual, pressão atual, frequência atual e consumo de corrente atual.

Para tal, são utilizados os parâmetros 542, 543, 544, 545 para receber o *feedback* do variador. O envio de dados de controlo é realizado através dos parâmetros 546, 547, 548 e 549. No caso em concreto, para os variadores dos transportadores são enviados os valores de frequência pretendidos e a *control word* de paragem e de arranque. Para verificar o seu funcionamento, o PLC recebe como *feedback* o valor da frequência atual e a informação de

erro. Os variadores dos motores da ferramenta, uma vez que possuem *encoder*, possuem um controlo mais específico. O PLC envia para o variador o valor da frequência e os valores de posição e pressão pretendidos. Como verificação, recebe o valor da frequência atual, a posição atual e a informação da ocorrência de erro. Através destes motores é possível fazer o controlo de posição do *gripper*, isto é, definir até que posição ele vai fechar, assim como, definir a pressão que ele vai utilizar para pegar nos materiais.

Na Figura 5.9a é apresentada de forma detalhada a constituição de uma *control word* de 16 bits. Do lado direito, na Figura 5.9b, está representada a *status word* que permite dar o *feedback* do motor ao PLC. O controlo do variador pode ser realizado bit a bit da *control word*, fazendo alterar o estados dos bit individualmente. Os sinais representados a cinzento significam que o bit não está no estado ativo nem desativo. Os sinais apresentados a verde possuem o bit ativo e no estado lógico "1". Caso o sinal apresente a cor vermelha, significa que está em erro ou que existe um canal que tem ausência de sinal.

Bit	Name	State
0	Ready	0
1	Voltage enabled	1
2	Fast hold (inhibited)	1
3	Voltage enabled	1
4	Pulse enabled	1
5	Enable ramp	1
6	Setpoint enabled	1
7	Error quit (0->1)	0
8	Start function 481.9	0
9	Start function 481.10	0
10	Control data enabled	1
11	Right turn on	0
12	Left turn on	0
13	Reserved	0
14	Parameterset bit 0 on	0
15	Parameterset bit 1 on	0

Bit	Name	State
0	Ready to start	1
1	Ready for operation	0
2	Enabled	0
3	Error	0
4	Voltage enabled	1
5	Fasthold	1
6	No starting lockout	0
7	Warning activ	0
8	Setpoint reached	1
9	Bus control active	1
10	Start function 481.9	1
11	Turn right on	1
12	Turn left on	0
13	Start function 481.10	1
14	Parameterset bit 0 on	0
15	Parameterset bit 1 on	0

(a) *Control word*.(b) *Status word*.Figura 5.9: Constituição bit a bit da *control word* e da *status word*.

Uma vez finalizada a parametrização dos motores, estes são configurados no *software* do PLC da Siemens, o Tia Portal. A configuração do PLC e dos dispositivos a ele conectados são explicados mais à frente.

5.1.3 Equipamentos de segurança

Neste ponto serão abordados os dispositivos de segurança utilizados, como estes são eletrificados e serão explicados os respetivos princípios de funciona-

mento. A pedido do cliente, todos os dispositivos de segurança podem apenas ser da família Allen Bradley ou Sick. Após um estudo do mercado e dos vários equipamentos disponíveis, optou-se pela primeira marca, uma vez que apresenta produtos mais sofisticados e com mais funcionalidades, como são exemplo as fechaduras.

5.1.3.1 Fechaduras das portas e emergências

As fechaduras de porta utilizadas possuem botões programáveis, um botão de emergência e, opcionalmente e uma manete interior. Na Figura 5.10 é apresentada a fechadura de três botões e uma botoneira de emergência. Este tipo de fechadura possui dois modos de funcionamento: *power to release*, onde é necessário tensão/energia para fazer o desbloqueio da porta ou pedir permissão para entrar; ou *power to lock* que permite utilizar a energia/tensão para fazer o bloqueio da porta, sendo que, em caso de falha de energia da célula, qualquer operador tem permissão para entrar. Devido à disponibilidade do produto em *stock* e porque é mais vantajoso dar tensão apenas quando existe pedido de entrada, garantindo assim que não entra ninguém dentro da célula mesmo quando existe interrupção de energia, optou-se por escolher a fechadura do tipo *power to release*, com a referência 442G-MABR-UT-C04.



(a) Módulo.



(b) Manete.

Figura 5.10: Fechadura Allen Bradley com três botões mais botão de emergência [78].

No Anexo B é apresentada uma tabela que descreve as funcionalidades e os pinos de ligação que o módulo da fechadura possui. Com base nesta, foram realizadas as ligações para permitir fazer a série do trinco das fechaduras, a série das botoneiras de emergência e ainda fazer as ligações ao PLC, permitindo criar funções específicas para cada fechadura. Os botões das fechaduras foram utilizados para: fazer o pedido de entrada na célula, fazer o pedido de rearme da porta e para autorizar o arranque da célula. De acordo com a informação disponibilizada no manual do fabricante, cada botão possui três fios de ligação controlados pelo PLC. Um fio é considerado como uma entrada para o PLC, pois traz o sinal de 24 V que indica que o botão foi pressionado; os outros dois fios são consideradas saí-

das e, perante a lógica desenvolvida, permitem por exemplo, destrancar a porta e acender o LED do respetivo botão.

O botão de cor amarela permite fazer o pedido de entrada na célula e mantém o LED ligado até que a porta fique fechada. Quando este é pressionado o fio conectado ao terminal x2.7 envia um sinal de 24 V ao PLC que, posteriormente, coloca 24 V nos fios que liga o LED e no que permite o destrancamento da porta através dos terminais x3.1 e x3.7, respetivamente. O botão com a cor azul, quando pressionado, permite fazer o pedido e rearme da fechadura. Através do terminal x3.2 é realizado o pedido de rearme da fechadura, sendo posteriormente a fechadura rearmada através da colocação de 24 V (mínimo três segundos) no terminal x4.6. Uma vez rearmada a segurança da fechadura, o LED acende através da aplicação de 24 V no x3.3. Por último, o botão verde permite colocar a célula a produzir novamente. Sempre que existe uma interrupção do funcionamento normal da célula através da abertura de uma porta, após o seu fecho e rearme, se este botão não for pressionado, a célula não arranca. O pedido de *start* é realizado através da ligação do terminal x2.5 do módulo da fechadura ao PLC que, posteriormente, dá a permissão de arranque.

As ligações série das fechaduras da porta são garantidas através de dois canais de segurança (A e B). Na Figura 5.11 é possível visualizar os terminais da fechadura e como as ligações elétricas entre fechaduras foram realizadas. Uma vez que o circuito de segurança se encontra fechado através de dois canais, basta apenas uma porta abrir-se para os contactos abrirem, provocando o disparo do relé.

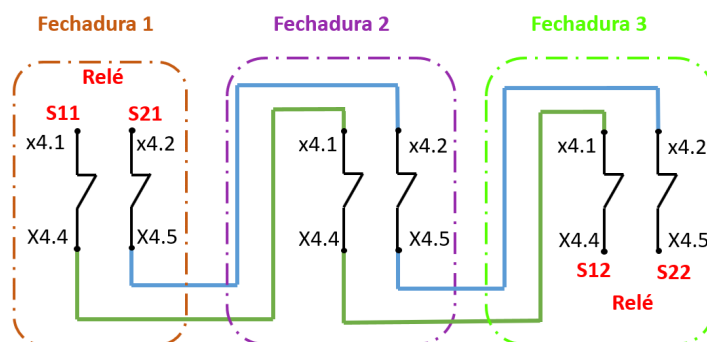


Figura 5.11: Esquema de ligação série das fechaduras.

Para além das ligações elétricas entre fechaduras, para estas funcionarem em série são necessárias realizar configurações através dos *dip switches*. Para tal, é necessário seguir um procedimento de configuração para cada uma das fechaduras que está descrito no manual do fabricante [78].

De forma semelhante às ligações elétricas das fechaduras em série, o mesmo sucede com as ligações das emergências das fechaduras e das botoneiras, uma vez

que possuem contacto duplo e a série inicia e termina no relé. Os terminais das entradas de emergência da fechadura são as entradas x2.1 e x2.2 (canal A e B) e os terminais das saídas os x2.3 e x2.4. De forma sucessiva, os terminais de saída desta fechadura ligam-se aos da entrada da próxima.

A porta com abertura de correr utilizada apenas para efeitos de manutenção é constituída por uma fechadura de trinco magnético. Para poder entrar na célula, o operador tem primeiro de pedir autorização na HMI e, só depois é que é permitida a sua entrada. A fechadura escolhida com a referência TLS-GD2 possui apenas um canal de segurança e uma opção de *feedback* para confirmação de porta fechada. Na Figura 5.12 é apresentado o esquema das ligações do trinco magnético. Aos terminais 2 e 7, que correspondem à bobine do solenoide A1 e A2 respetivamente, ligam-se os 0 V e o sinal de 24 V proveniente do PLC. Uma vez alimentado o solenoide, este faz com que os contactos alterem o seu estado. Uma vez que se trata de uma fechadura *power to release*, enquanto a bobine está energizada, o sistema encontra-se de livre acesso e em insegurança. Os contactos 21 e 22 permitem fazer o reconhecimento do estado da lingueta, isto é, detetar se esta está no corpo da fechadura e, em caso afirmativo, fecha o circuito de segurança do relé do trinco magnético.

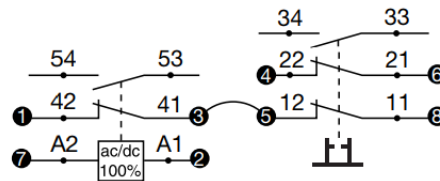



Figura 5.12: Esquema de ligações do trinco magnético [79].

5.1.3.2 Barreiras de segurança

As duas barreiras do fabricante Allen Bradley são de fácil instalação e eletrificação, pois necessitam para o seu funcionamento apenas de dois cabos com extremidades com conetor M12 e RJ45. Os conetores M12 ligam-se à barreira emissora e recetora, sendo a extremidade RJ45 ligada a relés específicos e instalados no quadro elétrico. A barreira com *muting*, com a referência 445L-P4E1200FP, possui uma resolução de 14 mm e utiliza o relé MSR42 para fazer a alimentação e processamento da informação. Na Figura 5.13 é apresentado o *layout* do relé e a respetiva descrição de cada pino. Com base no *datasheet* do produto, alimentou-se o relé com 24 V e 0 V nos respetivos pinos; ligaram-se os pinos OSSD1 e OSSD2 ao relé de segurança MSR126R (descrito mais à frente); por fim, os GPIO1 e GPIO2 são ligados às fotocélulas de *muting* que permitem detetar a presença de material.



LED	Signal / Color /Status	Signal / Color /Status
Lamp	Orange / muting or blanking activated	Off / muting or blanking not activated
GPIO4	+24 V / green / automatic start	0 V / off / manual start
GPIO3	+24 V / green / manual start signal high or automatic start	0 V / off / manual start
GPIO2	+24 V / green / Teach-in Blanking active	0 V / off / Teach-in Blanking inactive
GPIO1	+24 V / green / Teach-in Blanking active	0 V / off / Teach-in Blanking inactive
OSSD2	+24 V / green / Micro 400 not Activated	0 V / red / Micro 400 activated (e.g. interrupted)
OSSD1	+24 V / green / Micro 400 not Activated	0 V / red / Micro 400 activated (e.g. interrupted)
Info2 (LED)	See page 4	See page 4
Info1 (LED)	See page 4	See page 4
IN2	+24 V / green / start release okay	0 V / red / no start release signal
IN 1	+24 V / green / no test	0 V / red / test
0 V	-	-
+24 V	+24 V / green / power connected	0 V / off / no power connected

Figura 5.13: *Layout* e descrição dos pinos de ligação do relé auxiliar MSR42 [80].

A barreira sem *muting* possui a mesma referência que a anterior, no entanto o relé auxiliar possui características diferentes, uma vez que não tem a funcionalidade de *muting*. O relé possui a referência MSR41 e comunica com o emissor e recetor através de cabo RJ45 e conetor M12 nas extremidades. Na Figura 5.14 é apresentado o esquema de ligações da barreira ao relé MSR41 com rearme automático. Uma vez que se trata apenas de um relé auxiliar, optou-se por fazer a este um rearme automático e ao relé de segurança um rearme manual. Com recurso ao *datasheet* do produto e às ligações de exemplo disponibilizadas, alimentou-se o relé com 24 V e 0 V e colocou-se 24 V no pino IN2 do relé, permitindo o rearme automático. Os canais OSSD1 e OSSD2 são ligados ao relé de segurança MSR9 que, após a deteção de corpos na interseção da barreira, faz a paragem dos robôs, como é explicado mais à frente.

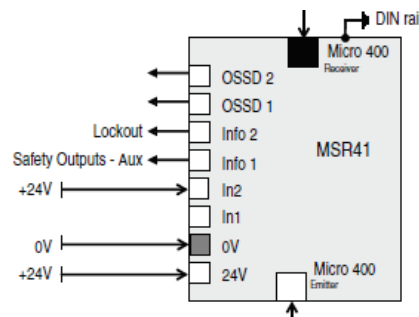


Figura 5.14: Exemplo de ligação do relé MSR41 [81].

5.1.4 Quadro elétrico

O dimensionamento do quadro foi realizado juntamente com o projeto elétrico e permitiu fazer a escolha mais acertada do seu tamanho e definir o posicionamento dos componentes. Os equipamentos que produzem mais calor, como os variadores do *gripper*, foram colocados na zona superior do quadro, uma vez que emitem ar quente que se torna prejudicial aos dispositivos localizados na periferia. Juntamente com os variadores, encontram-se os equipamentos de potência que fazem a proteção dos motores e robôs. Na zona inferior encontram-se os dispositivos de controle, como o PLC, relés de segurança e os bornes de saída que fazem a ponte entre os componentes internos do quadro e os dispositivos de campo.

Após os cálculos do consumo dos equipamentos do projeto de paletização, concluiu-se que foi necessário o fornecimento de uma corrente de 80 A, uma vez que existem equipamentos com grande consumo de energia como os robôs, motores e máquina envolvente. A alimentação disponibilizada pela fábrica entra na zona inferior do quadro, através de um cabo de 5 linhas e de diâmetro 10 mm, que liga diretamente nos bornes de entrada. O cabo possui as três fases (L1, L2 e L3), mais o neutro (N) e a terra (PE). Internamente, a alimentação chega até ao interruptor que permite fazer o corte geral da alimentação do quadro. Na saída deste a tensão subdivide-se em duas partes, sendo uma direcionada para a alimentação do quadro e outra para a alimentação da PIERI.

5.1.4.1 Dimensionamento dos equipamentos de proteção

Dado que a Pieri é uma máquina que tem a capacidade de trabalhar de uma forma independente da restante linha de paletização, a alimentação e proteção dos equipamentos é individual. A Pieri possui um consumo de 13 A, como tal, para fazer a proteção do ser humano e da máquina, foram adicionados um diferencial de 40 A e um disjuntor de 32 A. Por exigência, todos os equipamentos elétricos devem ser do fabricante Schneider. A alimentação do quadro passa por um diferencial seccionador que, posteriormente, utiliza um barramento trifásico que permite fazer a repartição de tensão para os vários componentes. Cada fase L1, L2 e L3 liga às respetivas fases dos disjuntores que fazem a proteção dos motores, robôs e etiquetadora. A saída dos disjuntores é ligada diretamente aos bornes de saída instalados na zona inferior do quadro, permitindo fazer a alimentação dos equipamentos e máquinas de campo. Os disjuntores dos dois variadores instalados no quadro são ligados diretamente aos variadores, sendo a tensão de saída já controlada e ligada aos bornes de saída e conseqüentemente, aos motores.

Para o cálculo da capacidade que os disjuntores e os diferenciais devem possuir, de forma a garantir a proteção dos equipamentos a jusante, utilizou-se o manual de fabricante e a sua ficha técnica para uma análise das características

de funcionamento como a tensão, corrente nominal, potência, entre outros. De forma a proteger os equipamentos, o disjuntor deve possuir uma capacidade de proteção com uma corrente de 1,5 a 1,7 vezes o valor da corrente nominal. Os cálculos para descobrir o valor de corrente máxima utilizado para proteger os equipamentos resulta da soma de todos os valores de correntes calculados para os disjuntores. Tendo por base esta teoria, foram calculados os valores dos disjuntores e diferenciais que melhor se adequam aos equipamentos, garantindo a sua proteção e do meio envolvente. Na Tabela 5.3 encontram-se apresentados os valores dos disjuntores utilizados para fazer a proteção dos equipamentos como os 16 motores, 2 robôs, etiquetadora e a maquina envolvente, Pieri. Os valores dos disjuntores e diferenciais são apresentados abaixo e tiveram em conta os dados de potência máxima, corrente nominal e a corrente de proteção mínima aconselhável. Após a soma dos valores de corrente dos disjuntores, calculou-se o valor do adequado para o diferencial.

Tabela 5.3: Tabela de valores de disjuntores e diferenciais.

Equipamento	Quantidade	Potência (kW)	Corrente (A)	Corrente de proteção (A)	Capacidade do disjuntor (A)
Motores	3	0,18	0,45	0,77	1
	8	0,55	1,38	2,34	3
Transportadores	2	0,37	0,93	1,57	2
	1	0,75	1,88	3,19	4
Motores Gripper	2	0,37	0,93	1,57	3
Robô 1	1	2,31	5,78	9,82	16
Robô 2	1	5,60	14,00	23,80	25
Etiquetadora	1	0,29	1,27	2,16	6
				Diferencial Quadro	60
PIERI	1	5,2	13	22,1	32
				Diferencial Pieri	40

Na zona inferior do quadro foram instalados os instrumentos de controlo, isto é, todos os dispositivos que operam através de uma alimentação de 24 V, como são exemplo o PLC, os relés de interface, os relés de segurança e os *switches*. A célula dispõe de duas fontes de alimentação distintas, sendo uma utilizada para a alimentação dos sensores de instrumentação e outra para alimentação do sistema de segurança, como os relés de segurança e alimentação de barreiras.

5.1.4.2 Equipamentos de controlo

O PLC S7 1200 da Siemens com o modelo CPU 1214C C DC/DC/DC foi o escolhido para fazer a gestão e controlo da linha de paletização. Dada o número de sinais a serem controlados pelo PLC, para além da CPU que possui 14 entradas

e 10 saídas, foram necessárias três cartas digitais com 16 entradas (SM1221) e duas cartas digitais de 16 saídas (SM1222). O esquema de ligações do PLC e das cartas encontram-se na manual do fabricante [82].

Uma vez que a CPU escolhida não possui saída a relé, são utilizados relés de interface que fazem a interligação entre a saída do PLC e o atuador final. A escolha de PLC sem relés integrados é vantajosa pois, caso estes se danifiquem, são facilmente trocados por novos, sem a necessidade de um arranjo mais dispendioso ou paragem de produção por longos períodos de tempo.

5.1.4.3 Equipamentos de segurança

Os equipamentos de segurança implementados no quadro elétrico visam garantir a segurança das máquinas e do ser humano. São compostos por relés de segurança da marca Allen Bradley e fazem o corte ou acionamento dos atuadores perante a ativação dos dispositivos de segurança, como as botoneiras de emergência ou barreiras de segurança. Mais adiante, serão referidos os sensores e equipamentos de segurança implementados no terreno e que são conectados aos dispositivos de segurança do quadro.

Como referido anteriormente, a segurança da linha de paletização foi dividida em duas zonas distintas, sendo a primeira relativa à zona de paletização e a segunda ao envolvimento de paletes.

Na primeira zona, teve que se ter em conta as botoneiras de emergência das três portas, outra que é colocada no dispensador de paletes e outra junto à entrada de paletes externas estruturadas. Uma vez que as botoneiras são eletricamente ligadas em série, qualquer uma destas, quando pressionada faz disparar os relés e, conseqüentemente, parar os 13 motores e os dois robôs. Para uma melhor compreensão do número de motores, de portas e de painéis de operador com botoneira de emergência, são apresentados na Figura C.1 as respetivas identificações.

Na Figura D.1 está representado o esquema elétrico do relé MSR142RTP que tem como entrada as botoneiras de emergência das três fechaduras das portas e dos dois botões de emergência acima referidos. O circuito de segurança das botoneiras de emergência é composto por dois canais (CH1 e CH2) com contactos normalmente fechados. Os terminais S11 e S21 possuem 24 V e levam a alimentação até às botoneiras que, estando em segurança e sendo contactos fechados, fazem chegar novamente essa tensão aos terminais S12 e S22 do relé. Quando pressionadas as emergências das botoneiras e das fechaduras este relé permite fazer a paragem dos dois robôs e dos 13 motores dos transportadores, do *gripper* e do dispensador de paletes. Os terminais 63, 64 permitem alimentar o relé seguinte, estabelecendo uma ligação série.

O relé adicionado a jusante possui a referência MSR127RP e permite fazer a paragem dos motores quando pressionados os botões de emergência das conso-

las. Na Figura D.2 está representado o esquema elétrico do relé que tem como dispositivo de entrada os botões de emergência do robô, proveniente da carta de segurança x18 instalada nos controladores. Dado que as emergências das consolas devem ser ligadas eletricamente em série entre os dois robôs, o circuito de segurança foi realizado conforme é apresentada na Figura ??.

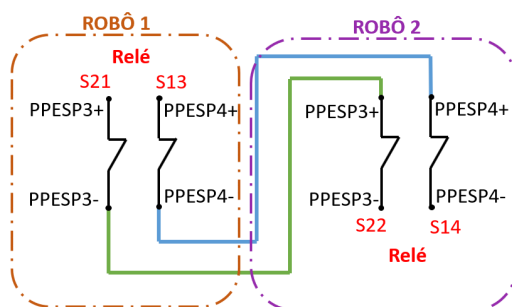


Figura 5.15: Ligação série das emergências das consolas dos robôs.

Eletricamente, este relé está ligado em série com o anterior, uma vez que a sua alimentação resulta do sinal de 24 V que passa pelos contactos secos do relé anterior. Na saída do terminal 14, o sinal de paragem dos motores é dividido em dois, existindo um sinal de 24 V que pára apenas dois motores do dispensador e outro que pára os 11 motores. Esta bifurcação permite passar o sinal da paragem dos dois motores até ao próximo relé que faz a segurança através da barreira de segurança implementada junto ao dispensador de paletes.

Por fim, para permitir a paragem dos dois motores do dispensador de paletes no caso da barreira ser interrompida, foi instalado um relé com a referência MSR127RP, que tem como entrada a barreira de segurança sem *muting*. Como saída, é utilizado o sinal de 24 V, proveniente do relé anterior que permite fazer a paragem dos dois motores. Este relé encontra-se implementado em série com o MSR142RTP e em paralelo com o MSR127RP das emergências das consolas. Na Figura D.3 é apresentado o esquema de ligações do relé de segurança da barreira sem *muting*.

O próximo relé de segurança instalado no quadro permite fazer a paragem de segurança dos motores de final de linha situados a jusante da máquina envolvente Pieri. Para tal, foi utilizado o relé MSR9T que possui como dispositivo de entrada a emergência externa. A paragem do motor é realizada na ausência do sinal de 24 V que passa pelo contacto seco e chega ao terminal 89 do variador de frequência. O rearme do relé é realizado pelo botão geral de *reset* instalado na porta do quadro elétrico e que se encontra ligado aos terminais X1:X2 do relé. Na Figura D.4 é apresentado o esquema elétrico das ligações do botão de emergência de final de linha que permite fazer a paragem dos três motores dos transportadores.

A série dos próximos três relés permite fazer paragem apenas dos dois robôs quando ocorre a deteção de porta aberta, entrada na célula através da deteção de corpos estranhos pela barreira com *muting*, e ainda pelo acesso forçado através da porta de trinco magnético. Dado que se trata da tentativa de entrada na célula, apenas existe o *feedback* do estado de funcionamento dos relés no último, uma vez que qualquer falha que exista nos anteriores irá gerar um alarme por este estar desligado.

A série de relés inicia com o relé de segurança que utiliza a verificação do estado das fechaduras para detetar a abertura da porta e, conseqüentemente, entrada na célula. Para tal, foi utilizado o relé com a referência MSR126R, que possui um canal duplo na entrada e apenas dois canais de saída normalmente abertos.

A fechadura da porta possui dois canais de verificação, permitindo assim garantir o nível máximo na categoria 4 de segurança industrial. De forma semelhante aos botões de emergência, as fechaduras das três portas são ligadas em série e, caso seja detetada alguma porta aberta, o sistema não fica em segurança e desatraca os contactos do relé, fazendo parar os dois robôs. Na Figura D.5 está representado o esquema elétrico do relé MSR126R que tem como condição de entrada a série das fechaduras das portas. Nos contactos de saída, um sinal em tensão de 24 V passa pelo contacto 13:14 que irá alimentar o relé instalado a jusante e que verifica o estado da barreira com *muting*.

O relé da barreira com *muting*, com a referência MSR127RP, é alimentado pelo sinal de 24 V do anterior e permite detetar a presença de objetos ou corpos estranhos para dentro da célula. A série com o próximo relé é garantida através da passagem do sinal de 24 V do dispositivo de segurança anterior, pelos terminais 13:14 de saída. Na Figura D.6 é apresentado o esquema de ligações do relé de segurança utilizado com a barreira de *muting*.

Por último, o relé com a referência MSR124RT localiza-se no fim da série de relés e permite fazer a verificação da porta de trinco magnético e a paragem dos robôs. Por motivos de segurança de entrada na célula, os robôs param e ficam em modo HOLD. Os contactos que permitem fazer a segurança dos robôs designam-se por SAFF e situam-se na placa de segurança x18 do controlador de cada robô. O princípio de funcionamento é bastante simples: se um dos três relés deixar de funcionar ou verificar falta de segurança nos dispositivos de entrada, automaticamente os relés desatracam, os contactos normalmente abertos voltam ao estado de origem e os SAFF ficam com o circuito aberto, fazendo a paragem dos robôs. Na Figura D.7 é apresentado o esquema de ligações do relé MSR124RT.

5.1.5 Ligações Pieri

Uma vez que não se contabilizaram as ligações físicas nas cartas de expansão de entradas e saídas do PLC, a máquina envolvente Pieri fez a troca de dados com o robô de paletização. Os fios para a troca de dados são ligados às cartas de entradas e saídas do robô, a cn307 e cn308. Dado que é o dispositivo mestre do sistema automático a fazer o controlo, foi realizado um espelho das variáveis da Pieri para o PLC, de modo a permitir a leitura e os acionamentos através do PLC. Após o código desenvolvido, são atualizadas as variáveis de saída que são enviadas para o robô, sendo este que faz o acionamento dos relés de interface e faz chegar a informação à Pieri.

Uma vez que se trata de uma troca de informações através de duas "máquinas", é necessário enviar os 24 V do robô e receber os 24 V da Pieri, de forma a fazer as ligações dos relés. Para o correto funcionamento da Pieri, é necessário indicar quando é que a paleta está pronta, quando vai iniciar o processo de entrada na sua máquina e quando esta acaba o processo de transferência. A máquina possui três tipos de programas que variam, por exemplo, de acordo com o maior número de voltas realizadas pelo braço de forma a aumentar a proteção das paletes. Para o robô e, em específico para o PLC, é necessário saber quando é que a máquina está recetiva a receber novas paletes, quando acaba o processo de envolvimento e quando termina o processo de transferência da saída da envolvente. Na Tabela 5.4 estão representados os fios de comunicação entre a pieri e o controlador do robô de paletização. A designação de entradas e saídas representadas são referidas aos "olhos" do PLC.

Tabela 5.4: Tabela de sinais de comunicação entre PLC e Pieri.

Fio			Descrição
1	→	-	24 V Pieri
2	→	OUT	Paleta Ready
3	→	OUT	Paleta Ready (entrada)
4	→	OUT	Permissão de transferência
5	→	OUT	Programa 0
6	→	OUT	Programa 1
7	→	OUT	Programa 2
8	→	-	24 V Robô
9	→	IN	Permissão entrada paleta
10	→	IN	Terminou transferência
11	→	IN	Paleta Ready (saída)
12	→	-	Ground

5.1.6 Ligações da etiquetadora

A etiquetadora comunica com o PLC através de 11 fios que são ligados às cartas de entrada e saída do PLC. De igual forma às ligações realizadas na Pieri, com a impressora é necessário fazer a partilha das alimentações, isto é, o PLC envia e recebe 24 V e utiliza os 0 V como referência. A comunicação é realizada através de nove fios, sendo considerados dois como saídas do PLC e os restantes como entradas. Na Tabela 5.5 são apresentados os fios utilizados e as respetivas descrições e a designação de entrada e saída relativamente ao PLC. Para a etiquetadora é enviado um sinal indicando que a paleta já se encontra à sua frente e que já pode levar etiqueta, bem como o código de etiqueta enviado em binário. Uma vez finalizada a etiquetagem, é enviado um sinal ao PLC a indicar que a paleta pode avançar até à zona de *buffer*. Caso a impressora esteja com erro, é enviado um sinal ao PLC indicando que não pode imprimir e é gerado um aviso na HMI para o operador intervir.

Tabela 5.5: Tabela de sinais de comunicação entre PLC e etiquetadora.

Fio			Descrição
1	→	-	24 V Etiquetadora
2	→	OUT	Paleta Presente
3	→	OUT	Seleção de etiqueta
4	→	OUT	Seleção de etiqueta
5	→	OUT	Seleção de etiqueta
6	→	OUT	Seleção de etiqueta
7	→	OUT	Seleção de etiqueta
8	→	OUT	Seleção de etiqueta
9	→	-	24 V PLC
10	→	IN	Etiquetadora OK
11	→	IN	Fim de etiquetagem

5.1.7 Ligações dos robôs

Os cabos de ligações realizadas entre o robô e o quadro elétrico dividem-se em cabos de potência e de controlo.

O robô 1 utiliza um cabo de potência proveniente do quadro elétrico e que se liga ao respetivo controlador, fazendo chegar posteriormente a alimentação ao robô.

Relativamente ao cabo de dados, uma vez que se trata de poucos sensores e que são todos controlados diretamente pelo robô, este é ligado diretamente às cartas de entradas e saídas do controlador. Na base do robô, para além dos tubos de ar comprimido, são ligadas as fichas *harting* de alimentação e um cabo de dados *igus* de 24 fios com extremidade redonda. Os cabos ligados na base passam internamente pelo braço robótico até ao punho. Na Figura 5.16 é apresentada a base do robô onde são conectados o cabos de dados, a alimentação e o ar comprimido.

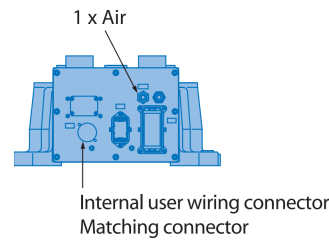


Figura 5.16: Base do robô com os encaixes para alimentação, cabos de dados e ar comprimido [83].

Relativamente ao robô 2, este possui uma ferramenta mais complexa com sensores e motores e, por esse motivo, utiliza uma calha *igus* externa que faz passar vários cabos até ao punho do robô. De forma semelhante ao robô 1, uma vez que é o próprio robô que faz o controlo dos sensores instalados na ferramenta, os cabos de dados são ligados diretamente nas cartas de entrada e saídas do controlador do robô. Os cabos de potência dos motores ligam-se diretamente ao quadro elétrico, como também os cabos que transportam os valores de *encoder*. Dada a imensidade de cabos que chegam à base do robô, foram acrescentadas na sua base umas abas laterais que permitem a ligação de mais cabos com fichas *harting*, sendo posteriormente enviadas até ao punho do robô através de uma calha *igus*. Apenas o cabo de dados proveniente do controlador, e que liga à extremidade redonda da base do robô, é considerado cabo *igus*, sendo os restantes cabos "normais" e que chegam à base com ficha *harting*. Os cabos que vão pela calha *igus*, dado que sofrem atrito com os movimentos do braço robótico e podem-se danificar mais rapidamente, são compostos também por *igus*.

Resumidamente, para este robô saem quatro cabos do quadro elétrico, sendo um deles referente à alimentação do robô, dois à alimentação dos motores e outro que transporta a informação de *encoder*. Do lado do controlador sai um cabo de potência do robô e dois cabos de dados (um de 24 linhas para encaixe na extremidade redonda e outro de 12 linhas com ficha *harting*). Na Figura 5.17 é apresentada a base do robô de paletização MPL-300. Como é possível visualizar, existe um conjunto alargado de conexões que permitem ligar a alimentação, vários tubos de ar comprimido, cabo de dados e outros.

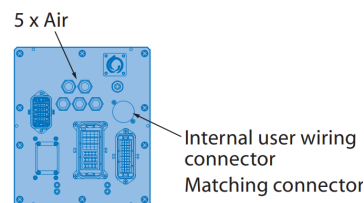


Figura 5.17: Base do robô de paletização com os encaixes para alimentação, cabos de dados e ar comprimido [83].

Capítulo 6

Programação da linha automática

Após a análise da arquitetura do sistema, da descrição e explicação das ligações entre os motores, dispositivos de segurança, robôs e PLC, são abordados neste capítulo a parametrização e programação realizada com o PLC e com recurso ao *software* de fabricante, o TIA PORTAL V15.

6.1 Parametrização do PLC, motores e robôs

A parametrização do equipamento mestre PLC que controla todos os dispositivos escravos através da leitura dos sensores, inicia-se com a definição da versão e modelo do PLC utilizado e as respetivas cartas de expansão de entrada e saída. As disposições das cartas nas configurações têm de estar em concordância com a realidade, apresentando como *layout* final a Figura 6.1 com as respetivas identificações.

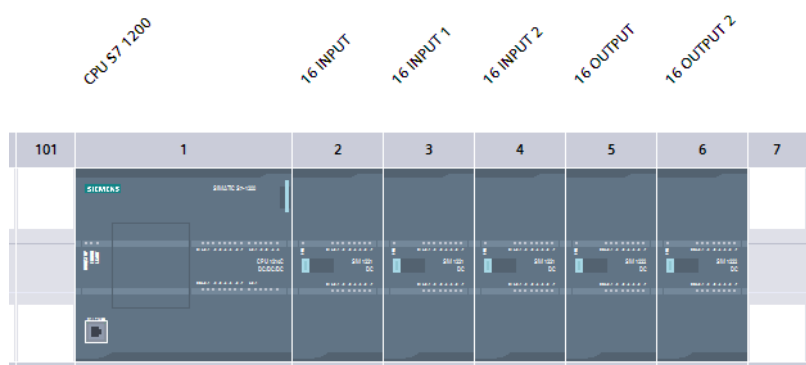


Figura 6.1: *Layout* da colocação do PLC e respetivas cartas de expansão.

Após a escolha do PLC, atribuiu-se os endereços de comunicação a cada dispositivo e que se encontram resumidos na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Endereços de comunicação dos equipamentos.

Dispositivo	Endereço
PLC	192.168.1.1
Robô 1	192.168.1.5
Robô 2	192.168.1.6
HMI	192.168.1.20
Motores Gripper	192.168.1.100
Ilha 1 Motores	192.168.1.101
Ilha 2 Motores	192.168.1.102
Ilha 3 Motores	192.168.1.103
Ilha 4 Motores	192.168.1.104
Ilha 5 Motores	192.168.1.105

Uma vez estabelecidos os endereços, é necessário criar a rede de comunicação Profinet entre o PLC e os dois robôs Yaskawa. Para tal, recorreu-se ao site do fabricante que disponibiliza, para cada modelo, o ficheiro GSD necessário a instalar no Tia Portal. Após incluir este ficheiro, fez-se o "Assign Device Name", definiu-se o número de *bytes* e o respetivo endereço de comunicação. Para cada robô definiu-se 64 *bytes* de comunicação.

Relativamente aos motores, e de forma semelhante com os robôs, cada rede de comunicação e variador possui um tipo de ficheiro GSD que é necessário instalar no *software* do dispositivo controlador. Após incluir o ficheiro (SK TU3-PNT), definiu-se o número de *words* de comunicação e endereço de comunicação. Dado que são dois motores, adicionou-se duas *Parameter Process Data Object* (PPO) 4, que significa, quatro *words* de comunicação, sendo a primeira para o motor mestre da ilha e a outra para o segundo motor. Automaticamente, são gerados os endereços de entrada e saída de dados a atribuir a cada motor. A configuração termina assim que se faz o "Assign Device Name" do dispositivo.

O processo repete-se com as restantes ilhas de motores, apenas diferenciando o número de motores em cada ilha e, conseqüentemente, o número de PPO 4 adicionados na configuração. Uma vez que os variadores já são acoplados aos motores, é utilizado um ficheiro de configuração diferente, SK CU4-PNT.

O *layout* final da configuração da rede Profinet entre os dispositivos e o PLC encontra-se representada na Figura 6.2.

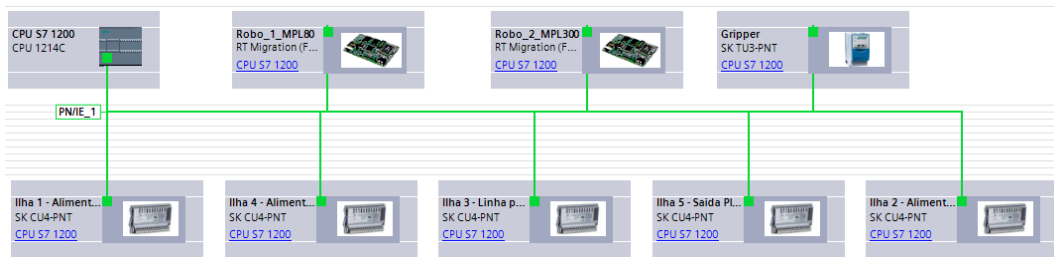


Figura 6.2: *Layout* da configuração da rede Profinet.

6.2 Programação

A programação da célula robotizada assenta em quatro modos automáticos que permitem o funcionamento automático e manual de várias divisões da célula.

- **automático geral:** representa o nível mais baixo de automação. Neste tipo de controlo encontra-se a programação dos transportadores e de alguns dispositivos na periferia;
- **automático dispensador:** automatismo que controla o funcionamento do dispensador de paletes e dos transportadores associados. Se este automático estiver desligado, a célula possui um funcionamento normal; no entanto, é necessário fazer a alimentação de paletes manualmente;
- **automático evacuação:** encontra-se a programação da evacuação manual e automática das paletes, controlo da PIERI e da etiquetadora;
- **automático célula:** quando ativo, representa o funcionamento automático da célula. Este automatismo encontra-se dependente do estado do automático geral e do automático evacuação, caso contrário, esta opção não consegue estar ativa.

Relativamente à programação da célula robotizada, uma vez que é necessário controlar um grande conjunto de dispositivos e variáveis, a dimensão e complexidade do código é notória. De forma a organizar e facilitar a compreensão do programa, o código foi desenvolvido tendo por base a estrutura apresentada na Figura 6.3. Como é possível visualizar, dentro da pasta designada por "Program blocks", encontram-se várias sub-pastas que organizam o código em:

- **Main:** função principal que é corrida ciclicamente e onde são chamadas todas as funções desenvolvidas;
- **01 Comunicação:** são definidas funções que permitem passar as variáveis físicas em variáveis internas do PLC, as designadas "Marcas". Assim sendo,

criou-se uma função com as variáveis de comunicação do robô 1, outra com as variáveis do robô 2, uma apenas com os motores do *gripper* e, por fim, uma com os dados dos sensores instalados no terreno e que estão ligados às cartas de expansão;

- **02 Controle:** possui funções que permitem fazer o controlo das ilhas dos motores, outra que faz o controlo dos motores do *gripper* e outra que faz o controlo dos motores do dispensador de paletes;
- **03 Evacuação:** encontram-se duas funções que permitem fazer o controlo manual e o controlo automático da evacuação de paletes;
- **04 Periferias:** são definidas funções que permitem fazer o controlo do dispensador de paletes, da envolvedora e da etiquetadora;
- **05 Produtos:** concentram-se as funções desenvolvidas para a programação dos vários produtos;
- **98 HMI:** funções que permitem fazer animações, enviar alertas e estabelecer comunicação com a HMI;
- **99 Sistema:** funções que permitem fazer a segurança e o *start* da célula remotamente;
- **Function Blocks:** encontram-se blocos de função que são utilizados para fazer o controlo dos motores e gerar alarmes;
- **Outros:** localizam-se todos blocos de dados gerados pelos blocos de funções.

Adicionalmente, criou-se uma pasta que faz o armazenamento de todas as variáveis do autómato, sendo estas divididas em variáveis para cada robô, motores do *gripper*, transportadores, dispensador de paletes, Pieri e variáveis físicas e internas do PLC. A seguir, é explicado de forma pormenorizada o código e as funções que foram realizadas dentro de cada pasta.

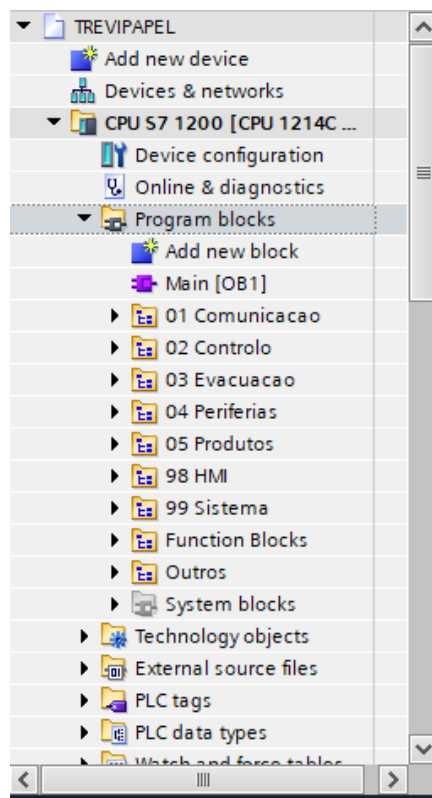


Figura 6.3: Árvore estrutural do código desenvolvido.

6.2.1 01 Comunicação

A função "Comm_Robot_01" foi desenvolvida para estabelecer a comunicação entre o PLC e o robô 1. As variáveis de entrada do PLC provenientes do robô 1 são copiadas para variáveis internas, de forma a não serem manipuladas diretamente. No processo inverso, as variáveis internas e que são direcionadas ao robô, são convertidas em variáveis de saída. Este método facilita o processo de adição ou alteração de qualquer variável, dado que se torna apenas necessário alterar a variável de comunicação, pois as internas são o espelho destas. Para o estabelecimento de comunicação entre o PLC e o robô foram definidos 64 *bytes* de endereços de comunicação. No Anexo E são apresentadas as variáveis de comunicação de entrada e de saída do PLC com o robô 1. Em cada linha da tabela é visível o endereço de comunicação do PLC e do robô, bem como um breve comentário sobre a respetiva variável.

A função "Com_Robot_02" permite fazer o espelhamento das variáveis de comunicação de entrada e saída utilizadas entre o robô 2 e o PLC. A configuração da comunicação entre o PLC e o robô 2 foi parametrizada com 64 *bytes* de comunicação. No Anexo F são apresentadas duas tabelas com as variáveis de comunicação utilizadas para o controlo da célula automática.

Os motores implementados na célula aparentam ter um controlo simples através do envio de *control words* que os ativam e de *status words* que dão o *feedback*. Dado que a programação bit a bit conduz a um controlo pormenorizado dos motores, as *control words* e as *status words* foram convertidas em bit. Como já referido anteriormente, os motores dos transportadores possuem dois tipos de controlo: um que permite fazer o arranque e a paragem dos motores e outro que faz o controlo da frequência de rotação. Os dois moto-redutores das ferramentas possuem três tipos de controlo: frequência, posição e binário. Uma vez que estes motores possuem mais funcionalidades, o controlo bit a bit é mais importante. Por este motivo, foi criada uma função ("Comm_ Gripper") de controlo independente dos restantes motores, onde se realizou o desmembramento da *Control Word* e da *Status Word* bit a bit, representado no Anexo G. Como é perceptível na análise da tabela, a ordem das *words* encontra-se organizada conforme apresentado, no entanto, ao nível do endereçamento, existe uma troca, pois o segundo *byte* utiliza a primeira parte da *word*. Após o funcionamento manual dos motores através do computador, estudou-se quais os bits que devem ficar sempre a "1" e aqueles que se devem manter em "0". Posteriormente realizou-se a programação dos motores.

Por último, foi criada a função "Comm_ PLC_ IO's" que permite fazer o espelhamento de todas as variáveis físicas que são ligadas às entradas e saídas da CPU, assim como das cartas de expansão do PLC.

Resumidamente, esta pasta destina-se ao espelhamento de todas as variáveis de comunicação entre o PLC e robô, PLC e motores e os sensores físicos conectados ao autómato.

6.2.2 02 Controlo

A pasta "Controlo" permite fazer a programação dos motores das cinco ilhas, bem como dos dois motores do *gripper*.

A primeira função é relativa à ilha 1 que é constituída pelos motores 1, 2 e 3 dos respetivos transportadores. O controlo destes transportadores de rolos de baixa pressão é simples e semelhante entre os motores, uma vez que os parâmetros programados são o arranque, paragem e a frequência de rotação. Na Figura H.1 é apresentado um fluxograma da programação do motor do transportador 1. Caso uma das três portas seja aberta, o sistema automático da célula é interrompido; no entanto, o automático geral, o dispensador automático e a evacuação automática podem continuar a operar, sendo apenas os robôs imobilizados. No fluxograma são apresentadas as condições que permitem fazer a rotação para o lado esquerdo e direito, bem como a limpeza de erros gerados pelos motores.

Para o controlo dos motores, foi realizada uma função genérica que permite inserir os parâmetros de entrada e saída de cada motor. Para dentro da função

são enviadas as *status words*, que são internamente divididas bit a bit, pedido de rotação para a esquerda e direita, bem como a frequência de rotação e o pedido de limpeza do erro e *encoder* (para os motores que o possuem). A função retorna as *control words* que foram construídas internamente, ordem de rotação para a direita e esquerda e ainda informação de erro e avisos. Após um estudo detalhado do comportamento dos motores perante o arranque e paragem, concluiu-se que existem parâmetros da *control word* que se mantêm constantes e os restantes configuráveis. Para a ordem de arranque, os bits configuráveis necessários para a ativação do motor são: o "Motor Ready" e a ordem do sentido de rotação "Right Turn" ou "Left Turn". Os restantes bits são "Reset Encoder" e "Clear Error" que, quando atingem o valor lógico 1, fazem a limpeza dos valores de *encoder* e do erro, respetivamente. A segunda *control word* faz a configuração da frequência de rotação do motor. Na Figura 6.4 é demonstrada a função que permite fazer o controlo dos motores de forma pormenorizada, sendo apenas alteradas as variáveis de entrada e saída de cada motor.

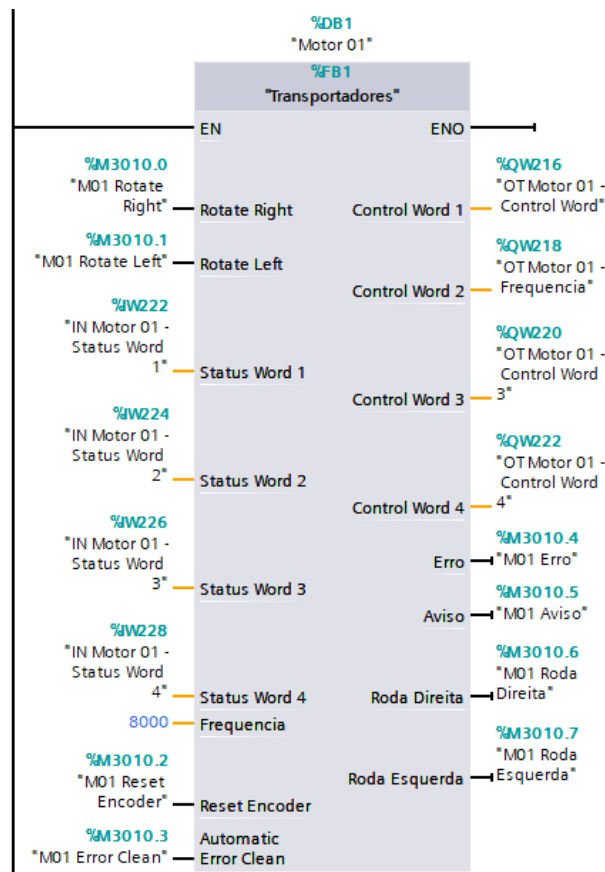


Figura 6.4: Função genérica de controlo dos motores.

De forma semelhante ao que foi realizado para o controlo dos motores da

ilha 1, na Figura H.2 está representado o fluxograma que permite fazer as configurações do sentido de rotação e limpeza dos erros gerados. O transportador 4 permite fazer *buffer* de paletes de entrada e ainda o transporte destas para dentro do dispensador. Como se pode visualizar no fluxograma, o motor possui um movimento de rotação de avanço automático quando as paletes são colocadas no *buffer* e este movimenta-as até ao limite entre o transportador 4 e a entrada do dispensador. O motor volta a ser acionado neste sentido quando se dá a transição de paletes entre o transportador 4 e 5. No caso do motor entrar em erro, é possível eliminá-lo através da abertura de uma das portas ou pressionando o botão de limpeza do erro presente na HMI.

O motor 4.1 do dispensador de paletes permite fazer a abertura e o fecho dos garfos que agarram as paletes. Para abrir os garfos, este tem de fazer rodar o motor para a esquerda em modo automático ou manual. Caso se pretenda fechar os garfos, o motor roda no sentido inverso. O fluxograma de controlo do motor de abertura e fecho dos garfos está presente na Figura H.3. O motor 4.2 permite fazer a elevação das paletes, utilizando para tal três estados possíveis. Na posição inferior (posição 1), caso os garfos estejam abertos, as paletes entram dentro do dispensador. Se existirem paletes no interior do dispensador, esta posição é utilizada para largar a última paleta no transportador e fazer a elevação das restantes. A segunda posição permite colocar os garfos no espaço inferior da segunda paleta e, posteriormente, elevá-las até à última posição (posição 3). Nesta, os garfos encontram-se fechados e todas as paletes são suportadas de forma a permitir o avanço da última que foi deixada. Este mecanismo pode funcionar em modo automático ou manual, fazendo mover os motores através da HMI.

A ilha 3, referente à zona de formação de paletes através do robô 2 e criação de *buffer* de paletes, é constituída pelos transportadores 5 e 6. No fluxograma presente na Figura H.4 são visíveis as condições que permitem fazer o transportador rodar para trás e para a frente, assim como limpar os erros enviados pelo motor. De igual forma aos restantes motores, este pode rodar de forma automática caso o dispensador ou a evacuação estejam em automático ou, caso contrário, de forma manual. O motor é ativo através de duas formas distintas: quando faz o transporte da paleta do transportador 5 para o 6 e faz chegar a mesma à zona de *pick* e, simultaneamente, faz a evacuação automática da paleta; quando ao evacuar a paleta, esta fica presa no batente 4 e é necessário fazê-la andar para trás durante 750 ms e depois voltar ao seu estado de rotação normal e dar continuidade à evacuação.

A função que faz a programação dos transportadores da ilha 4 controla o motor do transportador 7, que permite a entrada de paletes externas na zona de evacuação. Os outros dois motores são programados para permitir a rotação da mesa em 90° e consentir a entrada e saída de paletes no transportador 8. No Anexo H é apresentado o fluxograma (ver Figura H.5) relativo às condições de

funcionamento do motor 7. Uma vez que esta ilha pertence a uma zona de evacuação de paletes, após a abertura de uma porta, se a "Evacuação Automática" estiver ativa os transportadores continuam o seu funcionamento. Caso esta funcionalidade esteja desativada, pode-se mover os motores manualmente, conforme é ilustrado no fluxograma. O motor do transportador 7 é ativo quando é colocada paleta no transportador que faz chegar a mesma até ao final do transportador. Caso o transportador 8 esteja livre e na posição de automático, este faz uma rotação de 90° até atingir a posição manual que, posteriormente, permite a entrada da paleta.

No fluxograma da Figura H.6 são apresentadas as condições para o motor 8 rodar para a frente ou para trás, assim como as condições para a limpeza de erros gerados. O motor 8 em automático é ativo quando existe entrada de paleta no transportador pela zona de evacuação automática ou manual, bem como na saída de paleta para a máquina PIERI. No fluxograma presente na Figura H.7 do Anexo H são apresentadas as condições para a rotação da mesa rotativa para a posição manual ou automática, assim como a limpeza dos erros gerados pelo motor. A mesa utiliza dois sensores indutivos que permitem detetar a posição automática ou manual em que se encontra. Como representado no fluxograma, quando uma paleta roda para a posição de automático ou manual, é sempre verificado qual o estado do sensor da mesa. Apenas na entrada externa e saída de paleta para a evolvedora, a mesa rotativa deve estar na posição manual. Quando acontece a evacuação automática, a mesa deve estar posicionada para "automático".

Por último, foi desenvolvida uma função que permite controlar os três motores dos últimos transportadores da linha automática. Estes funcionam como um *buffer* de paletes envolvidas e etiquetadas e possuem um controlo semelhante aos transportadores de rolos de baixa pressão. Na Figura H.8 é apresentado o fluxograma de controlo do motor 9. Este é acionado quando: o sistema está no estado de "Evacuação Automática" e sai uma paleta da máquina PIERI, ou quando uma paleta faz a transição entre o transportador 9 e 10. Adicionalmente, o motor pode ser movimentado manualmente através dos botões da HMI. Os transportadores 10 e 11 possuem um controlo de funcionamento idêntico, alterando apenas as condições de atuação dos motores, uma vez que o motor 10 é acionado automaticamente quando existe uma transição de paleta entre o motor 9 e 10, bem como do motor 10 para o 11. O motor 11 é acionado quando ocorre esta última transição.

Uma vez concluída a explicação das condições de funcionamento dos motores dos transportadores, é realizada uma função que permite fazer a deteção dos sensores indutivos e definir as respetivas posições. São ainda definidas as condições de subir e descer, como também abrir e fechar os garfos do dispensador.

As definições das posições foi uma solução criada através da programação para gravar a posição do último sensor indutivo detetado. Um parafuso está agarrado ao dispensador e, quando passa por um sensor indutivo, permite fazer a sua ativação. No entanto, quando o objetivo é parar junto de um sensor, uma vez que se trata de uma paragem de um motor, este não pára de forma instantânea, apresentando um ligeiro deslocamento. Assim sendo, ao invés de utilizar uma solução mecânica e usar uma superfície de maior área de deteção junto do sensor indutivo, foram utilizadas as variáveis de posição que gravam a posição do sensor indutivo. Na Figura H.9 é apresentado o fluxograma que ilustra a definição das posições dos sensores e a desativação dos motores após a chegada do dispensador à posição pretendida. Assim, se o sensor indutivo 1 for detetado é gravado numa variável a posição 1, são limpas todas as outras posições e os motores elevadores são parados. No fluxograma da Figura H.10 são apresentadas as condições que permitem subir e descer o dispensador, bem como abrir e fechar os garfos. Pela análise do fluxograma, se o dispensador quer chegar à posição 1, independentemente deste estar na posição 1 ou 3, o motor apenas possui o tipo de movimento descendente. Se o motor não possuir nenhum movimento vertical, existir ordem de fechar os garfos e estes estiverem abertos, é ativado o motor que faz o movimento de fecho dos garfos.

6.2.3 04 Periferias

Esta pasta é vocacionada para o controlo dos dispositivos que se encontram na periferia dos robôs, como o dispensador de paletes, controlo e troca de sinais com a PIERI, a etiquetadora e o código de etiquetas. Aqui serão apenas referidos e explicados o controlo dos dispositivos programados, como é exemplo o dispensador de paletes.

No fluxograma da Figura H.11 são apresentadas as definições dos estados que permitem largar uma paleta, criar o *buffer* de paleta e permitir a entrada de paletes no dispensador e na zona de *pick*. Pela análise da figura, caso o dispensador esteja em modo automático, se este estiver na posição inferior, não apresentar paletes na zona de *buffer* e não estiver a enviar paletes para *buffer*, então é realizado o "set" de "largar uma paleta" do dispensador. A análise deste fluxograma permite verificar as condições antes e após o dispensador. Para terminar o controlo do dispensador de paletes, é apresentado na Figura H.12 um fluxograma que permite ilustrar a lógica desenvolvida em vários passos, de forma a facilitar o controlo do dispensador. De acordo com o fluxograma, o dispensador possui quatro fases de controlo: *step I* - dispensador na posição 1; *step II* - abre os garfos para largar todas as paletes ou deixar entrar paletes no dispensador; *step III* - dispensador sobe até à posição 2 e fecha os garfos; *step IV* - sobe até à última posição onde sustenta todas as paletes à exceção da última.

6.2.4 05 Produtos

A programação dos produtos abrange os três primeiros transportadores de rolos de baixa pressão e os batentes 1, 2 e 3. O empurrador, com dois cilindros de curso 600 mm e 200 mm, foi instalado junto ao transportador 2 e permite reduzir o tempo de ciclo do robô 1. Após os testes realizados à cadência máxima, concluiu-se que, sem o uso do empurrador, o robô consegue manipular os produtos sem prejudicar a máquina a montante. Assim sendo, a utilização do empurrador foi eliminada e a programação dos 10 produtos presentes na Tabela A.1 simplificou-se e tornou-se geral para oito produtos. Na Figura I.1 é apresentado o fluxograma que permite fazer o controlo de oito produtos que, apesar de apresentarem várias dimensões e formas, possuem o mesmo método de controlo. Pela análise do fluxograma, no início de cada iteração, se o sensor ótico do transportador 2 não estiver interrompido, o robô envia um sinal a indicar que o transportador está vazio. Assim sendo, o *buffer* e a zona *pick* encontram-se vazios. Caso não haja transferência de saco do transportador 1 para o 2 e não se esteja a espera de um saco no transportador 2, então faz-se o "set" da variável de pedir mais um saco. Nesta fase, é enviado para o robô 1 a variável que permite posicionar-se para fazer o *pick*. Quando o *buffer* 1 estiver ocupado e o *buffer* 2 estiver livre, é dado o sinal ao robô para fazer o *pick* e este pega nos sacos e posiciona-os com uma nova orientação no *buffer* 2.

Na Figura I.2 está representado graficamente como foi realizado o controlo do produto D. Para tal, foi utilizado uma variável enviada pelo robô que especifica que se pretende apenas uma embalagem na zona de *pick*. Na ausência desta variável, é permitida a entrada de duas embalagens. Estas são identificadas através de dois sensores óticos que, caso sejam ambos ocupados, permitem determinar que estão presentes duas embalagens em *buffer* e que o robô pode fazer o *pick*. Uma vez que o robô vai ter dois tipos de orientação para pegar nas embalagens, são enviados dois sinais "Pick Ready 1" e "Pick Ready 2", permitindo pré-posicionar o robô com determinada orientação e perto da embalagem. Após o robô fazer o *pick* da embalagem, os sensores óticos ficam livres e, na transição de 1 para 0, são limpas as variáveis de *buffer* cheio. Após o robô largar as embalagens no *buffer* 2 do transportador 3, é enviado um sinal ao robô indicando que a zona de *pick* está vazia e, de forma a terminar a formação da camada, envia um sinal ao PLC indicando que quer apenas uma embalagem. O processo repete-se de forma cíclica, terminando-o com o envio da variável de camada finalizada e baixando o batente 2, permitindo a passagem da camada para a zona de *pick* do robô 2. Na Figura I.3 é apresentado o fluxograma geral que permite fazer o controlo dos batentes, dos *buffers* e ainda a troca de sinais entre os robôs e o PLC.

Capítulo 7

Resultados

Após o estudo do problema e a apresentação da solução encontrada, é necessário realizar testes e validar o seu funcionamento. Para tal, neste capítulo é apresentado o resultado final da implementação da célula, bem como os problemas e as alterações realizadas.

7.1 Célula

A célula idealizada e projetada permite fazer a manipulação, paletização e envolvimento de paletes etiquetadas. Para tal, projetou-se a célula apresentada na Figura 7.1. Após a fase da implementação, concluiu-se que o espaço deixado entre a porta 4 de manutenção e o transportador e, conseqüentemente, robô 1, é bastante curto, dificultando assim os trabalhos de manutenção dos motores e empurrador instalados nesta zona.

Mecanicamente, a implementação foi de encontro ao projeto desenvolvido, sendo apenas realizadas algumas alterações. O facto de os transportadores de embalagens serem constituídos por rolos de baixa pressão, possibilita o contínuo funcionamento do motor pois, quando as embalagens encontram obstáculo, os rolos que se encontram por baixo, como detetam uma pressão maior, ficam imobilizados. Um dos problemas encontrados na utilização destes rolos centrou-se na transição do transportador 1 para o transportador 2, pois foi necessário ligar três rolos do início do transportador 2 diretamente ao veio motor. Esta alteração teve de ser realizada pois como os sacos se juntam quando se aproximam do batente 1, quando este se baixava, não se conseguia realizar a separação de embalagens na transição entre transportadores, o que causava dúvida relativamente ao número de sacos que entrava na zona de *pick* do robô 1. Após esta alteração, quando se baixa o batente, como as embalagens encontravam os três

rolos que fazem atrito, estas aumentam a sua velocidade e conseguem separar-se das restantes. Relativamente ao final do transportador 3, foi realizado um acrescento do transportador pois o robô apresentava, por vezes, alguma instabilidade a pegar nas camadas de embalagens. O motor do transportador 3 não pára o seu funcionamento com a célula em automático pois, no mesmo transportador, existe uma zona de formação de camada e outra de *pick*. Dado que estas nunca são sincronizadas, quando o robô 1 fizesse o *place* da segunda embalagem, podia chocar com as embalagens que ainda estivessem nesta zona e que ainda não tivessem chegado à zona do *buffer* 2. O contínuo funcionamento do motor garante que quando a embalagem é deixada pelo robô 1 é imediatamente transportada até à zona de *buffer*, evitando assim possíveis colisões. No entanto, como os rolos se encontram sempre em movimento, quando se baixava o batente 3 para o robô 2 fazer o *pick* da camada, esta tendia a sair fora do transportador. Com este acrescento implementado, quando se dá o *pick*, o batente 3 baixa e a embalagem chega um pouco à frente; no entanto, uma vez que se encontra à mesma altura do transportador, o robô consegue realizar o *pick* em segurança.

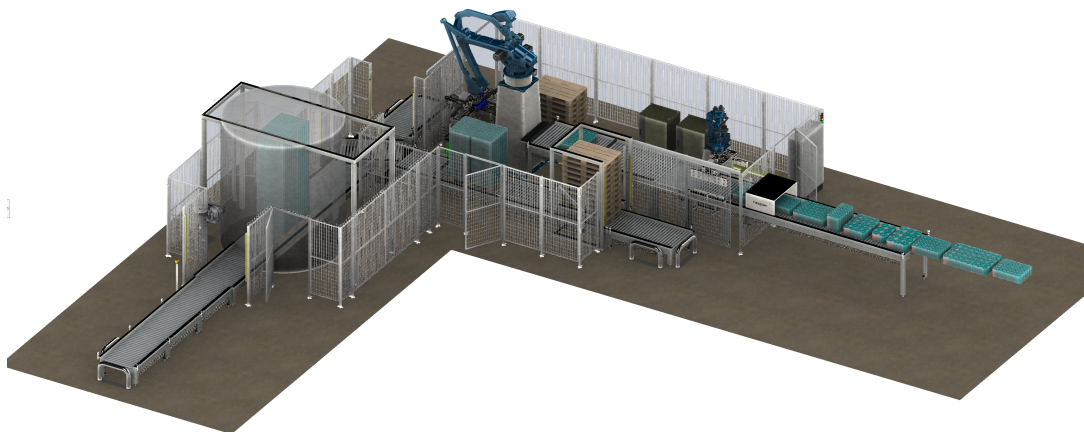


Figura 7.1: *Layout* da célula automática.

7.2 Quadro elétrico

Após a furação e montagem dos equipamentos sobre a platine, concluiu-se que o quadro poderia ser de maiores dimensões, pois o espaço tornou-se pouco e apertado para introduzir, caso necessário, mais dispositivos de segurança. Na Figura 7.2 é apresentado o quadro elétrico que faz a alimentação da célula, da evolvedora PIERI e da etiquetadora.

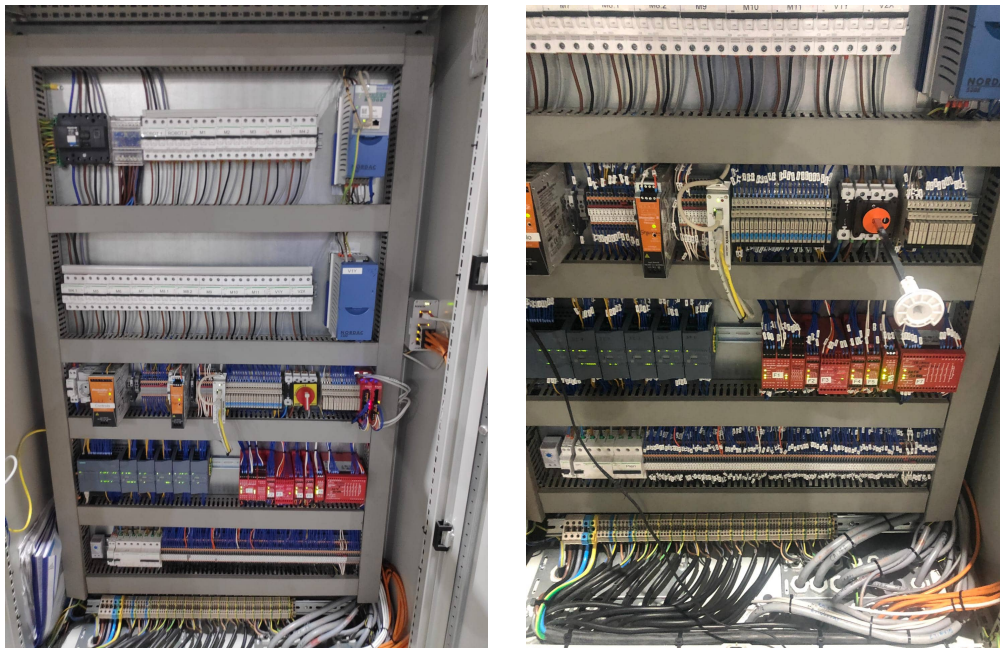


Figura 7.2: *Layout* do quadro elétrico.

Relativamente às barreiras da Allen Bradley, notou-se dificuldades na sua programação, pois existia falha de comunicação entre o relé de programação instalado no quadro e a barreira implementada no terreno. Após a análise cuidadosa do manual do fabricante, concluiu-se que a barreira estava posicionada a uma distância superior a 6 m daquela que era permitida. De forma a encontrar uma solução para as duas barreiras de segurança, instalaram-se duas caixas de "derivação" mais próximas das mesmas. Nestas foram instalados os relés de programação das barreiras que, posteriormente comunicavam com o relé de segurança colocado no quadro elétrico. Na Figura 7.3 está representada a caixa implementada junto à barreira de segurança.

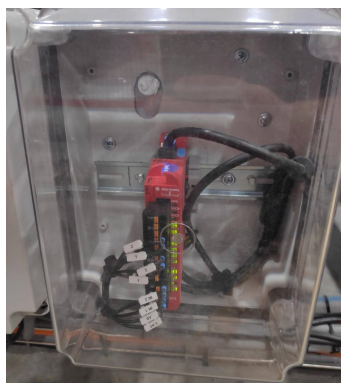


Figura 7.3: Caixa do relé de programação da barreira.

Na barreira com *muting* existiu o problema da programação do *muting*. Após um estudo dos tempos que a paleta demora a passar, concluiu-se que cerca de 70% das vezes a paleta passava em segurança, no entanto falhava os restantes. Após falar com a assistência da marca, concluiu-se que, devido ao produto que se estava a utilizar, o *muting* em cruz trazia algumas desvantagens, pois existia reflexão do feixe ótico através do excesso de plástico da embalagem, interferindo com os tempos de *muting*. Sendo objetos que são irregulares, a opção encontrada passou por mudar para o tipo de *muting* em L, representado na Figura 7.4. Este tipo de *muting* permite detetar através do primeiro sensor ótico a paleta, intersetar o segundo feixe ótico e, só depois, a barreira de segurança. O facto de os sensores detetarem os materiais em linha reta facilita o processo de *muting*, pois não existe a possibilidade de falsas reflexões em plásticos ou em objetos irregulares.



Figura 7.4: Barreira com *muting* em L.

Uma vez finalizada a programação da barreira, foi realizado um estudo ao pormenor da segurança da célula, tendo sido encontrada uma falha. A envolvente PIERI possui um sistema de segurança independente da célula de paletização. As duas barreiras de segurança com *muting* que contém permite proteger a entrada de pessoas dentro da célula de envolvimento. Todavia, quando a máquina envolvente se encontra desligada, uma vez que as barreiras de segurança também se encontram desligadas, cria uma zona de entrada para a célula de paletização. Para solucionar o problema encontrado, foi trocada a posição da barreira com *muting* do transportador 7 para o final do transportador 6, garantindo assim que não existe entrada de pessoas na célula, mesmo que a envolvente esteja desligada. Na entrada de paletes externas estruturadas no transportador 7 não será colocado qualquer dispositivo de segurança, pois futuramente irá ser implementada uma linha que irá alimentar esta entrada e que irá ser protegida com vedação.

Na Figura 7.5 está representada a fechadura 1 instalada junto ao robô de paletização. No estado em que os LED da fechadura se encontram demonstram que a fechadura está alimentada e está trancada. A luz amarela que apresenta a fechadura permite indicar que a célula está trancada. Dado que o LED do botão verde não está ligado, permite concluir que a célula não está em automático.



Figura 7.5: Fechadura de segurança da porta.

7.3 Motores

Todos os motores à exceção dos que estão implementados no *gripper*, têm acoplado o respetivo variador. Todos eles foram instalados na zona inferior dos transportadores, o que traz como desvantagem a fraca acessibilidade para os processos de ligação e manutenção dos mesmos. Em cada variador do motor foi necessário fazer as ligações de potência entre o motor e o variador, as ligações entre a carta Profinet e o PLC e ainda o CANopen entre motores. Na Figura 7.6 são apresentadas duas imagens dos variadores abertos que estão acoplados aos motores. Na figura do lado esquerdo encontra-se um motor que faz a comunicação CANopen através dos fios 77 e 78 do variador. Na figura do lado direito encontra-se por baixo dos pinos do variador uma carta Profinet à qual estão ligados os fios CANopen e os quatro fios da comunicação Profinet.

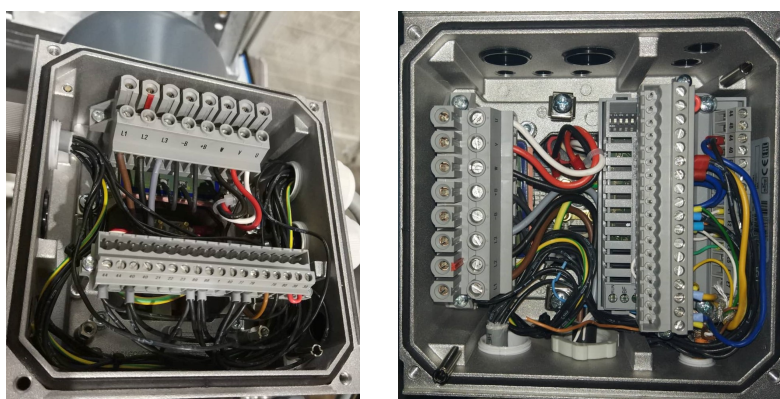


Figura 7.6: Variador aberto de um motor.

Na Figura 7.7 são apresentados os dois variadores dos motores da ferramenta do robô de paletização. O variador mestre da comunicação e que contém a carta Profinet está apresentado na Figura 7.7b. Na carta Profinet chegam os cabos de alimentação de 24 V e 0 V respectivamente, e sai o cabo de comunicação que liga ao *switch*. Por baixo da tampa azul, entram os fios que transportam os valores do *encoder*. Do lado direito é apresentado o variador escravo ilha de comunicação e que comunica por CANopen através do cabo de comunicação que entra na zona superior do variador.



(a) Variador mestre com carta Profinet.



(b) Variador escravo.

Figura 7.7: Variadores dos motores da ferramenta.

7.4 Dispensador de paletes

Numa fase inicial, o dispensador de paletes foi projetado com um motor com um travão e *encoder*, que permitia fazer a medição da posição de largar palete, apanhar as restantes e suportá-las numa posição superior. Dado que houve um erro na encomenda, pois o motor apenas possui travão, a solução encontrada passou por utilizar os sensores indutivos que permitem determinar o máximo de abertura e fecho dos garfos, assim como da posição mais baixa, média e alta que faz subir e descer as paletes. Na Figura 7.8 são apresentados os três sensores indutivos que permitem determinar a posição do dispensador.



Figura 7.8: Sensores indutivos que identificam a posição da subida e descida do dispensador.

Capítulo 8

Conclusão

A tese desenvolvida teve como principal objetivo a criação de uma linha automática que permitia realizar paletização de embalagens de rolos de papel e, de seguida, fazer o seu envolvimento com película protetora. Posteriormente, as paletes eram etiquetadas de acordo com a produção atual. Para tal, a solução encontrada utiliza dois robôs, sendo um utilizado para manipular as embalagens, dar-lhes uma nova orientação e formar camadas e o segundo robô com a capacidade de pegar em paletes vazias, de colocar separador de cartão na base e a meio da paleta entre camadas e, ainda, paletizar camadas completas de embalagens. Este projeto teve duas fases distintas durante a sua execução: a primeira relativa ao projeto elétrico e posterior eletrificação e a segunda inserida na programação da célula.

Por questões de restrição de tempo por parte do cliente e para a escrita da dissertação, a tese foi desenvolvida de forma parcial, uma vez que não foram atingidos todos os objetivos estabelecidos inicialmente. O estudo de esquemas elétricos, segurança industrial e realização do projeto elétrico, bem como a encomenda de material, instalação elétrica da célula e construção do quadro elétrico são partes integrantes desta tese. Relativamente à programação da célula automática de paletização, uma vez retirada a opção do empurrador que permite diminuir o tempo de ciclo do robô (que não é necessário), a programação dos produtos foi desenvolvida para todos os produtos à exceção do sexto. O controlo dos motores do transportadores e do dispensador foi também parte integrante da tese, à exceção dos motores do *grripper*. A programação prosseguiu com outro elemento da equipa de automação, que sempre apoiou e ajudou quando foi preciso.

Uma vez terminado o projeto, pode-se concluir que, apesar de algumas dificuldades encontradas, este foi realizado com sucesso e encontra-se a operar sem paragens e em segurança. No entanto, como em todos os projetos, existem sempre

melhorias possíveis de realizar.

As paletes que entram pelo transportador 7 são provenientes de outras linhas de produção da fábrica e são colocadas nesta entrada para serem envolvidas e etiquetadas. Dado que não foi inicialmente acordado na fase de projeto esta questão, atualmente estas paletes exteriores são etiquetadas de acordo com o produto que está a ser paletizado pelos robôs. Por questões de logística, este processo não é viável e aceite, pelo que, quando um operador coloca uma paleta nesta entrada, tem de ir ao painel de operador e selecionar o código de etiqueta correto para aquele tipo de produto. De forma melhorar e solucionar o problema, futuramente este processo pode ser realizado através de um leitor de código de barras que, após detetar o código da paleta, envia uma variável à etiquetadora avisando do código de produto desejado.

O desenvolvimento da tese em ambiente industrial contribuiu de forma positiva para a minha formação pessoal, académica e profissional, tendo ganho experiência e conhecimento no contexto laboral e assumindo também um papel de gestor de equipa. A capacidade de lidar com momentos de pressão, quando tudo tende a desabafar, foi dos maiores obstáculos encontrados ao longo deste percurso que, indiretamente, me fez crescer enquanto profissional.

Bibliografia

- [1] I. D&B, “eInforma - Relatórios comerciais | Directório de Empresas Portugal,” p. 24410, 2019. [cited on p. 2]
- [2] J. N. Peres, “My Paper World,” *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, pp. 1–30, 2010. [cited on p. xiii, 2]
- [3] Roboplan, “Peritos em Robótica Industrial| Roboplan.” [cited on p. xiii, 2]
- [4] L. SILVEIRA and W. Q. LIMA, “Um breve histórico conceitual da Automação Industrial e Redes para Automação Industrial,” *UFRN-PPgEE*, p. 173, 2003. [cited on p. xiii, 7, 8, 9]
- [5] P. L. Controllers, “PLC HANDBOOK PLC HANDBOOK Practical Guide to PLC HANDBOOK PLC Handbook,” pp. 1–84. [cited on p. xiii, 8]
- [6] “184/384 | Schneider Electric.” [cited on p. 8]
- [7] C. Andrade, “As vantagens do Controlador Lógico Programável (CLP) em sua empresa – Dinâmica Engenharia Júnior,” 2017. [cited on p. 9]
- [8] Astronerd, “O CLP e suas linguagens,” 2013. [cited on p. 12]
- [9] T. Mejer Antonsen and Niels Kampmann, *PLC controls with structured text (ST) : IEC 61131-3 and best practice ST programming*. Books on Demand, 2018. [cited on p. 12]
- [10] Peter, “Diagrama de Blocos de Funções (FBD) Tutorial de Programação - PLC Academy,” 2018. [cited on p. 13]
- [11] R. Valério, M. Valério, and R. Garcia, “Anais do VI Seminário Multidisciplinar ENIAC Pesquisa 2014 VI Encontro Da Engenharia Do Conhecimento Eniac VI Encontro De Iniciação Científica Eniac VI Fábrica de Artigos O FUTURO DA ROBÓTICA THE FUTURE OF ROBOTICS _____ RESUMO,” tech. rep., 2008. [cited on p. 13]

- [12] J. A. M. Felipe De Souza, “Robótica,” tech. rep. [cited on p. 13]
- [13] “ESABot: História da Robótica: O Século XX - parte II,” 2011. [cited on p. xiii, 14]
- [14] E. Alecrim, “Honda vai descontinuar robô humanoide Asimo – Inteligência Artificial.” [cited on p. xiii, 14]
- [15] F. Pazos, “Robôs de Classe | Laboratório de Eletrônica,” 2016. [cited on p. xiii, 15]
- [16] F. Pazos, “Robôs de Classe | Laboratório de Eletrônica,” 2016. [cited on p. xiii, 16]
- [17] S. Gomes, “Controle e Automação Industrial III: Aula 43 - Robô do tipo Cartesiano,” 2014. [cited on p. 17]
- [18] M. Silva and N. B. D. Robótica, “ROBIN : Robótica Industrial Noções Básicas de Robótica,” pp. 1–100. [cited on p. xiii, 17, 18]
- [19] “Merlin Robots.” [cited on p. xiii, 19]
- [20] M. Silva, “ROBIN : Robótica Industrial Atuadores Finais para Robôs Industriais,” pp. 1–60, 2016. [cited on p. 20]
- [21] “Garra de prensão elétrica / magnética - TRAPO.” [cited on p. 20]
- [22] “Grippers Espuma e Ventosas – Micro Automação – Handling.” [cited on p. 20]
- [23] “Tocha de soldagem MIG / resfriada a ar / robótica - TOUGH GUN™ TA3 Robotic Air-Cooled MIG Gun - Tregaskiss.” [cited on p. 21]
- [24] “Inédito robô esculpe modelos para indústria naval,” 2009. [cited on p. 21]
- [25] B. Q. d. Oliveira, J. L. Farias, R. K. P. Ferreira, T. A. d. O. L. Costa, I. N. d. Oliveira, and A. C. Filho, “Tipos e aplicações de sensores na robótica,” *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS*, pp. 223–229, 2017. [cited on p. 21]
- [26] “Novo Controlador de Robô (R-30iB Plus/ R-30iB Mate Plus) - Fanuc.” [cited on p. xiii, 22]
- [27] A. Jacobsen, “Quota de mercado da rede industrial 2019 de acordo com HMS,” 2019. [cited on p. xiii, 23]
- [28] T. M. Da Silva, M. A. Spohn, and A. S. Padilha, “Uma análise comparativa entre os protocolos CANopen, DeviceNet e Smart Distributed System,” *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, vol. 9, p. 2, 5 2017. [cited on p. xiii, 25]

- [29] C. Cassiolato, “Redes Industriais | SMAR - Líder em Automação Industrial.” [cited on p. 25]
- [30] V. De Souza and L. Oliveira, “PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO PROFINET PARA REDES DE AUTOMAÇÃO,” tech. rep. [cited on p. 25]
- [31] L. P. d. Araújo, “Condutores e cabos eléctricos.” [cited on p. 26]
- [32] Profectro, “Disjuntor Diferencial e Interruptor Diferencial,” 2016. [cited on p. 26]
- [33] ABNT NBR 60898, “ABNT Catalogo,” 2015. [cited on p. 27]
- [34] E. Takafashi, “Curva dos Disjuntores: Principais características.” [cited on p. xiii, 27]
- [35] “O que é sinal PNP e NPN? - Mundo da Elétrica.” [cited on p. xiii, 29]
- [36] “Sensor de posição para cilindro / linear / sem contato / magnético - MK521, MK519, MK535 series - ifm electronic - Vídeos.” [cited on p. xiii, 30]
- [37] L. Roggia, *Automação Industrial*. 2016. [cited on p. xiv, 30, 31]
- [38] Citisystems, “(2) Entenda a diferença entre Sensor PNP x NPN - YouTube.” [cited on p. xiv, 31, 32]
- [39] A. . Victor, A. Turchetti, L. Otávio, and S. Ferreira, “"Estudo de Encoders Ópticos Baseados no Efeito Moiré e Projeto de um Kit de Encoder Didático",” tech. rep. [cited on p. xiv, 33, 34]
- [40] “Segurança Homem-Máquina,” tech. rep. [cited on p. 34]
- [41] “EN IEC 62061 – Avaliar riscos com o Safety Integrity Level - Pilz PT.” [cited on p. xix, 34, 35]
- [42] “EN ISO 13849-1 – Dividir os perigos em Performance Level - Pilz PT.” [cited on p. 35]
- [43] “Máquinas seguras de forma rápida e fácil – com alta produtividade,” [cited on p. xiv, 35]
- [44] R. Automation, “Dispositivos de segurança de detecção de presença Segurança e produtividade otimizadas,” tech. rep. [cited on p. xiv, 37, 38]
- [45] “Proteção de Despaletizador com um Par de Sensores de Muting | Banner.” [cited on p. xiv, 38]
- [46] “Caixa de acesso multifuncional.” [cited on p. 39]

- [47] “Chaves de travamento de proteção TLS-GD2.” [cited on p. 39]
- [48] “Botón pulsador de parada de emergencia / industrial / de plástico - Tecnomatic Italia.” [cited on p. xiv, 40]
- [49] “440R-B23020 | Relé de seguridad Allen Bradley Guardmaster 440R-B23020, 1, 3, 1 canal, Automático, manual, supervisado, 24 V ac / dc | RS Components.” [cited on p. 40]
- [50] “INSTALLATION INSTRUCTIONS / MONTAGEANLEITUNG / NOTICE D’INSTALLATION,” tech. rep. [cited on p. 40]
- [51] “FlexGripper-Clamp Palletizing gripper,” tech. rep. [cited on p. 43]
- [52] “Produktbild_Palettieranlage_Spezialchemikalien4 - KOCH Robotersysteme.” [cited on p. 43]
- [53] “SAS Fork Palletizing Gripper - Piab, Robotic Gripping- EOAT.” [cited on p. 44]
- [54] P. Brans, “Choosing the right ECM tools.” [cited on p. xiv, 44, 45, 46]
- [55] “Examples Of Realised Robot Systems - KOCH Robotersysteme.” [cited on p. 44]
- [56] S. Impianti, “Paletização de Papel Higiênico - Projeto Floralys - YouTube,” 2017. [cited on p. xiv, 47, 48, 49, 50]
- [57] “Solução de Paletização com Robôs para Laticínios - YouTube.” [cited on p. xiv, 51, 52, 53, 54, 55]
- [58] “Célula de Paletização Torfresma - YouTube.” [cited on p. xiv, 54]
- [59] “(3) Sistema de Paletização para produtos Lácteos - YouTube.” [cited on p. xiv, 55]
- [60] “Empresa | SEE Sistemas.” [cited on p. 55]
- [61] “Sistema de paletização de sacos SEE SISTEMAS - YouTube.” [cited on p. xiv, 56, 57, 58]
- [62] “RobotWorx - Motoman MPL80.” [cited on p. xv, 68]
- [63] “MPL300 II | Motoman Industrial Robots - Yaskawa Motoman Robotics.” [cited on p. xv, 69]
- [64] “Variador de frecuencia trifásico / con pantalla digital / monofásico / para motor asíncrono - SK 500E - Getriebebau NORD GmbH & Co. KG.” [cited on p. xv, 72]

- [65] R. Automation, “Catálogo de componentes essenciais,” tech. rep. [cited on p. 74]
- [66] “Ersatzteil: Yaskawa Motoman Verstärker X18 8235025 | ESKA-Welt.” [cited on p. 74]
- [67] C. Omron, “Photoelectric Sensors,” [cited on p. xv, 79]
- [68] “Piston rod cylinders Guide cylinders Series GPC Sensor, Series ST6,” tech. rep. [cited on p. xv, 79]
- [69] Türck, “Inductive sensor BI10-M30-AZ3X.” [cited on p. 80]
- [70] Omron, “Long Distance Square Inductive Proximity Sensor,” tech. rep. [cited on p. 80]
- [71] “O padrão dois de VF3130 SMC posiciona a válvula de solenóide de cinco maneiras, válvula de controle direcional.” [cited on p. xv, 81]
- [72] “Produtos – CASA DOS SENSORES.” [cited on p. 82]
- [73] “Anti-collision Sensors | Robotools S.r.l.” [cited on p. 82]
- [74] G. NORD GmbH and C. K. Member of the NORD DRIVESYSTEMS Group, “BU 0200-en NORDAC ® FLEX (SK 200E ... SK 235E) Users Manual for Frequency Inverters,” tech. rep., 2002. [cited on p. xix, 83]
- [75] G. NORD GmbH and C. K. Member of the NORD DRIVESYSTEMS Group, “Technical Information / Datasheet SK CU4-PNT-C,” tech. rep. [cited on p. 84]
- [76] “Redes e Comunicações: Como cravar fichas RJ45.” [cited on p. 84]
- [77] Nord, “Motors M7000,” [cited on p. 86]
- [78] “442G-MABR-UT-C04 Allen Bradley Guardmaster | 442G Solenoid Interlock Switches Power to Unlock 5 24 V dc | 151-2441 | RS Malta Online.” [cited on p. xv, 88, 89]
- [79] I. Instructions, N. D. Installation, and I. D. E. Instalación, “Installation instructions · notice d’installation · instrucciones de instalación,” pp. 1–2. [cited on p. xv, 90]
- [80] R. Automation, “MSR42 Control Module User Manual Important User Information,” tech. rep. [cited on p. xv, 91]
- [81] S. Ratings, S. Classification, F. S. Data, P. Supply, I. P. Entry, P. Consumption, S. Inputs, I. Resistance, P. On, D. Time, R. Time, S. Contacts, A. Contacts, T. Protection, O. Temperature, and C. Size, “Single-Function Safety Relays Single-Function Safety Relays,” pp. 1–2. [cited on p. xv, 91]

- [82] F. S. Manual and F. S. Manual, “S7-1200 Functional Safety Manual S7-1200 Functional Safety Manual Technical specifications Ordering information,” pp. 1–212, 2015. [cited on p. 94]
- [83] “MOTOMAN MPL-series MPL160 MPL80 MPL300 MPL800 MPL100 MPL500 Palletising with the MPL-series,” tech. rep. [cited on p. xv, 99]
- [84] R. Automation, “Multifunctional Access Box Installation Instructions,” no. October, pp. 1–4, 2015. [cited on p. xvi, 131]

Anexo A

Tabela de produtos

	Formato da Embalagem	Código Produto	Entrada do produto	Formato da paleta (800x1200) com produtos
1		Pro_A		
2		Pro_B		
3		Pro_C		
4		Pro_D		
5		Pro_E		
6		Pro_F		
7		Pro_G		
8		Pro_H		
9		Pro_I		
10		Pro_J		

Figura A.1: Tabela de produtos a programar.

Anexo B

Pinout da fechadura

M23 19-Pin QD ¹	19-Conductor Cordset ¹	M20 Cable Entry	Function	Description
		Terminal		
1	Violet	X3.7	IMP	Lock command A
2	Red	X2.1	S1.A1	E-stop circuit A
3	Grey	X2.2	S1.B1	E-stop circuit B
n/a	n/a	X4.1	F11A	Safety input channel A, connect F01A from previous device when switch configured for series operation ²
n/a	n/a	X4.2	F11B	Safety input channel B, connect F01B from previous device when switch configured for series operation ²
4	Red/Blue	X4.4	F01A	Safety output channel A, ON when guard is closed and locked
5	Green/Black	X4.5	F01B	Safety output channel B, ON when guard is closed and locked
6	Blue	X5.5	OV	Connected internally to X3.5
7	Grey/Pink	X4.6	RST	Reset, device is reset if 24V DC is applied for at least 3 seconds
8	White/Green	X5.2	OT	Bolt monitoring output, ON when guard is closed and bolt is inserted in lock module
9	White/Yellow	X5.4	OI	Fault diagnostic, ON when the switch is in a fault state
10	White/Grey	X2.3	S1.A2	E-stop circuit A
11	Black	X2.4	S1.B2	E-stop circuit B
n/a	n/a	X2.6	S1 Auxiliary	E-stop monitoring contact (conduit models only)
12	Green/Yellow	N/A	↓	Connector housing GND
13	Yellow/Brown	X2.7	S2	Push button switching element (S2)
14	Brown/Green	X3.1	H2	Push button LED (H2)
15	White	X3.2	S3	Push button switching element (S3)
16	Yellow	X3.3	H3	Push button LED (H3)
n/a	n/a	x5.1	OD	Door monitoring output, ON when the door is closed.
17	Pink	X5.3	OL	Lock monitoring output, ON when guard is closed and locked
18	Grey/Brown	X3.8	IMM	Reserved for future use.
19	Brown	X3.4	UA	Power Supply for solenoid and monitoring outputs
		X5.6	UB	Power supply for safety outputs ³

Figura B.1: Descrição detalhada das ligações da fechadura Allen Bradley [84].

Anexo C

Identificação de motores

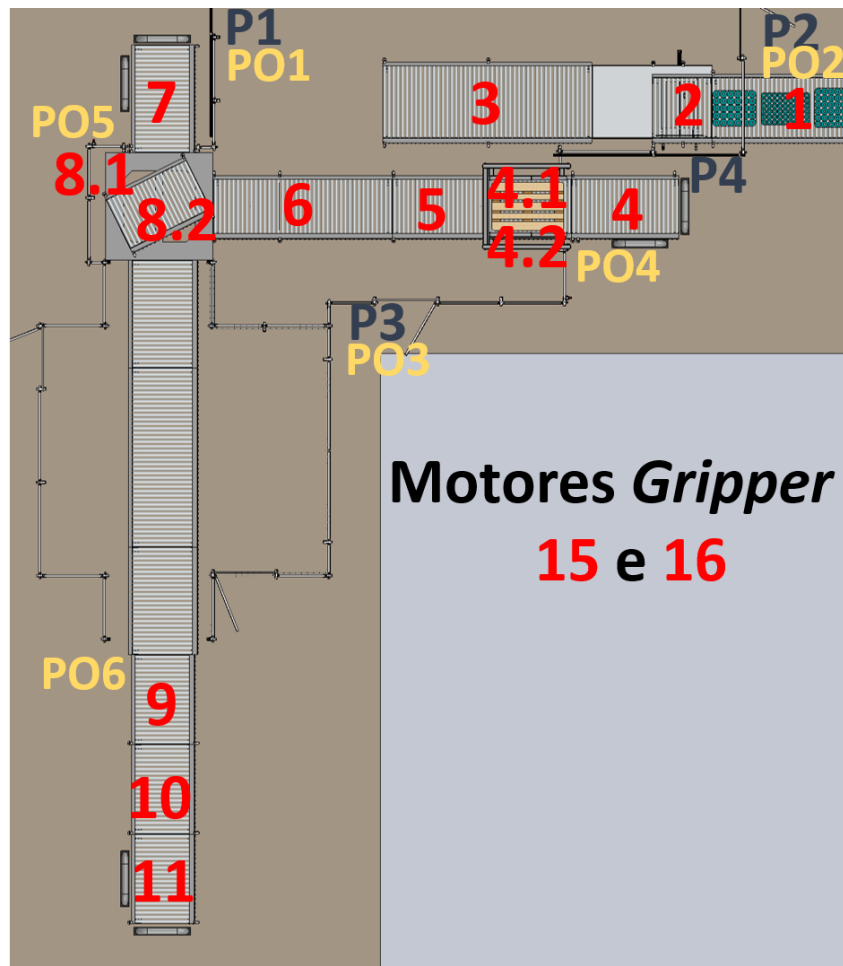


Figura C.1: Identificação dos motores da célula.

Anexo D

Relé das emergências externas

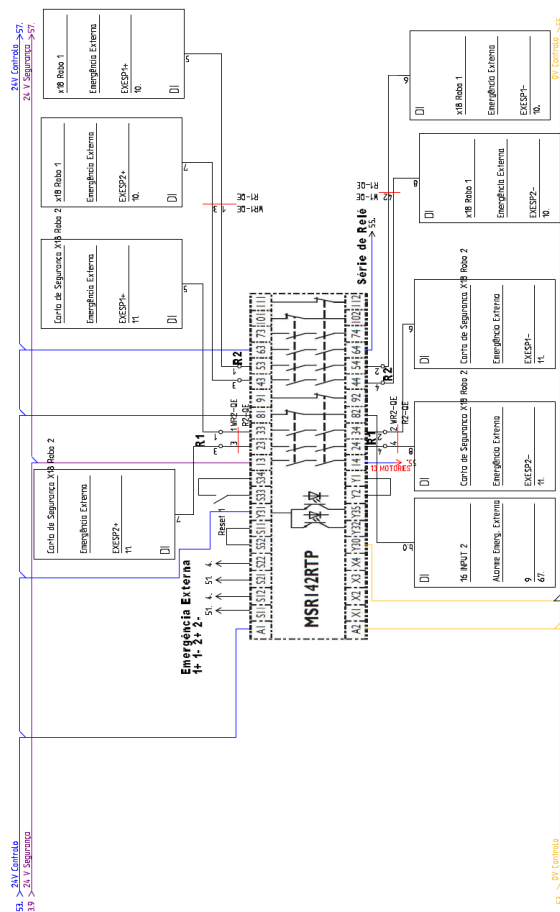


Figura D.1: Relé MSR142RTP que tem como entrada as emergências externas das fechaduras e das botoneiras de emergência.

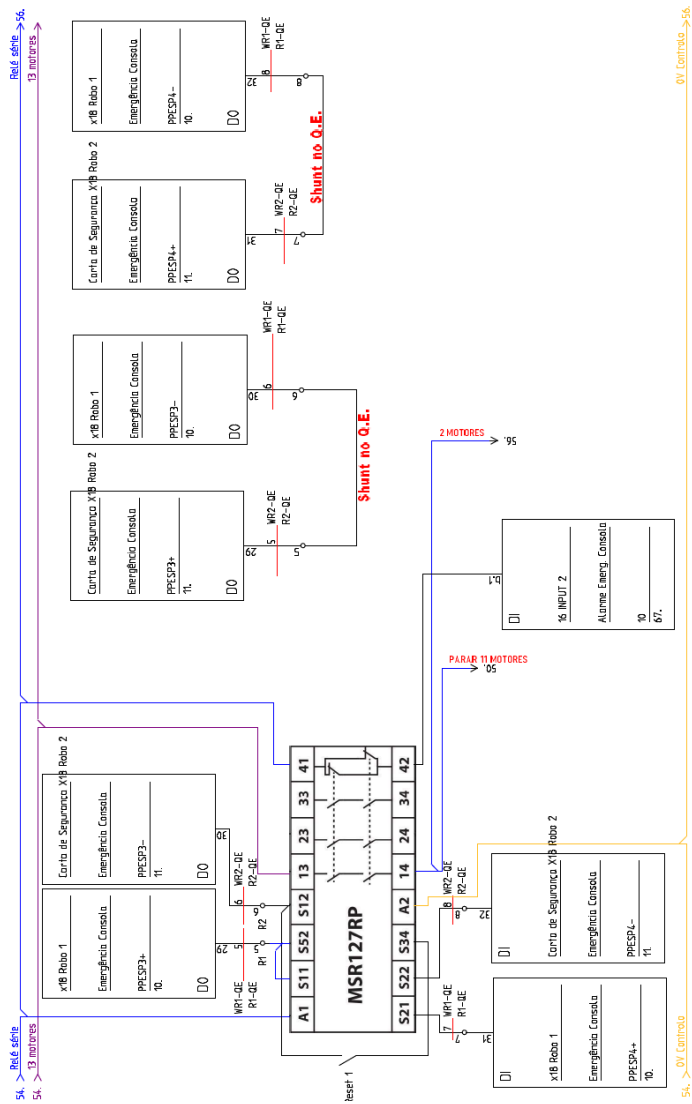


Figura D.2: Relé MSR127RP que tem como entrada as emergências das consolas dos robôs.

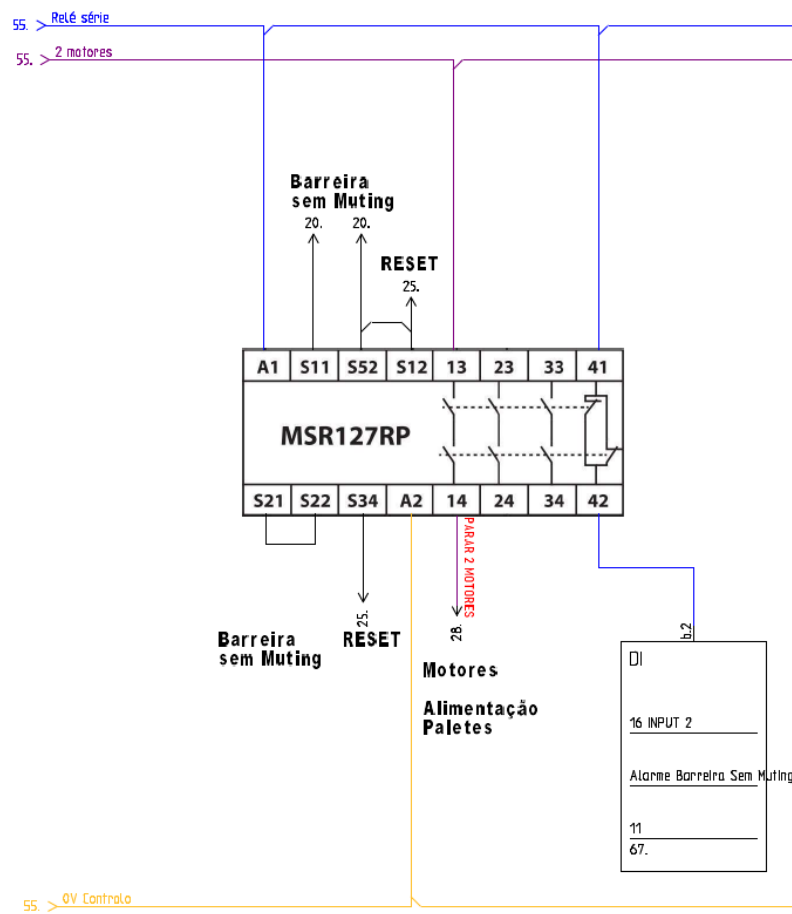


Figura D.3: Relé MSR127RP que tem como entrada a barreira sem *muting*.

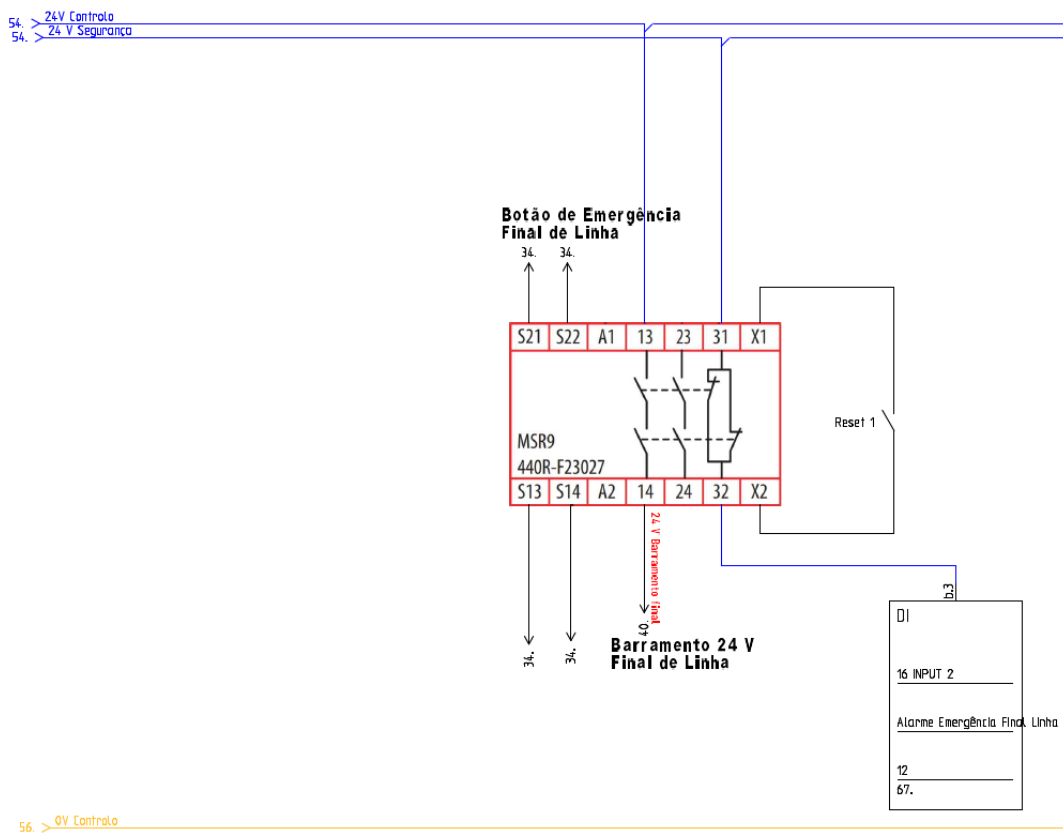


Figura D.4: Relé MSR9T que tem como entrada o botão de emergência de final de linha.

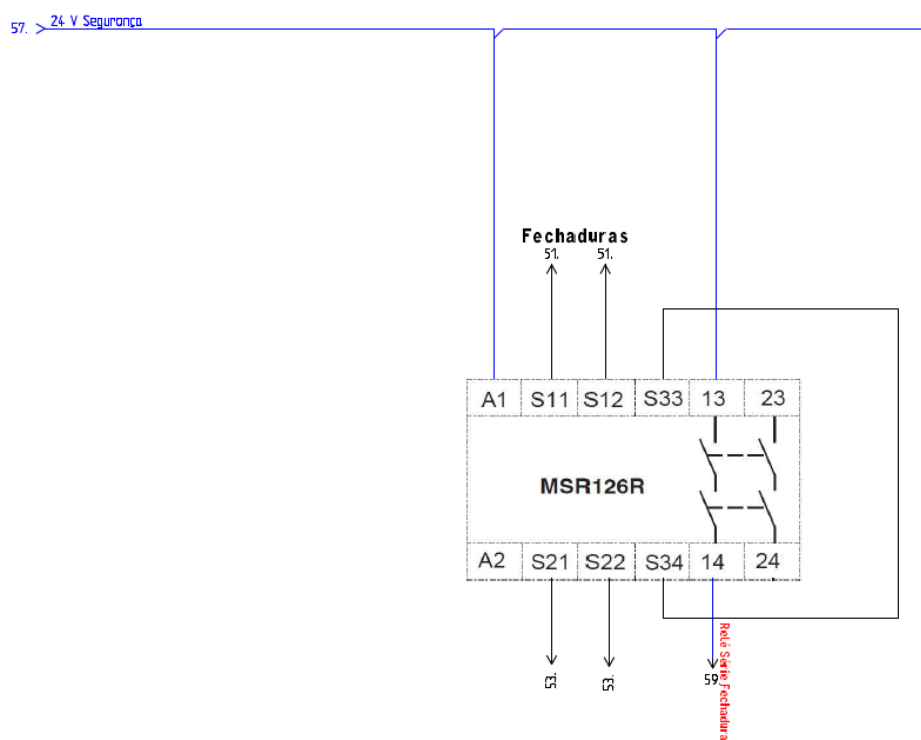


Figura D.5: Relé MSR126R que tem como entrada as fechaduras.

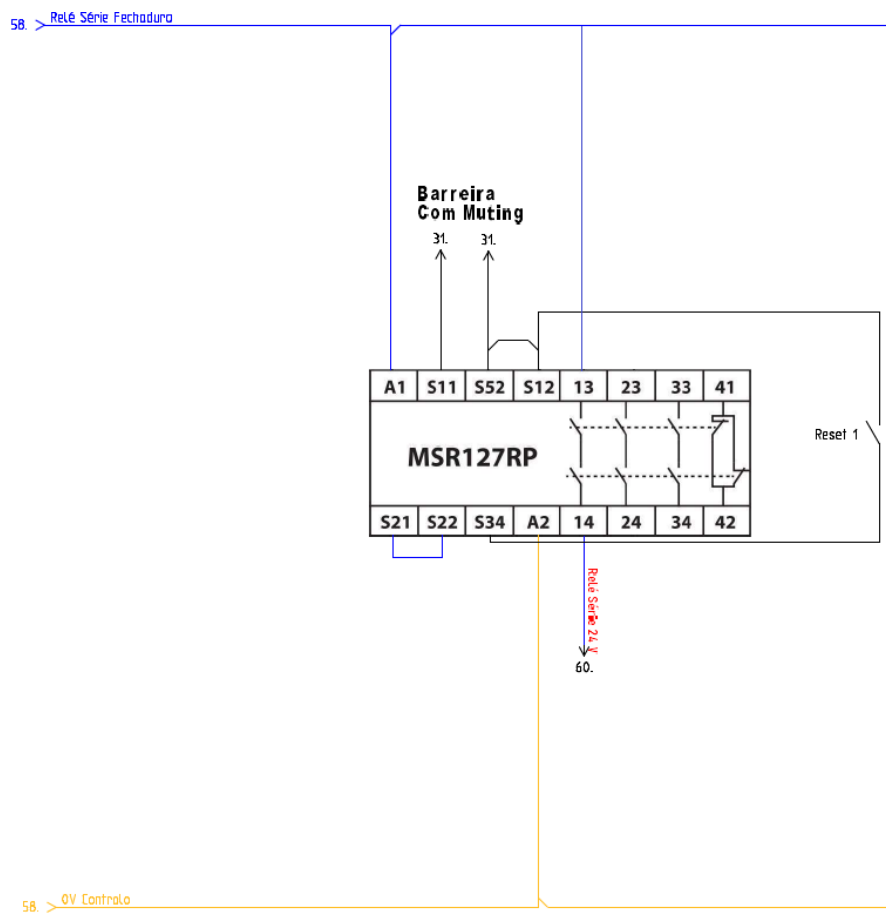


Figura D.6: Relé MSR127RP que tem como entrada a barreira com *muting*.

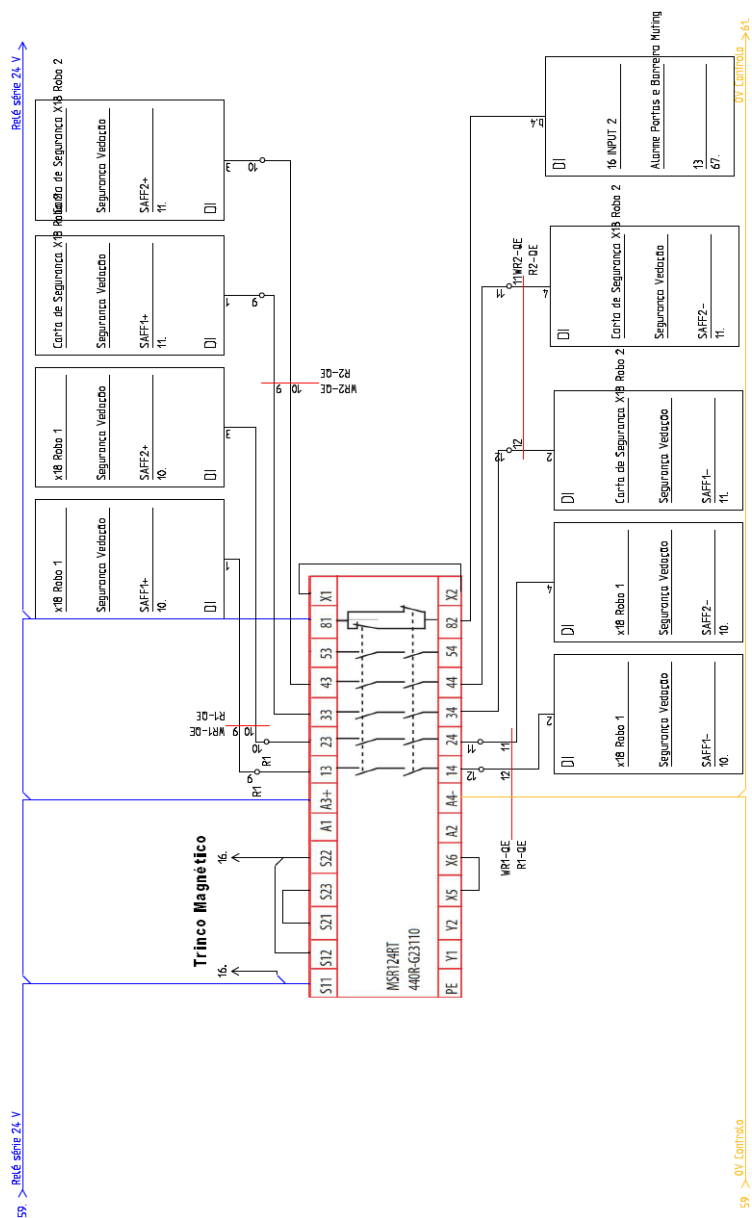


Figura D.7: Relé MSR124RT que tem como entrada o trinco magnético

Anexo E

Variáveis de comunicação PLC - Robô 1

Tabela E.1: Variáveis de comunicação de entrada do PLC e robô 1.

VARIÁVEIS DO ROBÔ 1		
Entradas		Comentário
Endereço	Endereço de saída no Robô e descrição	
%I74.0	OT#(081) R1 - Pick Vazio	Pick do robô 1 livre
%I74.1	OT#(082) R1 - 2 Pick	Camada Ready do robô 1
%I74.2	OT#(083) R1 - HeartBit	HeartBit de comunicação do robô 1
%I74.3	OT#(084) R1 - Check Cell	Verificação de célula limpa
%I74.4	OT#(085) R1 - Bloquear Entrada	Bloquear a abertura de porta
%I75.1	OT#(090) R1 - PP Emergency	Botão de Emergência do Robô 1
%I75.3	OT#(092) R1 - Um Saco	R1 pede um saco
%I83.0	OT#(097) R1 - ServoOn	Servo ON do robô 1
%I83.1	OT#(098) R1 - RunOn	Robô 1 em RUN
%I83.2	OT#(099) R1 - MinorAlarm	Alarme Robô 1
%I83.3	OT#(100) R1 - MajorAlarm	Alarme Robô 1

Tabela E.2: Variáveis de comunicação de saída do PLC e robô 1.

VARIÁVEIS DO ROBÔ 1		
Saídas		Comentário
Endereço PLC	Endereço de entrada no robô e descrição	
%Q64.0	IN#(033) R1 - HeartBit PLC	Bit de comunicação do Robô 1
%Q64.1	IN#(034) R1 - Cell Ready	Celula limpa e pronta
%Q64.2	IN#(035) R1 - Forçar Abrir Gripper	Forçar abrir o gripper
%Q64.3	IN#(036) R1 - Forçar Fechar Gripper	Forçar fechar o gripper
%Q65.0	IN#(041) R1 - Pick Ready 1	Prepara para o primeiro pick
%Q65.1	IN#(042) R1 - Pick Ready 2	Prepara para o segundo pick
%Q65.2	IN#(043) R1 - Start Pick	Robô pode fazer Pick
%Q65.3	IN#(044) R1 - Reset R1	HMI Reset R1
%Q65.4	IN#(045) R1 - Reset R+	HMI Reset R1 Z+
%Q65.5	IN#(046) R1 - Not Pick Vazio	Não tem pick vazio
%QB66	IN#(049) R1 - Prod ID	ID do produto
%QB67	IN#(057) R1 - Comprimento Rolo	Envia o Comprimento da embalagem
%Q79.0	IN#(153) R1 - Ext Servo On	External Servo ON
%Q79.1	IN#(154) R1 - Ext Start	External Start
%Q79.2	IN#(155) R1 - Ext Hold	External Hold
%Q79.3	IN#(156) R1 - Clear Alarm	Limpar alarmes

Anexo F

Variáveis de comunicação PLC - Robô 2

Tabela F.1: Variáveis de comunicação de entrada do PLC e robô 2.

VARIÁVEIS DO ROBÔ 2		
Entradas		Comentário
Endereço PLC	Endereço de saída no robô e descrição	
%I134.0	OT#(065) R2 - Permissao Entrada PIERI	Pieri autoriza entrada de palete
%I134.1	OT#(066) R2 - Fim Transferencia PIERI	Pieri indica que a transferência foi concluida
%I134.2	OT#(067) R2 - PIERI Ready Go Out	Palete envolvida pronta e prepara saida
%I135.0	OT#(073) R2 - Gripper X Aberto (IN Robot)	Robô indica que gripper está aberto em XX
%I135.1	OT#(074) R2 - Gripper X Fechado (IN Robot)	Robô indica que gripper está fechado em XX
%I135.2	OT#(075) R2 - Gripper Y Aberto (IN Robot)	Robô indica que gripper está aberto em YY
%I135.3	OT#(076) R2 - Gripper Y Fechado (IN Robot)	Robô indica que gripper está fechado em YY
%IB138	OT#(097) R2 - Posição X	Robô indica a posição em X
%IB139	OT#(105) R2 - Posição Y	Robô indica a posição em Y
%I140.0	OT#(113) R2 - Gripper Abrir	Robô indica para abrir gripper
%I140.1	OT#(114) R2 - Gripper Fechar	Robô indica para fechar gripper
%I140.3	OT#(116) R2 - Gripper Desligar	Robô indica para desligar os motores
%I140.4	OT#(117) R2 - Subir Batente 3	Robô indica para subir o batente 3
%IB141	OT#(121) R2 - Codigo Alarme	Envia código de alarme para o PLC
%I142.1	OT#(130) R2 - Evacuar Palete	Pedido de evacuação de palete
%I142.5	OT#(134) R2 - PP Emergency	Emergência consola Robô 2
%I142.7	OT#(136) R2 - Erro Abertura Gripper Zona Perigo	erro de abertura do gripper
%IW143	OT#(137) R2 - Binario	Valor em binário
%I145.0	OT#(153) R2 - Servo On	External Servo ON
%I145.1	OT#(154) R2 - RunOn	External Run On
%I145.2	OT#(155) R2 - MinorAlarm	External minor alarm
%I145.3	OT#(156) R2 - MajorAlarm	Extern major alarm
%I145.4	OT#(157) R2 - HeartBit R2	Hearbit R2

Tabela F.2: Variáveis de comunicação de saída do PLC e robô 2.

VARIÁVEIS DO ROBÔ 2		
Saídas		Comentário
Endereço PLC	Endereço de entrada no robô e descrição	
%QB128	IN#(049) R2 - Prod ID	ID do produto
%Q129.0	IN#(057) R2 - Porta Cartao Aberta	Porta 1 e 3 abertas
%Q129.1	IN#(058) R2 - Paleta Evacuada	Paleta evacuada
%Q129.2	IN#(059) R2 - HeartBit PLC	HeartBit plc
%Q129.3	IN#(060) R2 - Paleta Existe	Paleta na zona de Place para paletizar
%Q129.4	IN#(061) R2 - Batente 3 Cima	Batente 3 em cima
%Q129.5	IN#(062) R2 - Batente 3 Baixo	Batente 3 em baixo
%Q130.3	IN#(068) R2 - Reset R2	Reset do robô a partir da HMI
%Q130.4	IN#(069) R2 - Evac Paleta HMI	Evacuação de paleta a partir da HMI
%Q130.5	IN#(070) R2 - Buffer 2 Ready	Buffer 2 ocupado
%Q130.6	IN#(071) R2 - Erro Binario Zona Perigo	Binário em erro
%Q130.7	IN#(072) R2 - Erro Posicao Zona Perigo	Posição de perigo
%Q131.0	IN#(073) R2 - Start Pick	Start pick
%Q131.1	IN#(074) R2 - FC 2.4	Paleta chegou à zona de paletização do robo 2
%Q132.0	IN#(081) R2 - Paleta Pronta PIERI	Paleta pronta para a Pieri
%Q132.1	IN#(082) R2 - Tranferencia PIERI	Início da transferência da paleta para a pieri
%Q132.2	IN#(083) R2 - Saida Paleta	Saída da paleta para a pieri
%Q132.3	IN#(084) R2 - Prog Bit 0 PIERI	Programa bit 0 da pieri
%Q132.4	IN#(085) R2 - Prog Bit 1 PIERI	Programa bit 1 da pieri
%Q132.5	IN#(086) R2 - Prog Bit 2 PIERI	Programa bit 2 da pieri
%QB133	IN#(089) R2 - Posicao Gripper X	Indica ao gripper a posição no eixo X
%QB134	IN#(097) R2 - Posicao Gripper Y	Indica ao gripper a posição no eixo Y
%QW135	IN#(105) R2 - Binario Gripper X	Indica ao gripper o binário no eixo X
%QW137	IN#(113) R2 - Binario Gripper Y	Indica ao gripper o binário no eixo Y
%Q141.0	IN#(153) R2 - Ext Servo On	External Servo ON
%Q141.1	IN#(154) R2 - Ext Start	External Start
%Q141.2	IN#(155) R2 - Ext Hold	External Hold
%Q141.3	IN#(156) R2 - Clear Alarm	Apagar/Limpar os alarmes

Anexo G

Control Word e Status Word dos motores

Tabela G.1: *Control Word* de comunicação entre PLC e motores.

Control Word		
Word	bit	Comentário do bit no PLC
%QW192	%Q193.0	OT MOTOR X - Ready
	%Q193.1	OT MOTOR X - Disable Voltage
	%Q193.2	OT MOTOR X - Fast Hold
	%Q193.3	OT MOTOR X - Enable Operation
	%Q193.4	OT MOTOR X - Enable Pulse
	%Q193.5	OT MOTOR X - Enable Ramp
	%Q193.6	OT MOTOR X - Enable SetPoint
	%Q193.7	OT MOTOR X - Clear Error
	%Q192.0	OT MOTOR X - 480.11
	%Q192.1	OT MOTOR X - 480.12 (Reset encoder)
	%Q192.2	OT MOTOR X - Enable Control Data
	%Q192.3	OT MOTOR X - Right Turn
	%Q192.4	OT MOTOR X - Left Turn
	%Q192.5	OT MOTOR X - Reserved
	%Q192.6	OT MOTOR X - Parameter Set 1
%Q192.7	OT MOTOR X - Parameter Set 2	

Tabela G.2: *Status Word* de comunicação entre PLC e motores.

Status Word		
Word	Bit	Comentário do bit no PLC
%IW196	%I197.0	I MOTOR X - Ready to Start
	%I197.1	I MOTOR X - Ready for operation
	%I197.2	I MOTOR X - Enabled
	%I197.3	I MOTOR X - ERROR
	%I197.4	I MOTOR X - Voltage Enabled
	%I197.5	I MOTOR X - Fast Hold
	%I197.6	I MOTOR X - No Starting Lockout
	%I197.7	I MOTOR X - Warning Active
	%I196.0	I MOTOR X - SetPoint Reached
	%I196.1	I MOTOR X - Bus Control Active
	%I196.2	I MOTOR X - 481.09
	%I196.3	I MOTOR X - Turn Right On
	%I196.4	I MOTOR X - Turn Left On
	%I196.5	I MOTOR X - 481.10
	%I196.6	I MOTOR X - Parameter Bit 0
	%I196.7	I MOTOR X - Parameter Bit 1

Anexo H

Fluxograma do controlo dos motores

H.1 Condições do motor do transportador 1

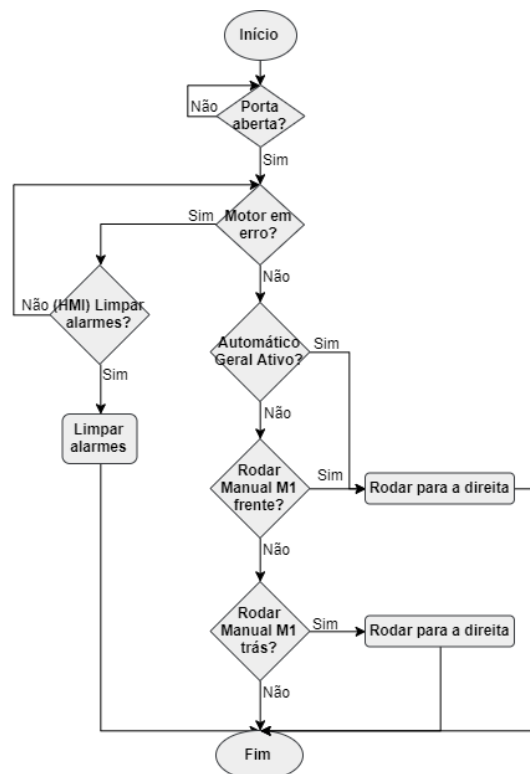


Figura H.1: Fluxograma de controlo do motor do transportador 1.

H.2 Condições do motor do transportador 4

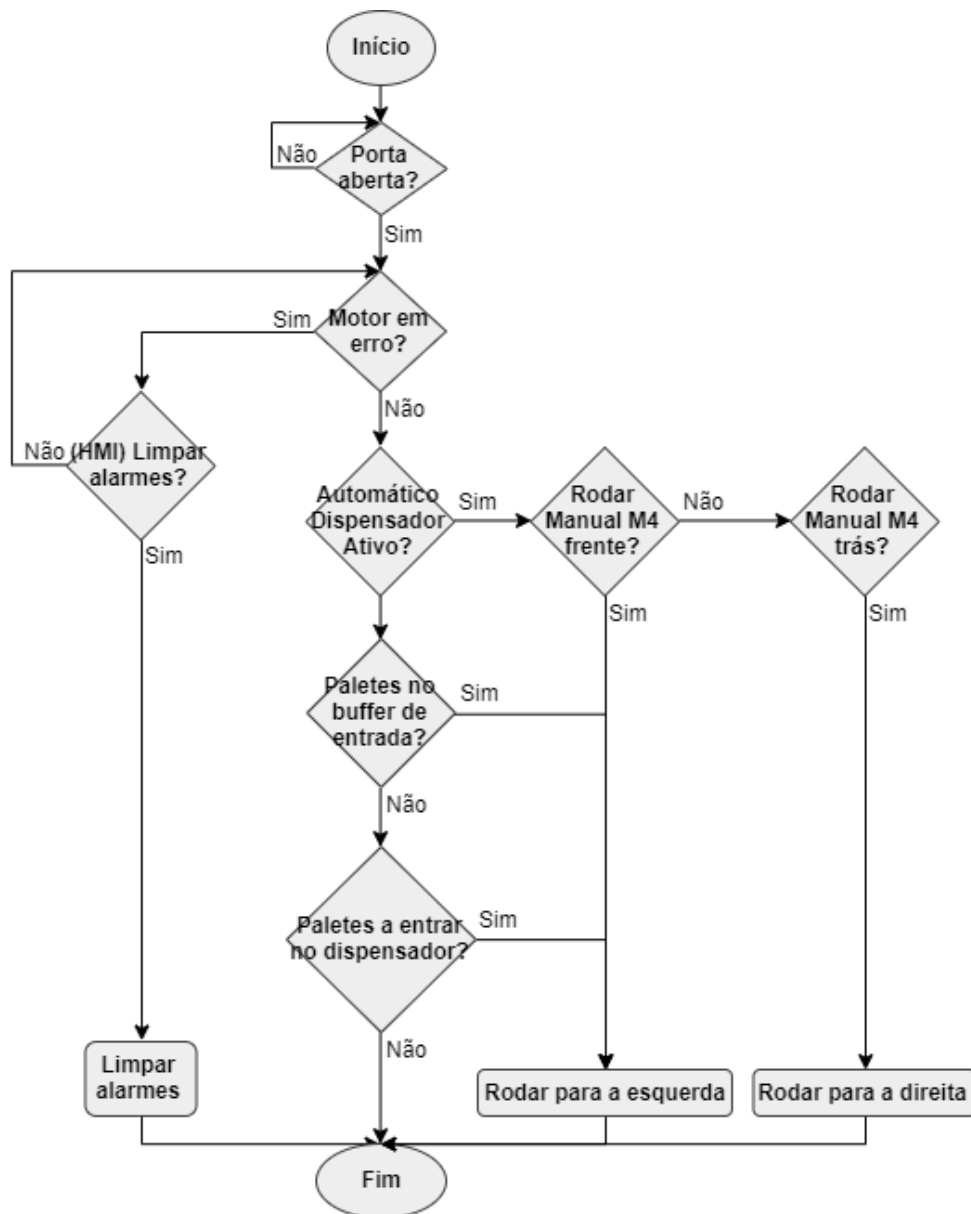


Figura H.2: Fluxograma de controlo do motor do transportador 4.

H.3 Condições do motor 4.1

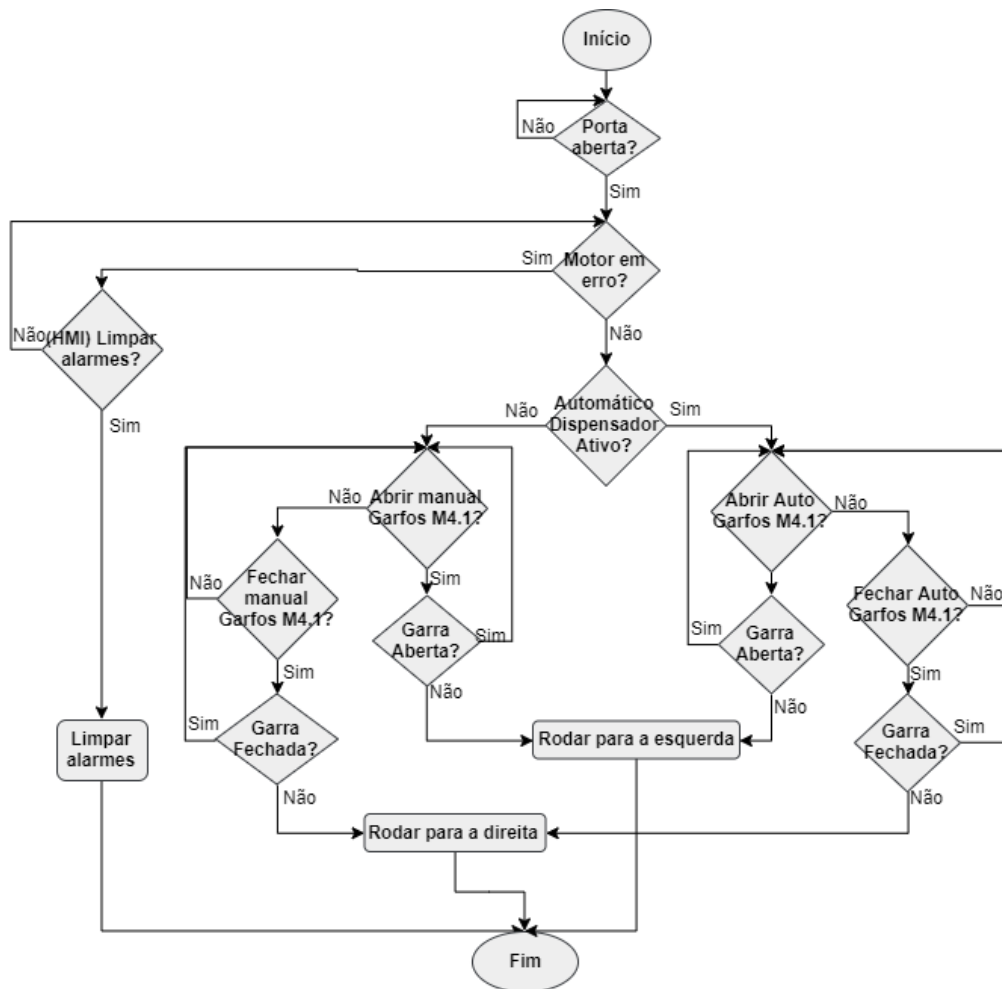


Figura H.3: Fluxograma de controlo do motor de abertura e fecho dos garfos.

H.4 Condições do motor 6

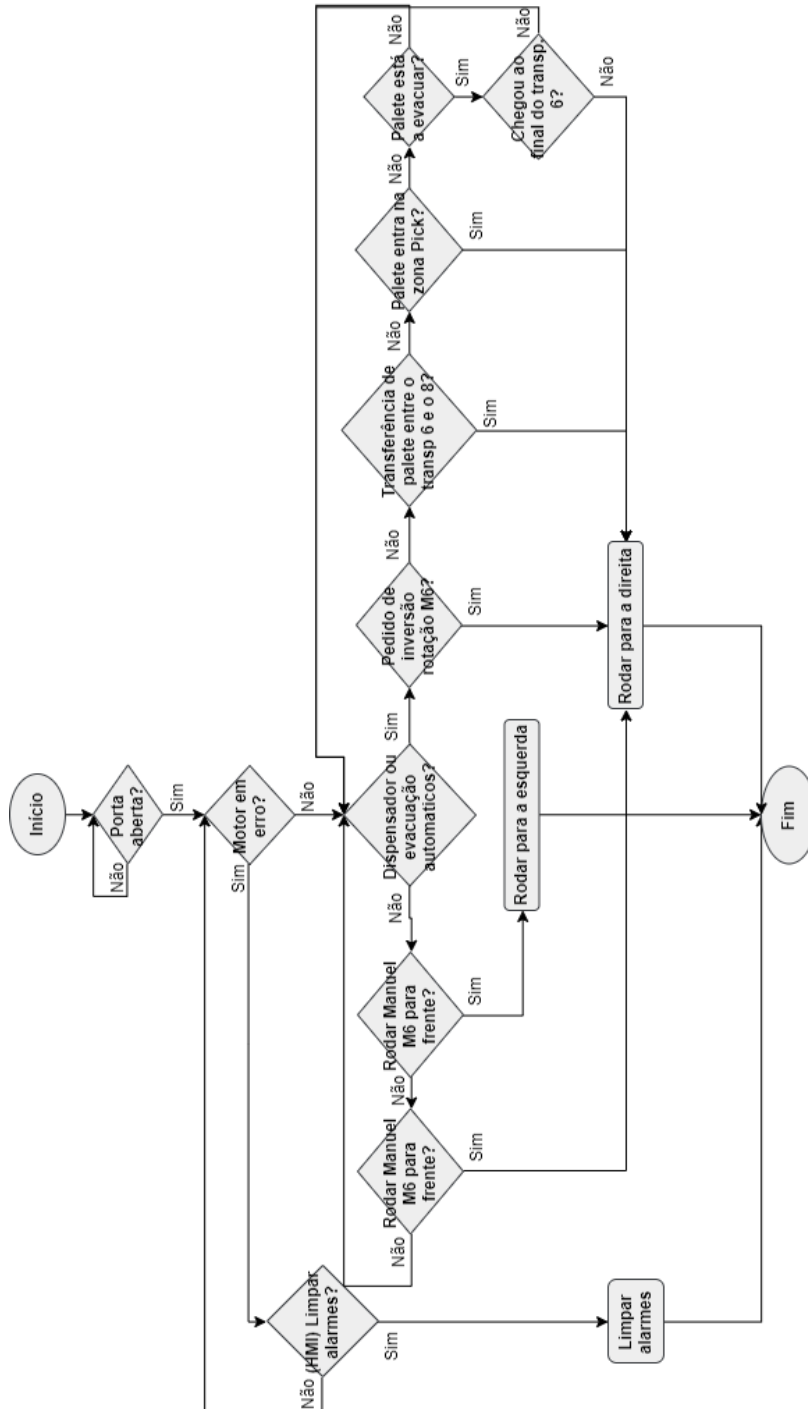


Figura H.4: Fluxograma de controlo do motor 6.

H.5 Condições do motor 7

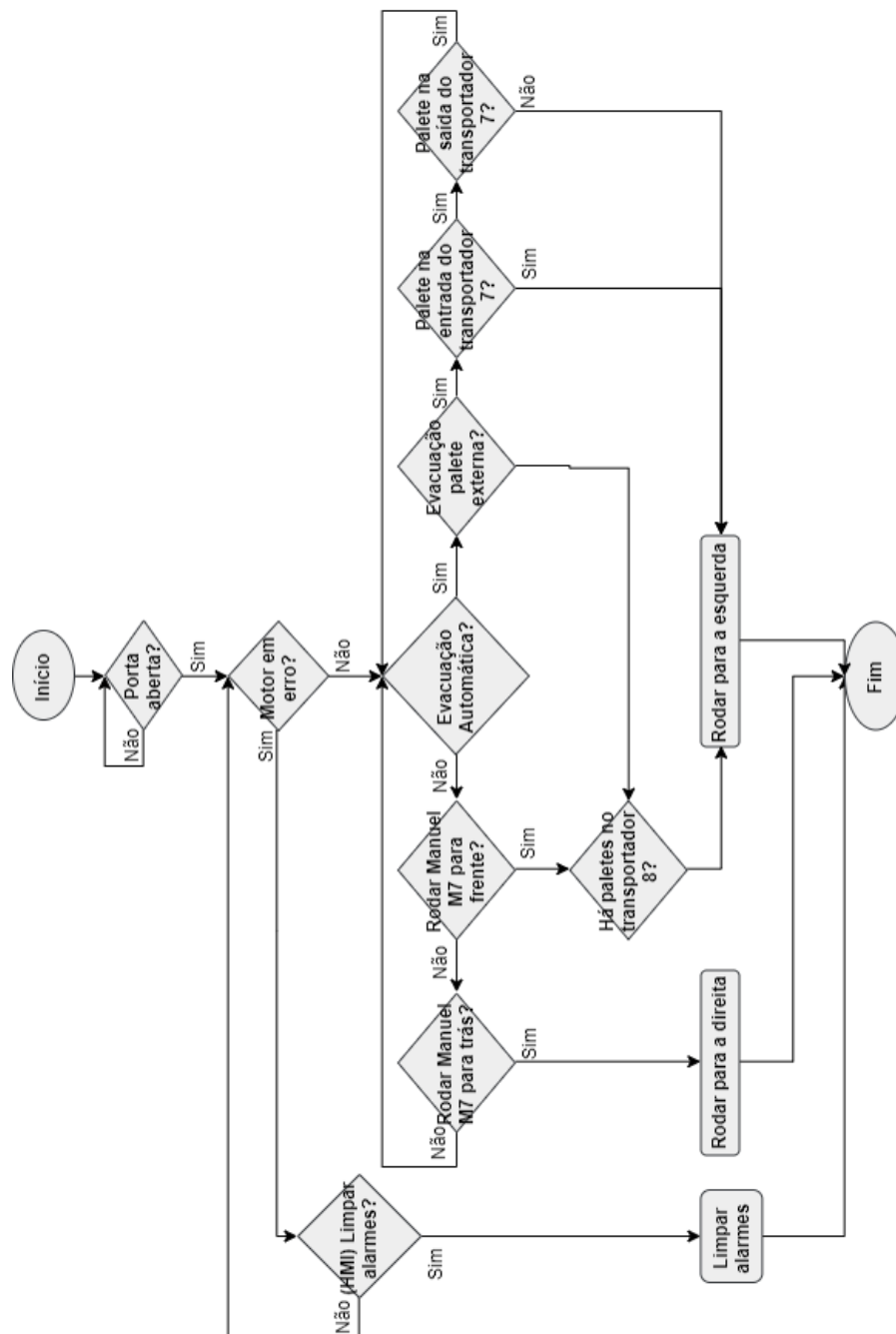


Figura H.5: Fluxograma de controlo do motor do transportador 7.

H.6 Condições do motor 8.1

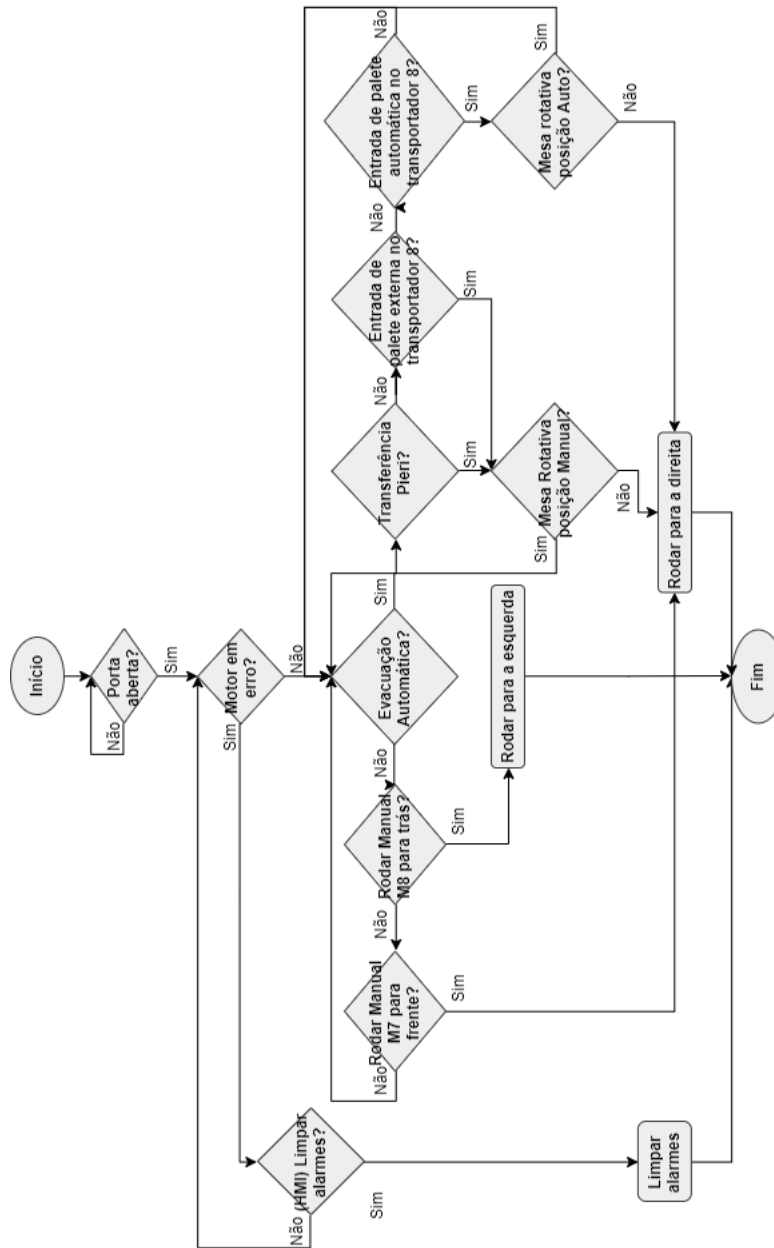


Figura H.6: Fluxograma de controlo do motor 8.1 da mesa rotativa.

H.7 Condições do motor 8.2

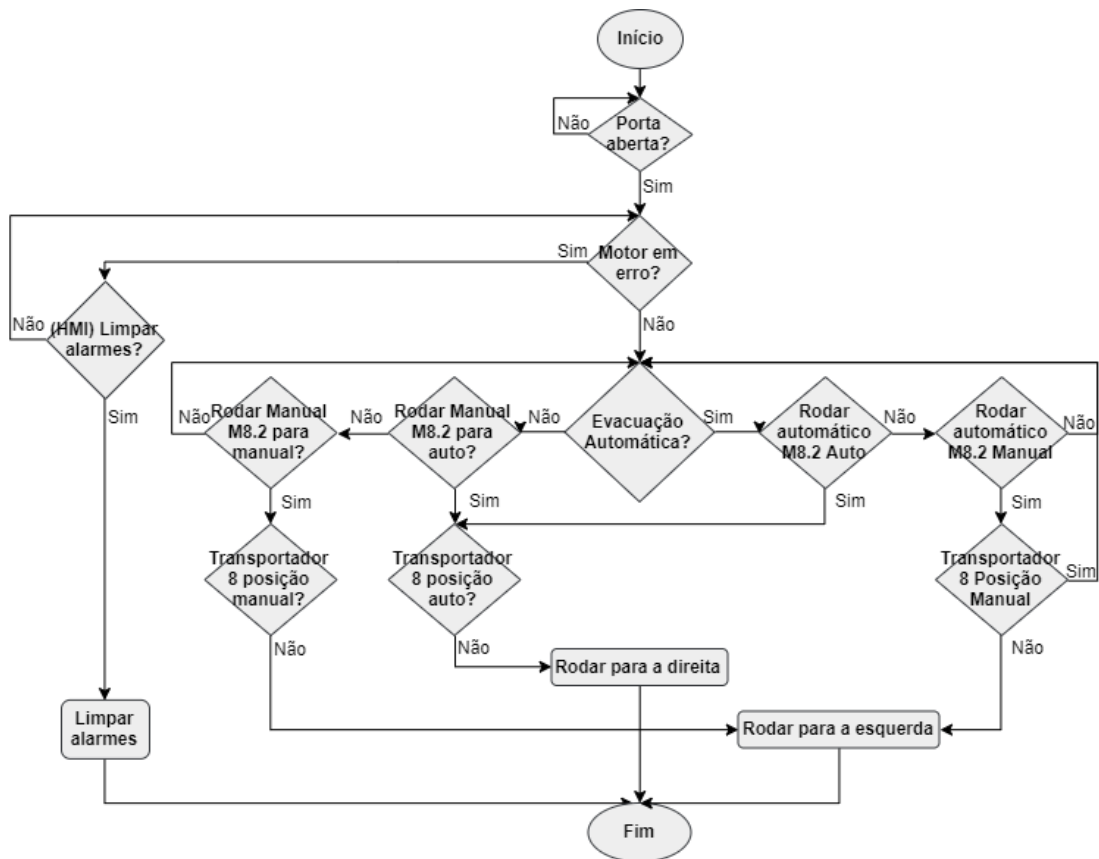


Figura H.7: Fluxograma de controlo do motor 8.2 da mesa rotativa.

H.8 Condições do motor 9

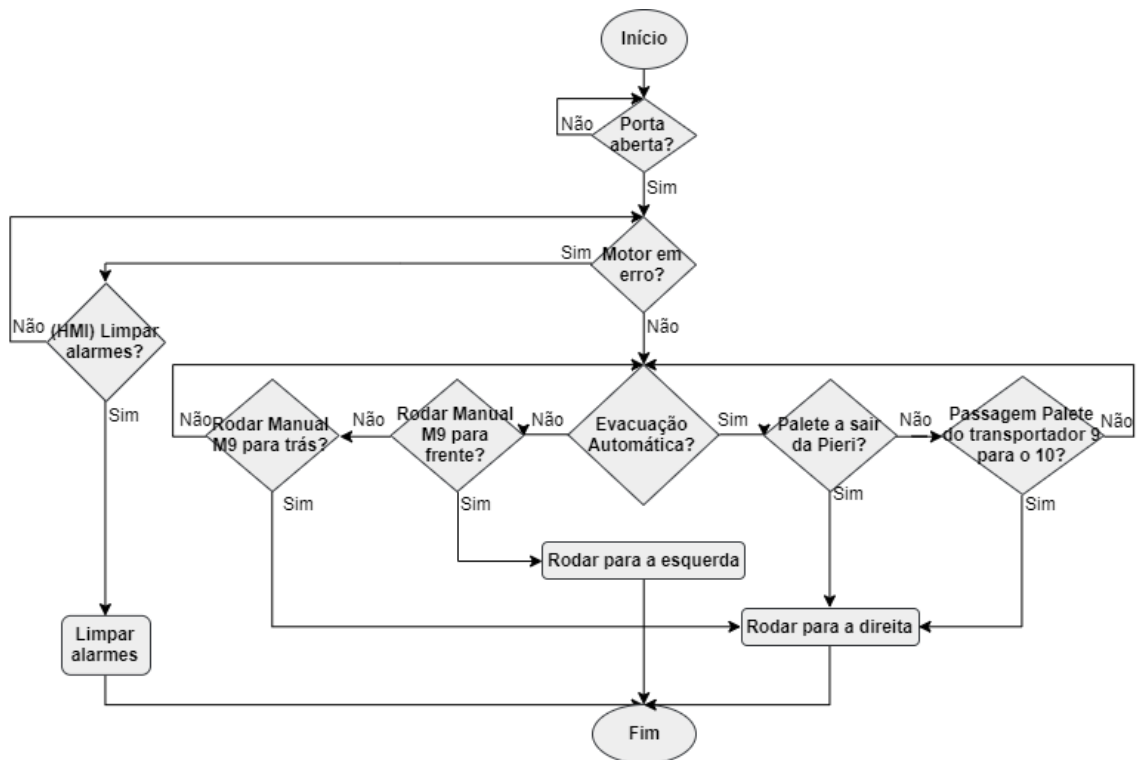


Figura H.8: Fluxograma de controlo do motor 9 do transportador 9.

H.9 Leitura dos sensores e definição das posições

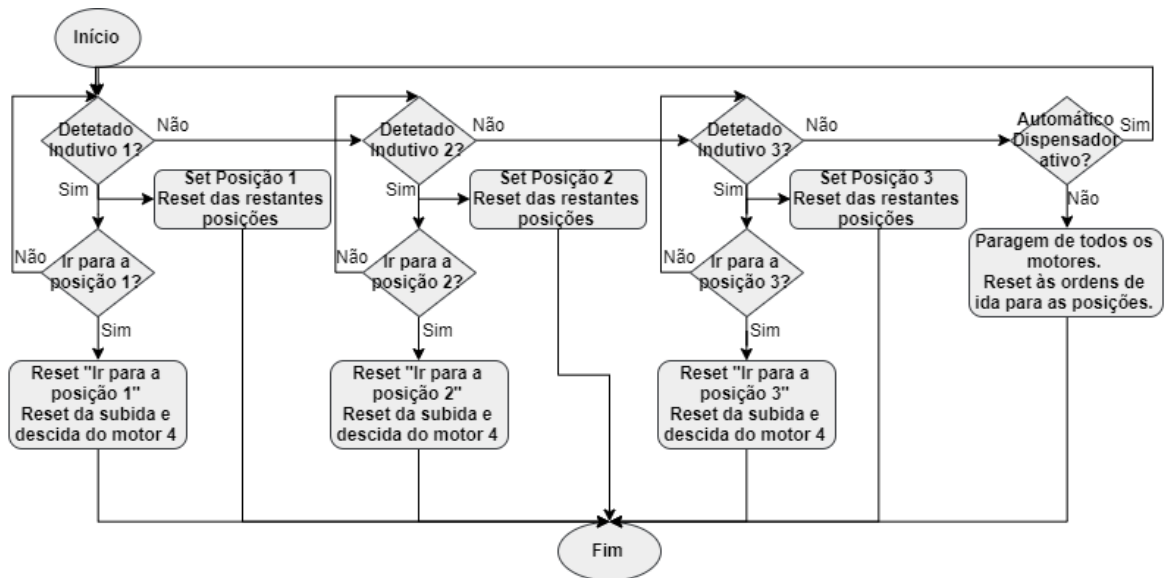


Figura H.9: Fluxograma com a leitura dos sensores do dispensador e definição das posições e estado dos motores.

H.10 Definição do estado de subir e descer paletes e abrir e fechar garfos

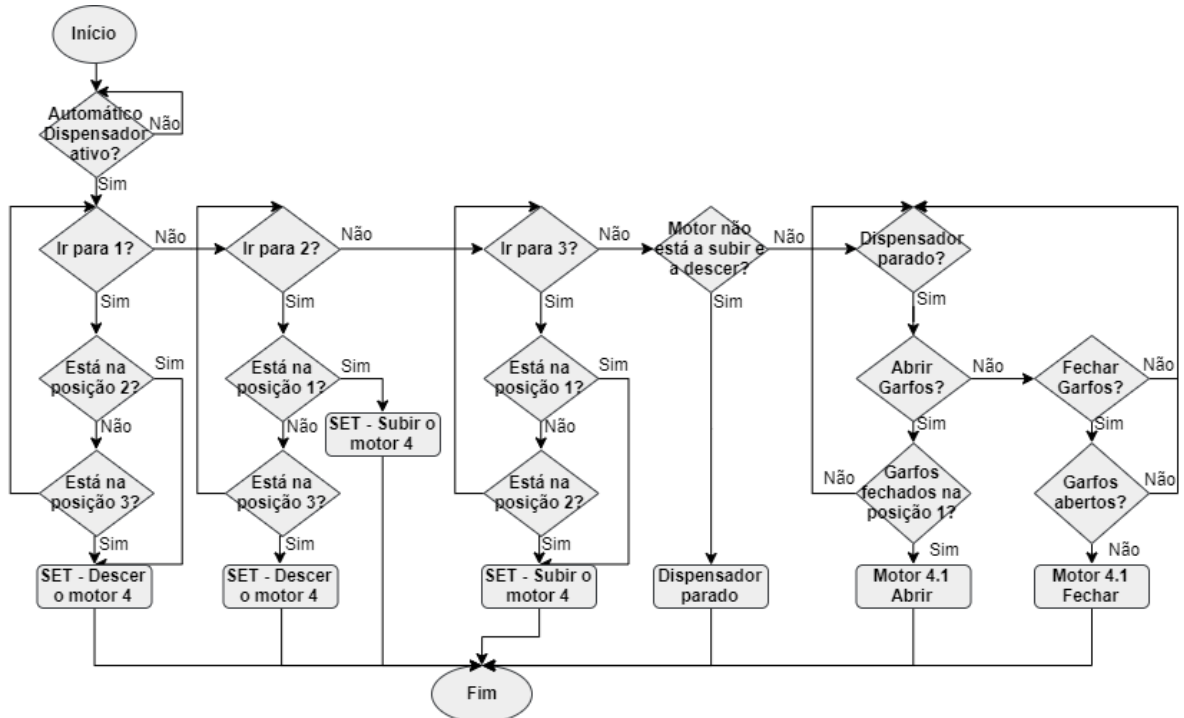


Figura H.10: Fluxograma que controla o movimento de abertura e fecho dos garfos e a subida e descida de paletes.

H.11 Condições do dispensador

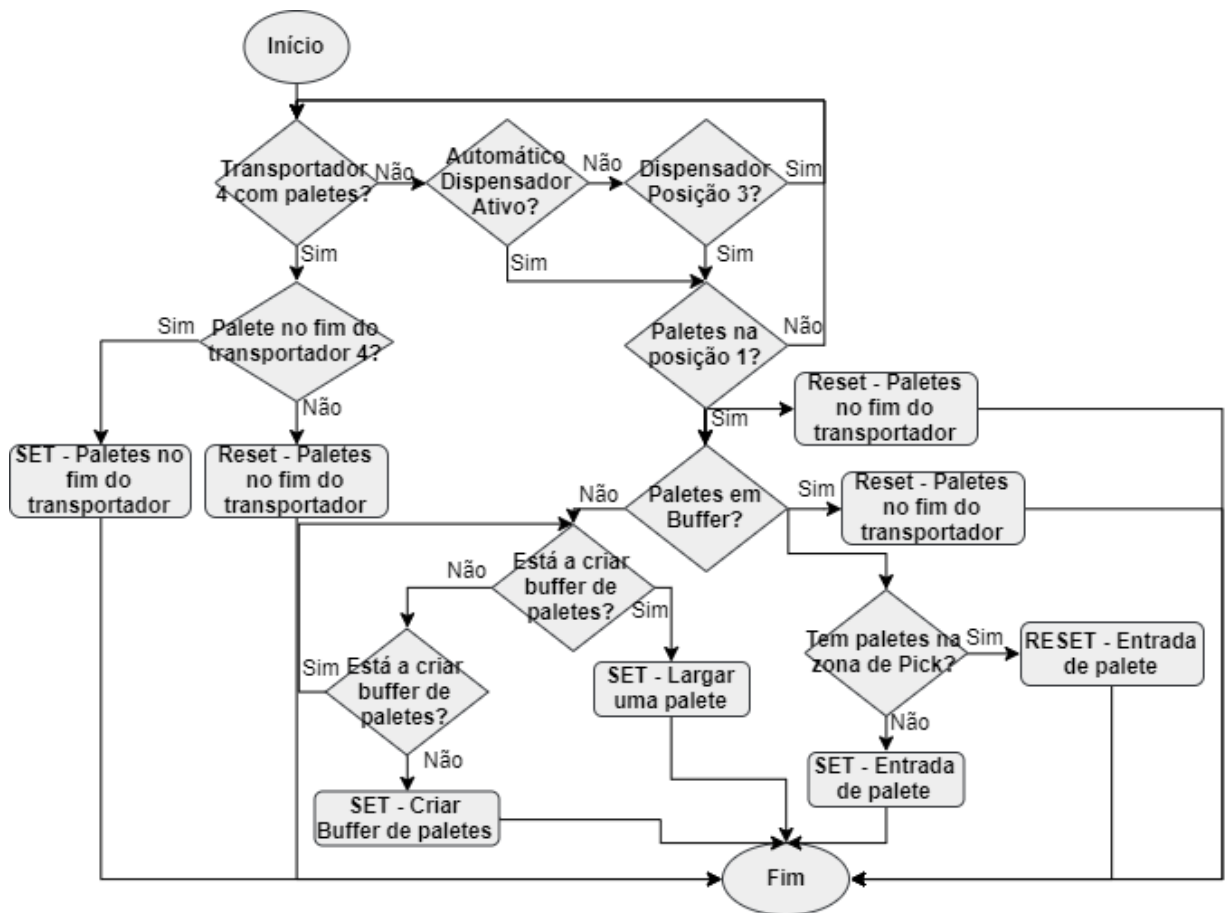


Figura H.11: Fluxograma que define os estados do dispensador.

H.12 Controlo do dispensador

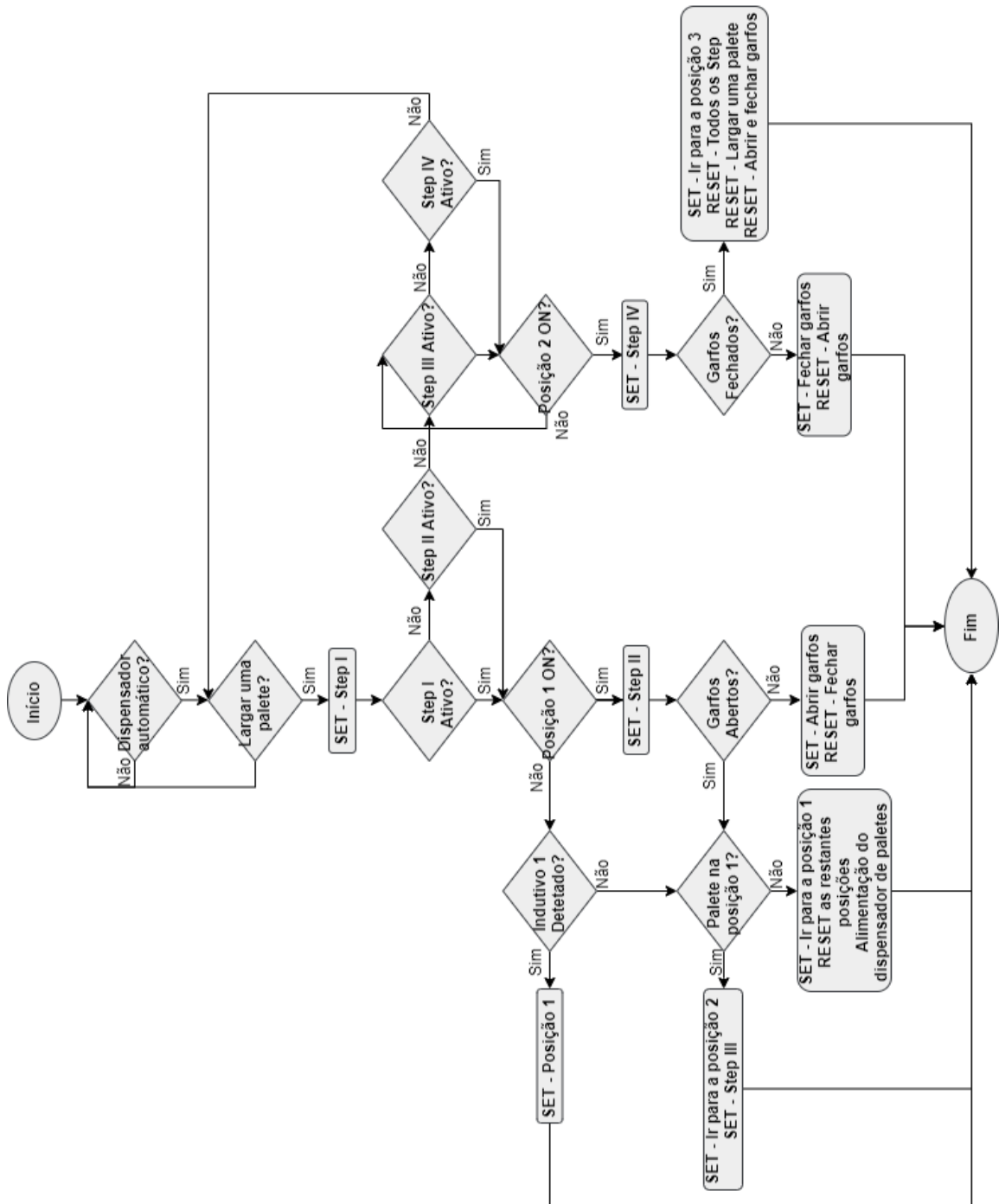


Figura H.12: Fluxograma geral do controlo do dispensador.

Anexo I

Fluxogramas do controlo dos produtos

I.1 Controlo dos produtos

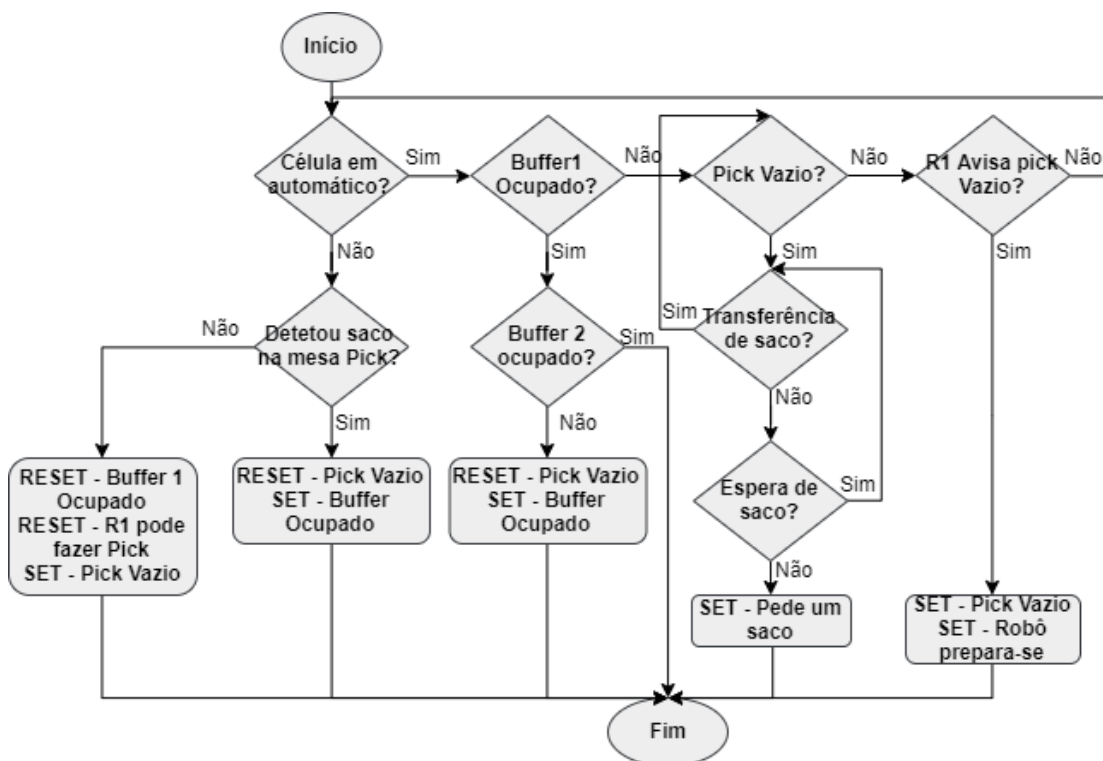


Figura I.1: Fluxograma da programação dos produtos 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10

I.2 Controlo do produto 4

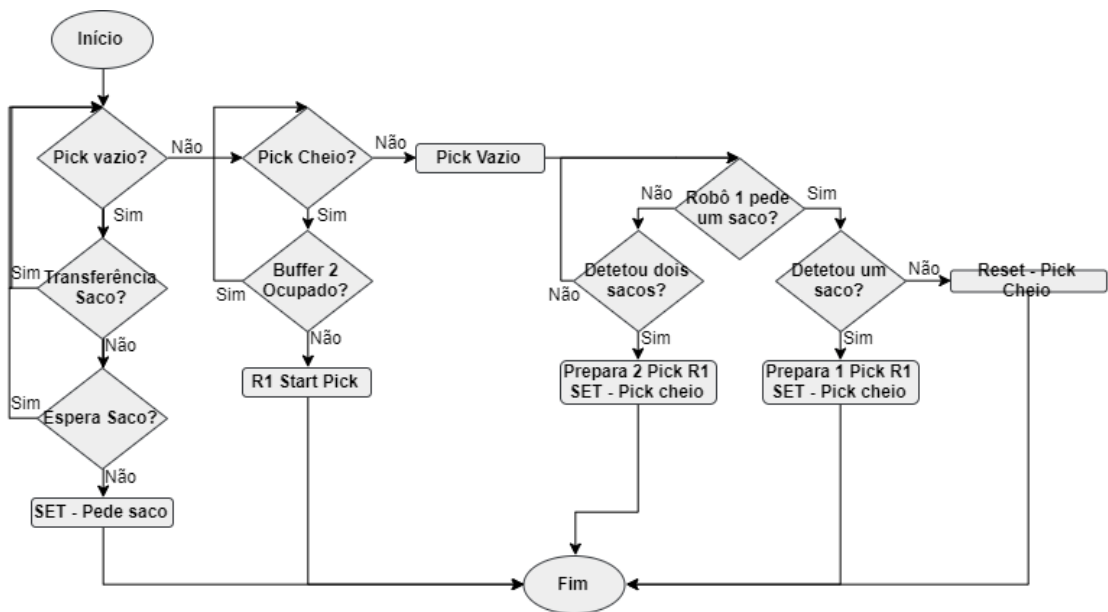


Figura I.2: Fluxograma do controlo do produto 4.

I.3 Controlo dos produtos gerais

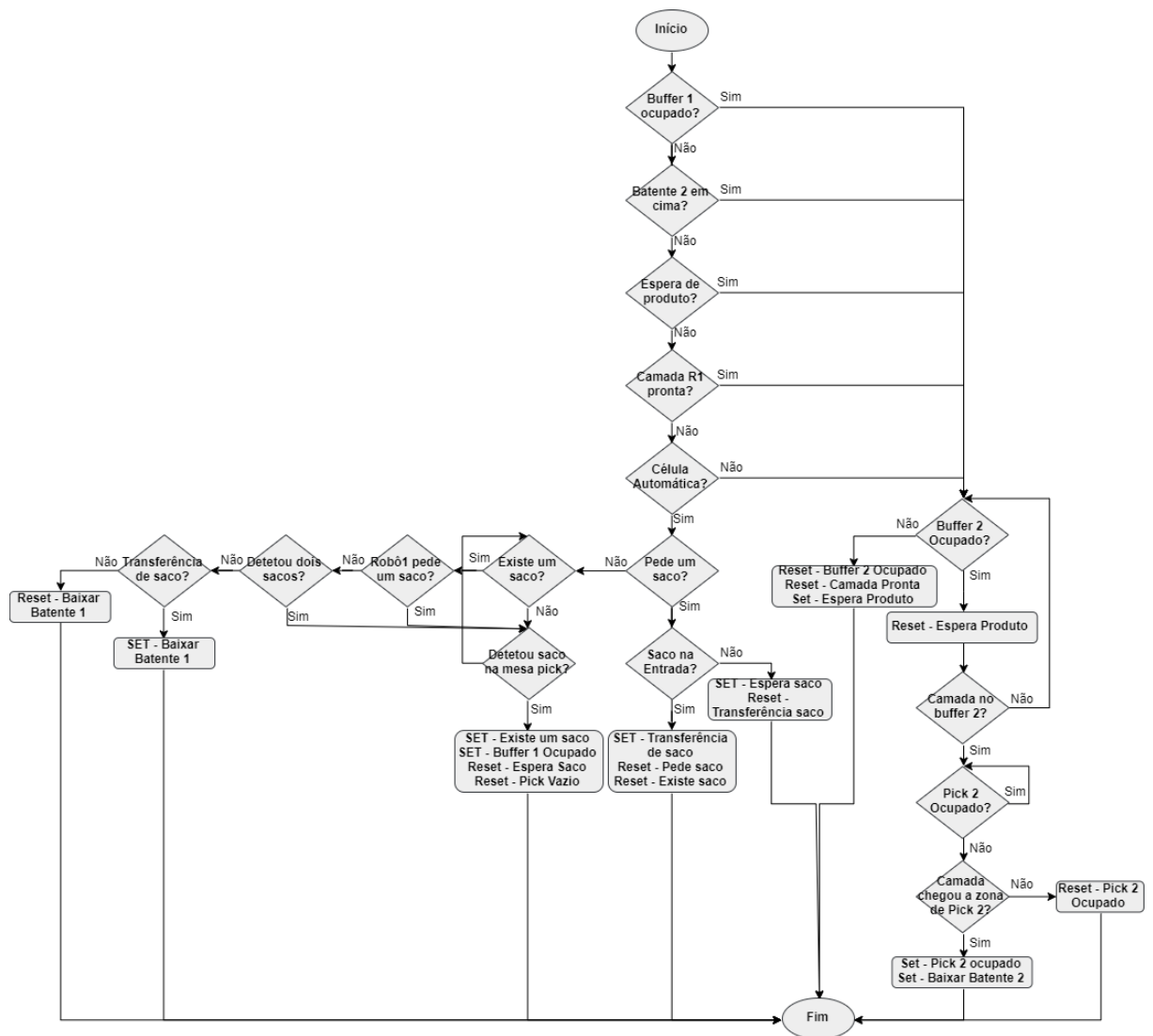


Figura I.3: Fluxograma com as condições para o controlo dos batentes e variáveis de estado.

