



Desenvolvimento de aplicação para a extração e melhoria de processo produtivo de pinças Kocher

PEDRO HENRIQUE LOPES MIGUEL

setembro de 2018

Desenvolvimento de aplicação para a extração e melhoria de processo produtivo de pinças Kocher

Pedro Henrique Lopes Miguel



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

2018

Este relatório satisfaz, parcialmente, os requisitos que constam da Ficha de Unidade Curricular de Tese/Dissertação, do 2º ano, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Pedro Henrique Lopes Miguel, N° 1130627, 1130627@isep.ipp.pt

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

Empresa: RobotSol

Supervisão: Ricardo Guedes Pimenta, ricardo.pimenta@robotsol.com



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

29 de Julho de 2018

Agradecimentos

Inicialmente gostaria de agradecer aos meus orientadores durante esta dissertação, Eng.º Manuel Silva e Eng.º Ricardo Pimenta pelo apoio, orientação e transmissão de conhecimento e que foram essenciais no decorrer deste projeto.

Também, em especial, agradeço aos meus três colegas que realizaram as suas dissertações na mesma situação, na empresa RobotSol, Filipe Ferreira, Ricardo Martins e José Nunes. Em conjunto existiu um espírito de entreaajuda que permitiu o progresso no projeto e dissertação.

De seguida os meus agradecimentos à empresa RobotSol e a toda a sua equipa, pois sem a sua disponibilidade para a realização deste projeto nada disto seria possível. Principalmente aos encarregados do departamento mecânico e departamento elétrico responsáveis pelo desenvolvimento do projeto.

Por fim uma palavra de agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam durante o trajeto escolar, ao longo destes cinco anos de curso. Principalmente aos familiares e aos amigos, pelos incentivos que permitiram que não fizesse este percurso sozinho.

Resumo

Com a necessidade do aumento de produção, flexibilidade e redução de custos por parte das empresas é necessário recorrer à automatização dos processos. Neste sentido foi proposto o desenvolvimento de uma célula de fabrico para extração e produção de acessórios medicinais de plástico. Neste sistema era também pretendido a utilização de uma interface com o utilizador.

Neste seguimento este trabalho foca-se no desenvolvimento da implementação, através de um manipulador industrial de seis eixos, da extração de peças produzidas por uma máquina de injeção de plástico. Este robô tem também como função a sua colocação numa estrutura onde estas serão depois montadas. Foi também desenvolvida uma interface para a interação entre o utilizador e o sistema.

Para isto foi necessário realizar um estudo teórico sobre os manipuladores industriais, células de fabrico automatizadas e sistemas de injeção de plásticos com a utilização de manipuladores industriais. De seguida procedeu-se à implementação do sistema e foram efetuados os testes necessários para a validação das operações de extração e colocação. Os resultados obtidos foram satisfatórios, de acordo com o esperado.

Ao realizar este projeto foram adquiridos conhecimentos de programação de manipuladores industriais assim como a sua implementação com máquinas de injeção de plástico e de desenvolvimento de interfaces para célula de fabrico.

Palavras-Chave: Automação, Manipulador Industrial, Máquina de Injeção de Plásticos, Extração, Interface, Célula de Fabrico Automatizadas.

Abstract

With the need to increase production, flexibility and cost reduction by companies, it is necessary to resort to the automation of processes. In this sense, it was proposed the development of a manufacturing cell for extraction and production of medical plastic accessories. In this system it was also intended to apply a user interface.

Therefore, this work focuses on the development of an application, through an industrial six axes manipulator, of the extraction of parts produced by a plastic injection machine. This robot also has as its function the placement in an assembly structure. An interface has also been developed for the interaction between the user and the system.

Consequently, a theoretical study was needed on industrial manipulators, automated manufacturing cells and plastic injection systems with the use of industrial manipulators. Afterwards, the system was implemented and it was performed the necessary tests to validate the extraction and placement operations. The obtained results were satisfactory, as expected.

In the course of this project were acquired programming skills from industrial manipulators. As well as their implementation with plastic injection machines and the development of interfaces for manufacturing cells.

Keywords: Automation, Industrial Manipulator, Injection Moulding Machine, Extraction, Interface, Automated Manufacturing Cell.

Summary

Agradecimentos	v
Summary	i
List of Figures	v
List of Tables	ix
Glossário	xi
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Calendarização	2
1.4 Organização da Dissertação	4
2 Robótica Industrial	5
2.1 Desenvolvimento Histórico	5
2.2 Anatomia de um Robô Industrial	8
2.2.1 Estrutura Mecânica	9
2.2.2 Sensores	10
2.2.3 Atuadores Finais	11
2.2.4 Controlador e Consola de Programação	12
2.3 Classificação de um Robô	13
2.3.1 Configurações e Volume de Trabalho	13
2.3.2 Acionamentos dos Robôs Industriais	16
2.3.3 Controlo de Movimento	18
2.4 Terminologia na Robótica	19
2.4.1 Capacidade de Carga	19
2.4.2 Precisão	19
2.4.3 Repetibilidade	19

2.4.4	Resolução	19
2.4.5	Velocidade de Operação	19
2.5	Cinemática	20
2.5.1	Cinemática Direta	20
2.5.2	Cinemática Inversa	20
2.5.3	Singularidades	21
2.6	Programação	21
2.6.1	Programação <i>Online</i>	21
2.6.2	Programação <i>Offline</i>	22
2.7	Mercado da Robótica Industrial	22
3	Aplicações Industriais e Células de Fabrico	25
3.1	Aplicações Industriais de Robôs	25
3.1.1	Soldadura	26
3.1.2	Pintura	27
3.1.3	Montagem	28
3.1.4	Maquinação	29
3.2	Controladores Lógicos Programáveis	30
3.2.1	Definição	30
3.2.2	Métodos de Programação	32
3.2.3	<i>Human Machine Interface</i> - HMI	34
3.3	Células de Fabrico Automatizadas	35
3.3.1	Comunicações Industriais	37
3.3.1.1	Ethernet/IP	37
3.3.1.2	EtherCAT	37
3.3.1.3	<i>Controller Area Network</i> - CAN	38
3.3.2	Segurança	38
4	Aplicações de <i>Pick and Place</i>	41
4.1	Carga/Descarga de Máquinas	41
4.1.1	Máquinas de Injeção de Plástico	42
4.1.2	Manipuladores Industriais na Carga/Descarga de Máquinas	43
4.1.3	Atuadores Finais na Carga/Descarga de Máquinas	46
4.1.4	Software para Aplicações de Carga/Descarga de Máquinas	48
4.2	Paletização	50
4.3	Caso de Estudo 1 - Carga e Descarga de uma Máquina de Moldagem por Injeção	50
4.4	Caso de Estudo 2 - Produção de Colheres de Plástico	53
4.5	Caso de Estudo 3 - Paletização de Sacos de Feijões	54
4.6	Caso de Estudo 4 - Paletização de Açúcar	55
5	Arquitetura do Sistema	59

5.1	Descrição do Problema	59
5.2	O Produto	61
5.3	Diagrama do Sistema	62
5.4	Constituição do Sistema	64
5.4.1	Robô FANUC M20iA/20M e Atuador Final	65
5.4.2	FANUC Roboshot s2000i-150b	70
5.4.3	Estrutura de Montagem	70
5.4.4	PLC OMRON NX1P2	72
5.4.5	Consola HMI OMRON 10	72
5.4.6	Sistema de Segurança	73
5.4.7	EUROMAP 67	74
5.5	Funcionamento da Célula	76
6	Implementação do Sistema Robotizado	79
6.1	Validação do Sistema	79
6.2	Programação <i>Offline</i>	81
6.3	Instalação do Sistema	87
6.3.1	Primeira Fase - Pré Cliente	87
6.3.2	Segunda Fase - Cliente	89
6.4	Algoritmo	91
6.5	Interface com o Sistema	100
7	Testes e Resultados	109
7.1	Validação de Componentes e Comunicação	109
7.2	Testes de Tempo de Ciclo	111
7.2.1	Tempo Simulação	112
7.2.2	Tempo Real Sistema	114
7.2.3	Comparação de Tempos de Ciclo	115
7.3	Aplicação do Manipulador Industrial	116
7.3.1	Extração das Peças	116
7.3.2	Colocação das Peças	118
8	Conclusão	121
8.1	Futuras Melhorias	122
	Referências Documentais	125
A	Variáveis do sistema	131
B	Fluxogramas	137
C	Alarmes	143

List of Figures

1.1	Calendarização.	3
2.1	<i>Leonardo's Mechanical Knight</i>	6
2.2	O primeiro robô industrial	7
2.3	UR10 Universal Robots	8
2.4	Tipos de juntas.	9
2.5	Eixos <i>yaw-pitch-roll</i>	10
2.6	Esquerda: Garra mecânica <i>Schunk EPG</i> paralela de dois dedos. Di- reita: Garra <i>Schunk MPZ</i> de 3 dedos	12
2.7	Ferramenta rotativa de furação	12
2.8	Controlador KUKA e <i>Teach Pendant</i>	13
2.9	Configurações robóticas.	14
2.10	Robô de estrutura paralela - Volume de trabalho.	16
2.11	Tipos de atuação nos robôs industriais.	17
2.12	Precisão <i>vs</i> repetibilidade	20
2.13	Marcas e modelos de manipuladores industriais.	23
3.1	Robôs de soldadura.	26
3.2	Pintura através de robôs.	28
3.3	Parâmetros a ter em conta para a seleção do tipo de sistema de mon- tagem.	29
3.4	Evolução dos PLC	31
3.5	Arquitetura de um controlador lógico programável.	32
3.6	SFC vs <i>Ladder</i>	33
3.7	Célula flexível de fabrico.	36
4.1	FANUC <i>s50iA</i>	42
4.2	Septo -Multi Inject	44
4.3	TecnoMatic - SideFast CNC	44
4.4	FANUC -M-20 <i>iA/20T</i>	45

4.5	Garra mecânica utilizada no carregamento de uma máquina de poli- mento	47
4.6	Garra de sucção. Série CVG - COVAL	48
4.7	<i>Teach Pendant</i> com a interface do programa RobotWare Plastics . . .	49
4.8	Interface da extensão de <i>software</i> HandlingPRO - ROBOGUIDE FA- NUC	49
4.9	KUKA - KR QUANTEC PA	51
4.10	Atuador final - carga e descarga de uma máquina	52
4.11	Célula de fabrico da Krumpholz	52
4.12	Atuador final - descarga de colheres de plástico	53
4.13	Paletização de sacos de feijões	55
4.14	Sistema de paletização de pacotes de açúcar	56
5.1	Diagrama Homem - Máquina do processo anterior.	60
5.2	Exemplo de pinças Kocher.	62
5.3	Pinças Kocher produzidas pelo sistema.	62
5.4	Diagrama de blocos da primeira fase do sistema.	63
5.5	Arquitetura geral de comunicações do sistema.	64
5.6	Robô FANUC M20iA/20M com o atuador final e volume de trabalho. . .	65
5.7	Momento de inércia FANUC M20iA VS FANUC M20iA/20M.	66
5.8	Disposição do quadro elétrico e do controlador do robô de extração. .	67
5.9	Atuador final - robô de extração.	68
5.10	Eletroválvulas - Atuador Final	69
5.11	Estrutura de montagem e base.	71
5.12	Consola HMI e botões do sistema.	73
5.13	Segurança e portas da célula.	74
6.1	Simulação da célula - Visual Components.	80
6.2	Possível problema de dimensão do atuador final.	81
6.3	<i>Layout</i> final da célula.	82
6.4	Simulação da célula com volume de trabalho do manipulador - Visual Components.	82
6.5	Configuração de IP e de variáveis do sistema.	83
6.6	<i>Uframes</i> das bases na simulação.	84
6.7	Posição de referência.	85
6.8	Sinais para a atuação do atuador final.	88
6.9	Valores obtidos na configuração da carga do manipulador industrial. .	89
6.10	Visualização da ponteira no atuador final e os valores obtidos para a configuração da ferramenta.	90
6.11	Espaços de trabalho criados para o manipulador que coloca as peças na base.	91
6.12	Fluxograma - Início <i>main</i>	92

6.13 Fluxograma - Produção modelo 13 cm primeira parte.	93
6.14 Fluxograma - Produção modelo 13 cm segunda parte.	94
6.15 Fluxograma - Produção modelo 19 cm primeira parte.	95
6.16 Fluxograma - Produção modelo 19 cm segunda parte.	96
6.17 Fluxograma - Fim da rotina principal.	97
6.18 Fluxograma - Lógica programa de fundo.	98
6.19 Fluxograma - Ciclo de extração e colocação.	99
6.20 Interface - Ecrã <i>HOME</i>	100
6.21 Interface - Ecrã <i>RECEITAS</i>	102
6.22 Interface - Ecrã receita selecionada.	102
6.23 Interface - Ecrã estado do sistema.	103
6.24 Interface - Ecrã zona 1 do sistema.	104
6.25 Interface - Ecrã zona da estrutura de montagem.	105
6.26 Interface - Ecrã estado da segurança do sistema.	106
6.27 Interface - Tabela de alarmes do sistema.	106
6.28 Interface - Ecrã de gestão de utilizadores.	107
7.1 Teste de comunicação com PLC e robôs.	110
7.2 Interface - Modo manual estrutura de montagem.	111
7.3 Tempo de ciclo do manipulador na simulação.	113
7.4 Movimento do manipulador na simulação.	113
7.5 Diagrama de tempo de tarefas do manipulador.	115
7.6 Comparação entre tempos de ciclo.	116
B.1 Fluxograma - rotina de <i>Home</i>	137
B.2 Fluxograma - condições de entrada e saída da máquina.	138
B.3 Fluxograma - ordens de avanço e recuo dos extratores.	139
B.4 Fluxograma - ordens de avanço e recuo das garras de das peças macho.	140
B.5 Fluxograma - ordens de rotação das garras de das peças macho.	141
B.6 Fluxograma - ordens de abertura e fecho das garras.	142

List of Tables

2.1	Configurações, respetivos volumes de trabalho e classificações - robôs de estrutura série	15
5.1	Amplitude de movimento e velocidades das juntas.	66
5.2	Especificações FANUC M20iA/20M.	66
5.3	Especificações do robô FANUC M2iA-3SL	71
5.4	Sinais EUROMAP 67 da máquina de injeção para o robô.	75
5.5	Sinais EUROMAP 67 do robô para a máquina de injeção.	76
7.1	Resultados de extração pelo manipulador.	117
7.2	Resultados de falhas de extração pelo manipulador.	117
7.3	Resultados da extração de peças totais pelo manipulador.	118
7.4	Resultados de colocação pelo manipulador.	118
7.5	Resultados de falhas de colocação pelo manipulador.	118
7.6	Resultados da colocação de peças totais pelo manipulador.	119
A.1	Sinais de entrada do sistema no manipulador FANUC	131
A.2	Sinais de saída do sistema no manipulador FANUC	132
A.3	Registos do sistema no manipulador FANUC	132
A.4	Registos de posição do sistema no manipulador FANUC	133
A.5	Sinais de entrada no manipulador FANUC	134
A.6	Sinais de saída no manipulador FANUC	135
A.7	Sinais de saída no manipulador FANUC - Continuação	136
C.1	Lista de alarmes do sistema.	144

Glossário

Abreviatura	Descrição
ABB	Asea Brown Boveri
AGV	<i>Automated Guided Vehicle</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CIP	<i>Common Industrial Protocol</i>
CNC	Controlo Numérico Computorizado
CP	<i>Continuous Path</i>
E/S	Entradas e Saídas
FANUC	Fuji Automatic NUmerical Control
FMC	<i>Flexible Manufacturing Cell</i>
FMS	<i>Flexible Manufacturing Systems</i>
GRAFCET	<i>Graphe Fonctionnel de Commande, Étapes Transition</i>
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
IA	Inteligência Artificial
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
KUKA	Keller Und Knappich Augsburg
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
MODICON	MODular DIGital CONTroller
NC	<i>Numerical Control</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PTP	<i>Point To Point</i>
SCARA	<i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i>
SCF	<i>Sequential Function Chart</i>
ST	<i>Structured Text</i>
TCP	<i>Tool Center Point</i>

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo é realizada uma introdução à dissertação. É iniciado por uma contextualização do problema. De seguida são abordados os objetivos e motivações que levaram à realização deste projeto. Por fim é apresentada uma calendarização do projeto assim como um resumo de todos os capítulos constituintes.

1.1 Contextualização

Com a evolução da tecnologia, as empresas para sobreviverem no mercado precisam de se adaptar à evolução. São exigidos aspetos de melhoria de produção, aumento da qualidade, redução dos prazos de entrega dos produtos, diminuição dos custos de produção, entre outros.

Neste sentido, surge a necessidade de automatizar os processos de fabrico. A automação é definida como o uso da tecnologia para a otimização e realização de processos antes realizados por seres humanos. Estas operações são previamente programadas e utilizam informação do sistema para as suas decisões. Através do surgimento de componentes como manipuladores industriais, controladores lógicos programáveis e máquinas de controlo numérico computadorizado, foi possível o desenvolvimento e evolução de sistemas automatizados. Estes sistemas permitem a melhoria dos aspetos acima referidos. Alguns sistemas automatizados também fornecem flexibilidade de produção às empresas. Esta flexibilidade permite a produção de diferentes produtos utilizando o mesmo sistema de fabrico.

Na indústria é comum a utilização de manipuladores industriais e controladores lógicos programáveis no desenvolvimento de células flexíveis de fabrico.

1.2 Objetivos

A necessidade da criação de um sistema de produção flexível que origina uma melhoria da produção, aumento da eficiência do processo e a redução do tempo de ciclo foram as motivações para o desenvolvimento deste projeto. De forma a atingir os aspetos referidos foram definidos os seguintes objetivos para o projeto:

- validação do *layout* e componentes do sistema de fabrico;
- desenvolvimento do algoritmo de um robô industrial para a extração de peças de uma máquina de injeção de plástico;
- desenvolvimento do algoritmo de um robô industrial para a colocação de peças em bases de montagem;
- aplicação do protocolo de comunicação entre o manipulador e a máquina de injeção;
- configuração da comunicação do robô de extração com um controlador lógico programável e com um robô paralelo;
- desenvolvimento de um algoritmo flexível para outros possíveis produtos;
- desenvolvimento de uma interface Homem-Máquina que realiza partilha de dados e controlo de produção;
- implementação da célula e testes aos algoritmos desenvolvidos;
- validação do sistema em funcionamento automático.

1.3 Calendarização

Nesta secção é apresentada na Figura 1.1 a calendarização dos projetos. Aqui é possível verificar as semanas em que certas tarefas foram realizadas. Está dividido em duas partes, uma referente à implementação prática representada pela cor verde e a segunda relativa à escrita da dissertação representada pelas cores amarela para o nome e azul para as datas.

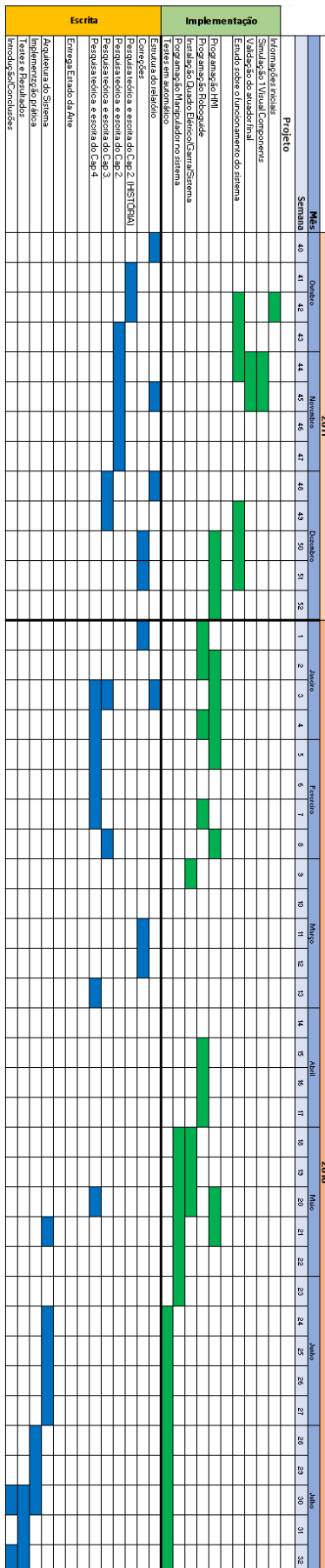


Figura 1.1: Calendarização do trabalho realizado.

1.4 Organização da Dissertação

Nesta secção é elaborado um resumo de todos os capítulos presentes nesta dissertação. A dissertação é composta por um total de oito capítulos, do qual o primeiro apresenta uma introdução à dissertação e os Capítulos 2, 3 e 4 constituem o estado da arte do relatório. De seguida, os Capítulos 5, 6 e 7 abordam a implementação prática e os seus resultados. Por fim, no Capítulo 8 são apresentadas as conclusões à dissertação e possíveis melhorias.

No Capítulo 1 é realizada uma introdução ao sistema, no qual o problema é contextualizado e são apresentados os seus objetivos. Neste capítulo é também apresentada uma calendarização da dissertação.

De seguida, no Capítulo 2 é abordada a história e evolução dos manipuladores industriais assim como é realizado um estudo teórico sobre alguns conceitos da robótica industrial.

No Capítulo 3 são apresentadas algumas aplicações realizadas por manipuladores industriais. Também são abordados os conceitos de sistemas automatizados e alguns componentes que os constituem, como por exemplo, os controladores lógicos programáveis. Por fim são estudadas medidas de segurança aplicadas nestas células.

De forma a finalizar o estado da arte, no Capítulo 4 é realizado um estudo teórico sobre as aplicações *pick and place*. São também apresentados quatro casos de estudo de aplicações de robótica industrial nas operações de carga e descarga de uma máquina e paletização.

Relativamente à parte prática da dissertação, inicialmente no Capítulo 5 é abordada a arquitetura do sistema. É efetuada uma descrição do problema e do produto a fabricar na célula de fabrico. De seguida é efetuado e explicado o diagrama do sistema. Por fim são abordados os constituintes do sistema e são explicados os modos de funcionamento da célula.

Depois, no Capítulo 6 é descrito o procedimento efetuado na implementação prática do sistema. Aqui são abordados tópicos como a validação da disposição dos elementos na célula, a configuração do robô, o algoritmo e interface desenvolvidos.

De seguida, no Capítulo 7, são explicados os testes realizados assim como os resultados obtidos. Neste capítulo são abordados os resultados e o seu significado.

Por fim, no Capítulo 8 são apresentadas as conclusões da dissertação. Aqui são também referidas possíveis melhorias a efetuar relativamente a este projeto.

Capítulo 2

Robótica Industrial

*"... you just can't differentiate between a robot
and the very best of humans."*

Isaac Asimov, I, Robot

A indústria é uma das razões principais do desenvolvimento da robótica e é a maior área comercial na robótica. As grandes empresas de robótica comercializam vários modelos para a indústria e com o avançar do tempo a dependência por robôs nas fábricas irá aumentar.

Neste capítulo, inicialmente, é abordado um desenvolvimento histórico da robótica. De seguida, é realizado um estudo à estrutura básica de um robô industrial, detalhando diversos constituintes da sua arquitetura. São também abordadas diversas classificações que um robô pode ter e explicadas terminologias presentes na área da robótica. Na Secção 2.5 é abordado de forma breve o conceito de cinemática. De seguida é realizado um estudo do mercado da robótica industrial e por fim os modos de programação dos manipuladores industriais.

2.1 Desenvolvimento Histórico

O termo robô teve a sua primeira aparição no mundo do teatro, através do dramaturgo checo Karel Capek em 1922 na sua peça Rossum's Universal Robots [1]. Apesar da terminologia ter surgido nos inícios do século XX, a necessidade de automatizar operações remonta para algum tempo atrás. A clepsidra ou relógio de água, foi dos primeiros artefactos mecânicos a ser automatizado pelos Babilónios em 1400 AC [2].

Leonardo da Vinci foi um dos intervenientes no desenvolvimento de conceitos na robótica. O Codex Atlanticus, um conjunto de documentos de Leonardo da Vinci, demonstra ideias tecnológicas inovadoras na área da automação. Um projeto de da Vinci menos conhecido é o Leonardo's Mechanical Knight, representado na Figura 2.1. Uma espécie de robô humanoide, que possuía dois sistemas mecânicos independentes, três graus de liberdade para as pernas, tornozelos, joelhos e anca e quatro graus de liberdade para pulsos, braços, mãos, cotovelos e ombros [3]. Pensa-se que a fonte de energia, que possibilitava o movimento do cavaleiro seria gerada através de água presente numa zona adjacente ao robô [4].



Figura 2.1: *Leonardo's Mechanical Knight* [5]

A área onde é abordado o estudo de robôs, é denominada robótica. O homem que introduziu esta terminologia pela primeira vez, foi o escritor de ficção científica e bioquímico Isaac Asimov, que no seu livro *Runaround*, em 1942, introduziu as três leis fundamentais da robótica [2]:

1. “Um robô não pode fazer mal a um ser humano e nem, por inação, permitir que algo de mal lhe aconteça”;
2. “Um robô deve obedecer às ordens dos seres humanos, exceto quando estas contrariem a primeira lei”;
3. “Um robô deve proteger a sua integridade física, desde que com isto não contrarie as duas primeiras leis”.

Uma lei zero foi introduzida mais tarde: “um robô não pode fazer mal à humanidade e nem, por inação, permitir que ela sofra algum mal”.

Através das evoluções tecnológicas em áreas como a mecânica e eletrônica, na segunda metade do século XX, foram construídos os primeiros robôs, assim como o início dos estudos na área de inteligência artificial (IA).

Nos anos cinquenta do século passado, o americano George C. Devol desenvolveu um manipulador, que tinha como objetivo a manuseamento de peças. Também nesta época, em 1954, um britânico chamado Cyril W. Kenward concebeu e em 1957 patenteou um manipulador que se movia em três eixos (X , Y , Z) [6]. O primeiro robô industrial, denominado Unimate, observado na Figura 2.2, foi introduzido por Devol e Joseph F. Engelberger, através da empresa Unimation, Inc.



Figura 2.2: O primeiro robô industrial [2]

Nos anos sessenta, com a influência das máquinas de controlo numérico (*Numerical Control* (NC)) e das garras que manuseavam remotamente materiais radioativos, surgiram novas tecnologias para os braços robóticos [2]. Em 1971, foi concebido o braço de Stanford com atuação elétrica, pela Universidade de Stanford. A evolução de circuitos integrados, da diminuição do tamanho dos componentes e do desenvolvimento dos sistemas digitais, permitiu a criação de robôs programáveis e controlados por computador nos anos setenta. Esta criação foi deveras importante em indústrias como a química, metalúrgica e alimentar. Como exemplo, a ASEA, agora Asea Brown Boveri (ABB), em 1973 introduziu o primeiro robô industrial elétrico controlado por um microcomputador. Já o primeiro braço robótico para montagem com complacência seletiva (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) foi criado por Hiroshi Makino, na Universidade de Yamanashi em 1978 [2].

Uma nova definição de robótica surgiu nos anos oitenta. Esta definição define a robótica como a ciência que realiza a ligação inteligente entre ação e percepção [2]. Baseando-se nesta definição, começaram-se a desenvolver robôs que se movimen-

tam, isto é, robôs com pernas, rodas. Além destes robôs, foram criados também veículos autônomos (*Automated Guided Vehicle (AGV)*). Com estas espécies de robôs e veículos deu-se o início do estudo da aprendizagem e reconhecimento de erros. Os AGV tornaram-se uma parte importante do desenvolvimento do conceito de sistemas flexíveis de fabrico (*Flexible Manufacturing Systems (FMS)*). Nesta época, devido ao crescimento da indústria automóvel, a indústria da robótica também evoluiu.

No fim dos anos noventa e início do segundo milênio, empresas como a Honda e a Sony, criaram robôs humanoides, isto é, robôs que se assemelham ao à estrutura física do ser humano. O robô lançado pela Honda possuía a capacidade de visão, tato, voz e locomoção. Atualmente, com o desenvolvimento das diversas áreas ligadas à robótica, observa-se uma evolução da tecnologia dos braços robóticos. Um dos problemas dos manipuladores industriais, era a sua falta de interação com o ser humano, devido às suas características robustas colocarem em perigo a segurança do Homem. Com estes avanços, desenvolveram-se os robôs colaborativos (Figura 2.3). Estes robôs colaborativos, através de sensores e medidas de segurança adequadas, permitem ser operados perto de um ser humano e sem a necessidade de vedações de segurança. Esta foi uma das grandes evoluções recentes da robótica, pois permitiu introduzir os robôs nas áreas em que é necessário a presença de seres humanos durante o processo.

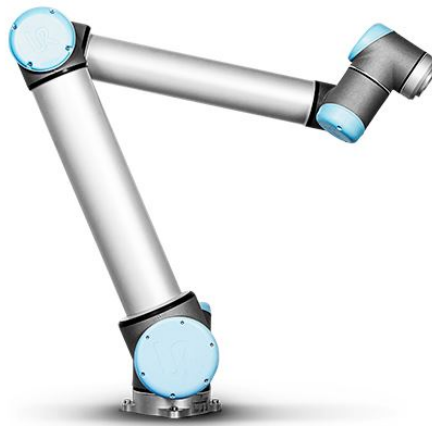


Figura 2.3: UR10 Universal Robots [7]

2.2 Anatomia de um Robô Industrial

Um robô industrial possui um sistema constituído pela integração da sua estrutura mecânica, no caso de braços robóticos, o seu braço mecânico com o sistema

de sensores, de interface com o utilizador, ferramenta e computação.

2.2.1 Estrutura Mecânica

A estrutura mecânica de um manipulador é normalmente constituída por uma base, elos, juntas e punho. A base serve de suporte para o braço mecânico. Consoante as finalidades das suas aplicações, pode ser adicionado um pedestal à base de forma a colocar o robô à altura adequada para efetuar o processo.

As estruturas rígidas que se encontram presentes nos braços mecânicos são denominadas de elos. Um elo é uma parte da estrutura do robô que pode ter movimento em relação aos outros existentes. No caso de haver duas estruturas físicas conectadas entre si, mas se não existir movimento relativo entre elas, pode ser considerado como somente um elo [8].

Os elos estão interligados através das juntas, que permitem a movimentação dos elos. Esta movimentação pode assumir vários tipos, consoante a classificação da junta. Normalmente, as juntas com um movimento de translação são prismáticas (a) e ortogonais (b), com movimento rotacional tem-se as rotacionais (c), de torção (d) e revolventes (e), e também podem existir juntas esféricas (f) e juntas cilíndricas [2, 6, 8, 9], como se pode verificar na Figura 2.4.

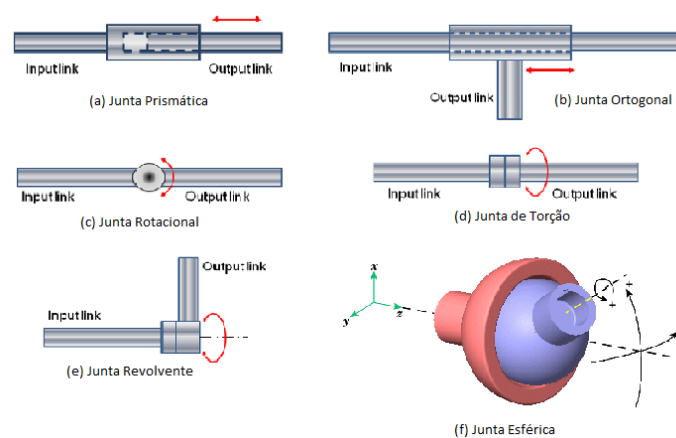


Figura 2.4: Tipos de juntas.[10, 11]

As juntas prismáticas efetuam um movimento de translação entre dois elos em paralelo. No entanto, nas juntas ortogonais, apesar de possuírem o mesmo tipo de movimento, os elos encontram-se perpendicularmente um do outro durante a deslocação.

As juntas rotacionais efetuam um movimento rotacional, com o eixo de rotação perpendicular aos eixos dos elos de entrada e de saída. Se o eixo de rotação

for paralelo aos eixos dos elos, já é denominada junta de torção. Contudo, nas juntas revolventes o eixo do elo de entrada é paralelo ao eixo de rotação da junta, já o eixo do elo de saída é perpendicular ao eixo de rotação da junta.

As juntas esféricas são constituídas por duas superfícies esféricas congruentes, isto é, coincidentes em todos os pontos quando conectadas. Através do centro da esfera é possível executar uma rotação em qualquer direção. Este tipo de juntas possui três graus de liberdade, isto é, o número total de deslocações independentes que um dispositivo pode fazer. Outra junta existente é a junta cilíndrica, que consiste no contacto entre dois cilindros congruentes. Um encontra-se dentro do outro, permitindo ao cilindro interior realizar o movimento de torção e também o movimento prismático, independentes um do outro [2].

A ligação entre o fim do manipulador industrial com o atuador final é denominada por punho. A sua função é orientar a ferramenta de forma a possibilitar a execução da sua função. A configuração mais utilizada do punho na robótica, por razões de simplicidade, é o punho esférico ou *roll-pitch-roll* (Z - Y - Z), que apesar de ser simples apresenta algumas configurações singulares. Outra configuração possível é *pitch-yaw-roll* (Y - X - Z). Estes três eixos encontram-se representados na Figura 2.5. O *yaw* e o *pitch* são duas juntas rotacionais em torno do eixo dos xx e dos yy , respetivamente e o *roll* é uma junta de torção que se efetua o movimento em torno do eixo dos zz .

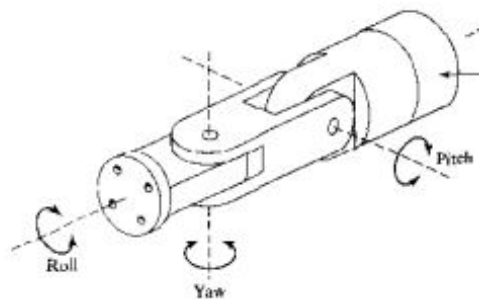


Figura 2.5: Eixos *yaw-pitch-roll* [6].

2.2.2 Sensores

Os sensores são essenciais na implementação de um manipulador industrial. Os sensores recolhem informação do ambiente à sua volta alterando-a para uma grandeza física, com o objetivo de medição ou monitorização. O sinal de entrada pode ser um estado, uma propriedade ou até uma quantidade [12]. Pode-se falar em sensores internos ao robô, que permitem analisar o estado do robô, por exemplo sensores de temperatura. A unidade de controlo recebe informação, enviada pelos

sensores, sobre o estado de juntas e elos [8]. Após a recepção dessa informação, a unidade de controlo realiza o tratamento dos dados recebidos consoante a sua programação.

Também podem existir sensores no exterior do robô. Os sensores que se encontram no exterior do manipulador podem ter como finalidade uma questão de segurança, como por exemplo, alguns sensores têm como função evitar e minimizar os riscos de acidente, pois conseguem detetar colisões. Outra finalidade de sensores na robótica industrial, é a deteção de peças no processo de fabrico. As peças são detetadas pelos sensores, o que faz com que o robô consiga detetar as suas localizações exatas. Por consequência, permite ao robô manusear as peças como for pretendido.

2.2.3 Atuadores Finais

O atuador final de um manipulador industrial interage com os objetos que se pretende trabalhar ou manusear. Este pode ser uma garra/pinça, ou uma ferramenta para executar uma função de soldadura, pintura, entre outras. O atuador final é acoplado à extremidade do punho [13].

As garras são atuadores finais geralmente mais simples. Nesta subsecção irão ser abordadas as garras mecânicas, magnéticas e de sucção, porém existem garras adesivas, de agulhas, por eletroadesão, dedos articulados, insufláveis, com tecnologia de *jamming*, universais, entre outras.

- As garras mecânicas, exemplificadas na Figura 2.6, têm como finalidade o manuseamento de objetos, que é conseguido pelo agarrar da garra ao objeto e segura-lo através da força de atrito ou transportar a peça colocando a garra por baixo desta e aproveitar a força gravítica. Podem ser alimentadas através da energia elétrica, pneumática e hidráulica.
- As garras magnéticas são uma solução para o manuseamento de materiais ferromagnéticos. Não necessitam ser desenhadas para uma peça específica e toleram facilmente diferenças no tamanho das peças. No entanto, com a utilização, podem existir aparas metálicas agarradas à garra. Se na peça existir óleo, reduz a força aplicada pela garra e também pode criar o deslizamento lateral das peças durante o movimento. As garras magnéticas podem ser constituídas por eletroímãs ou ímãs permanentes [13].
- As garras de sucção utilizam o vácuo para agarrar peças. Possuem alta flexibilidade e também um custo reduzido, mas têm limitações e podem deixar marcas em certas superfícies. Por isso, são utilizadas em objetos lisos, planos e limpos, como por exemplo, o vidro.



Figura 2.6: Esquerda: Garra mecânica *Schunk EPG* paralela de dois dedos; Direita: Garra *Schunk MPZ* de 3 dedos [14, 15]

Para ações de soldadura, pintura, rebarbagem e corte são utilizadas ferramentas como atuadores finais. Existem também ferramentas rotativas que permitem a furação e a execução de diferentes operações na peça, como pode ser visto na Figura 2.7. A sua fonte de energia é geralmente ar comprimido.

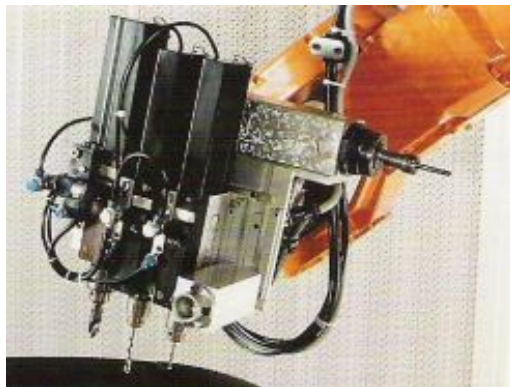


Figura 2.7: Ferramenta rotativa de furação [13]

2.2.4 Controlador e Consola de Programação

O controlador do robô, é normalmente constituído por um microprocessador, que é encarregado de executar as instruções programadas previamente e capaz de controlar a tarefa do robô. Através do controlador é possível alterar sinais (analógicos e digitais) de entradas e saídas (E/S), com o intuito de controlar

dispositivos externos, como atuadores finais sincronizados. O controlador do robô (Figura 2.8) pode comunicar com computadores ou outros controladores e com o acesso às informações transmitidas pelos sensores pode modificar as ações de execução de acordo com a sua programação [1].

A interface visual do robô com o utilizador é realizada através de um aparelho de menor porte designado de *Teach Pendant* (Figura 2.8). Este aparelho possibilita algumas funcionalidades como a programação de robôs com acesso à memorização de posições do robô, a verificação do estado do manipulador e também permite movimentar o robô.



Figura 2.8: Controlador KUKA e *Teach Pendant*[16]

2.3 Classificação de um Robô

Nesta secção são abordados tópicos que permitem classificar um robô. Inicialmente são apresentadas algumas configurações e os seus respetivos volumes de trabalho para os manipuladores de estrutura série. De seguida são estudados os diferentes tipos de atuadores existentes nos manipuladores industriais e os seus diferentes controlos de movimento.

2.3.1 Configurações e Volume de Trabalho

De acordo com a disposição da estrutura do manipulador existem diferentes denominações. Se esta for composta por uma cadeia de elos em série, conectados por juntas, o robô é classificado como robô de estrutura série. Já no robô de

estrutura paralela a estrutura é composta por um conjunto de elos ligados em paralelo, o que leva à origem do seu nome.

Um robô de estrutura série consiste numa sequência de ligações de elos e juntas desde a base ao atuador final. Por norma esta topologia controla o seu atuador final, através de uma ligação de seis juntas. Os três primeiros eixos permitem ao robô colocar o centro do seu punho no espaço, de seguida os três últimos eixos formam o punho que controla a orientação do atuador final do manipulador [2].

Um manipulador de estrutura série pode ter diferentes configurações, que originam diferentes volumes de trabalho. Volume de trabalho é todo o espaço a que o robô consegue aceder, porém nesta definição não são considerados obstáculos da célula de fabrico em que o robô poderá estar inserido. As configurações são definidas pelo tipo de movimento dos eixos das juntas. Dentro da topologia de robôs de estrutura série existe mais do que uma configuração e cada uma corresponde a um volume de trabalho. Algumas delas estão referidas na Tabela 2.1 e na Figura 2.9 [8, 17].

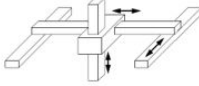

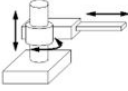





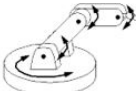

Configuração	Reserentação	Volume de trabalho
Cartesiano		
Cilíndrico		
SCARA		
Esférico		
Articulado		

Figura 2.9: Configurações robóticas.[17, 18]

As letras e símbolos das configurações referem-se aos tipos das primeiras três juntas presentes na estrutura do manipulador. Dividem-se em duas letras, a letra P para juntas prismáticas e lineares e a letra R para juntas rotacionais. Estas duas letras são suficientes para designar e dividir as juntas nesta classificação. Os símbolos são referentes às posições dos eixos entre juntas adjacentes, isto é, se os eixos se encontram paralelos entre duas juntas então entre as letras é

Tabela 2.1: Configurações, respectivos volumes de trabalho e classificações - robôs de estrutura série

Configurações	Volumes de trabalho	Classificação
Cartesiano	$V = L^3$	P†P†P
Cilíndrico	$V = 3\pi L^3$	R P†P
SCARA	$V = 4\pi L^3$	R R P
Esférico	$V = \frac{28}{3}\pi L^3$	R†R⊥P
Articulado	$V = \frac{32}{3}\pi L^3$	R†R⊥R

representado o símbolo (||), sendo o mesmo pensamento e procedimento feito para eixos perpendiculares (⊥) e ortogonais (†).

- A **configuração cartesiana** (P†P†P) é caracterizada pelos três eixos ortogonais. Esta configuração permite criar um largo volume de trabalho, obter uma elevada capacidade de carga e o desempenho em certas características como precisão e velocidade mantém-se constante em todos os pontos do volume de trabalho. É utilizada em tarefas em que é necessário uma capacidade de carga elevada. Este robô ocupa uma área maior por ser geralmente grande.
- A **configuração cilíndrica** (R||P†P) consiste na ligação de um eixo rotacional e dois prismáticos. Isto permite uma velocidade de trabalho elevada [17] e capacidades de carga médias.
- A **configuração SCARA** (R||R||P) é uma configuração muito conhecida. Os dois primeiros eixos são rotacionais, sendo o último linear. É utilizada na montagem de peças ou produtos.
- A **configuração esférica** (R†R⊥P) é utilizada em robôs de dimensões inferiores. Os primeiros eixos possuem movimento rotacional e o terceiro movimento prismático. É designada de esférica pois as coordenadas esféricas (r, ϕ, θ) definem a posição do atuador final em relação à base. Além de que o volume de trabalho é semelhante a uma esfera. Possui um sistema de coordenadas simples, a precisão, repetibilidade e velocidade de trabalho são elevadas [8, 17].
- Por fim a **configuração articulada** (R†R⊥R), ou também conhecida por revoluta e antropomórfica, é muito utilizada na robótica industrial. Os três primeiros eixos são eixos rotacionais. É semelhante ao braço humano, o que leva à designação de configuração antropomórfica. Estes manipuladores têm

facilidade no contorno de obstáculos, ocupam pouco espaço, porém possuem um volume de trabalho elevado. A velocidade de trabalho também é elevada e consegue aceder facilmente aos planos frontais, à retaguarda, superiores e laterais.

Denomina-se uma configuração paralela quando existem dois ou mais elos em paralelo que suportam o atuador final. Possui uma estrutura rígida e um sistema de fixação flexível. É bastante utilizada nas funções de *pick-and-place* e de montagem e a velocidade de trabalho é bastante elevada. Um exemplo de um robô de estrutura paralela, assim como o respetivo volume de trabalho, pode ser visualizado na Figura 2.10.

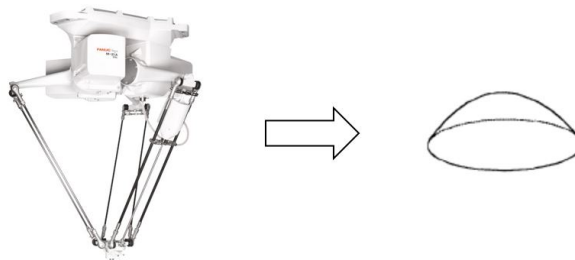


Figura 2.10: FANUC M-2iA/3SL e o volume de trabalho genérico de um robô de estrutura paralela [17, 19].

2.3.2 Acionamentos dos Robôs Industriais

Para o acionamento de qualquer máquina é sempre necessário uma fonte de energia. No caso dos manipuladores industriais existem três métodos de acionamento bastante comuns na indústria: o acionamento elétrico, hidráulico e pneumático.

Os atuadores elétricos podem ser de diferentes tipos: motores de corrente contínua (CC) ou motores passo-a-passo e motores de corrente alternada (CA). Este tipo de atuador tem como vantagens a sua rapidez e precisão, assim como o seu custo ser reduzido, conseguem efetuar movimentos contínuos complexos e suaves, o seu controlo é fácil e não produzem muito ruído. Porém, possuem algumas limitações como o seu baixo binário devido a possuir velocidades elevadas, existem em certas situações problemas com sobreaquecimento e por fim em certos cenários, como cenários inflamáveis é preciso analisar o uso de manipuladores com recurso a este tipo de atuador devido ao fenómeno de arco elétrico [1, 2, 17].

Na indústria outro tipo de atuador bastante utilizado é o atuador hidráulico. Este tipo de atuador tem como base o uso de fluídos, sendo o mais comum na indústria o óleo. Este tipo de acionamento permite uma elevada capacidade de carga, auto-lubrificação e arrefecimento do sistema. Os atuadores hidráulicos são

uma escolha segura em ambientes com atmosferas inflamáveis. Com uma velocidade baixa conseguem efetuar uma operação suave, as velocidades de trabalho são moderadas e possui uma razão de potência-peso elevada. Nestes atuadores as juntas conseguem ser bloqueadas devido à incompressibilidade do óleo. Fugas e problemas de manutenção limitam a aplicação dos atuadores hidráulicos. Este tipo de atuador tem um custo elevado. É necessário existir uma fonte de energia próxima que ocupa espaço e também uma linha de retorno [1, 2, 17].

Por último existem os atuadores pneumáticos, que utilizam gás pressurizado como fonte de energia. Robôs que utilizam este tipo de acionamento são de menor porte e possuem poucos graus de liberdade. Têm relativamente baixo custo e é uma solução que não polui o ambiente. Estes atuadores permitem uma velocidade elevada. O seu uso é comum na indústria e são utilizados para ações de *pick-and-place*. Têm um bom funcionamento no movimento ponto a ponto (*Point to Point* (PTP)) e um controlo fácil. No entanto, o controlo e precisão são limitados pela compressibilidade do gás e origina alguma poluição sonora. É necessário efetuar tratamentos ao gás utilizado e pode existir fugas [1, 2, 17].

Existem dois tipos de atuação nos manipuladores industriais, que podem ser observados na Figura 2.11. São denominados de atuação direta quando o elemento que se move do atuador está diretamente conectado à junta. O outro tipo de atuação é designada de atuação indireta, ou seja, o elemento móvel encontra-se ligado à junta através de um sistema de transmissão. Neste tipo de atuação são geralmente usados motores elétricos, à exceção de motores passo-a-passo e de motores *direct-drive* [17]. Este tipo de motores não utilizam elementos de transformação de energia e de transmissão, por isso são leves e compactos [1].

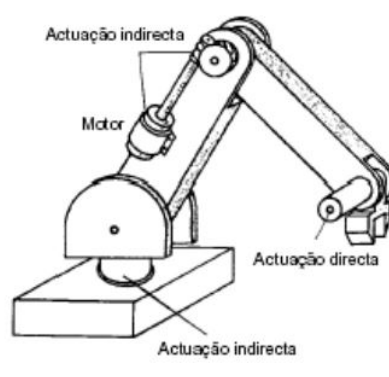


Figura 2.11: Tipos de atuação nos robôs industriais [17].

2.3.3 Controle de Movimento

Com o objetivo do manipulador efetuar o movimento desejado, as atuações nas juntas têm de ser controladas. Nos sistemas de controle do *hardware* são frequentemente utilizados controladores baseados em microprocessadores. São utilizados diferentes tipos de controle de movimento em diferentes aplicações. Existem quatro categorias diferentes de controle de movimento [6]:

- **sequência fixa:** é utilizado em ciclos de movimentos simples, por exemplo *pick-and-place*, em que existe um ponto de recolha e outro de colocação. É o sistema de controle de movimento mais simples. Os pontos são limitados através de paragens mecânicas ou limites mecânicos em cada junta, ou seja, não é possível parar num ponto intermédio em que não exista estes limites. Funciona movendo-se entre os extremos delimitados, não existindo quase controle sobre a velocidade;
- **ponto a ponto:** no controle ponto a ponto (PTP) os pontos podem ser memorizados. Sendo assim, é possível memorizar uma sequência de pontos que equivale ao movimento desejado. Os pontos registados correspondem ao conjunto de valores, dentro do intervalo, de cada junta do robô. Para cada posição do robô no programa, as juntas são atuadas para os valores respetivamente definidos. É realizado um controle de forma a confirmar, durante o movimento do manipulador, que cada junta atinge o valor definido no programa;
- **trajetória contínua:** derivada do inglês *Continuous Path* (CP), este sistema de controle é ligeiramente semelhante ao anterior, no entanto permite armazenar uma quantidade de pontos muito superior ao PTP, assim como também a possibilidade de seguimento de linha e permite o controle de movimento e velocidade de cada eixo em simultâneo, de forma a conseguir efetuar um movimento linear ou curvilíneo. Com isto é possível memorizar pontos relativamente próximos uns dos outros com o objetivo de conseguir controlar melhor a trajetória entre os pontos. Quanto mais pontos existirem entre o ponto inicial e final, maior será o controle do movimento efetuado.
- **controle inteligente:** um sistema de controle moderno, que utiliza a informação do meio ambiente recolhida pelos sensores para ajustes de trajetória. Isto permite contornar erros que talvez existam durante ciclos de trabalho. Adicionalmente este controle tem a capacidade dos controles PTP e CP. É necessário um elevado poder de processamento e de programação para definir as decisões lógicas no robô industrial.

2.4 Terminologia na Robótica

Nesta secção são abordadas definições e conceitos presentes nos manipuladores industriais. É importante existir uma noção sobre estes diferentes termos de forma a conseguir escolher o manipulador industrial com as características mais importantes para um sistema.

2.4.1 Capacidade de Carga

Uma das características que se deve ter em conta aquando do planeamento da aquisição do manipulador industrial. Esta especificação é definida pelo fabricante e encontra-se no manual do modelo. Capacidade de carga nominal é referente à carga máxima a uma velocidade máxima sem perda de precisão. Já a capacidade de carga máxima é a carga máxima a uma velocidade reduzida sem perda de precisão. O atuador final não se encontra incluído nestes valores de carga definidos pelo fabricante. Como consequência, no desenvolvimento do atuador final, a sua massa é um fator que deve ser considerado.

2.4.2 Precisão

Um sistema preciso é um sistema que atinge as posições programadas e desejadas. Existem cenários em que a precisão é deveras importante, como por exemplo, numa célula em que são colocadas peças cilíndricas numa cavidade que tem quase o mesmo diâmetro que as peças, se não existir precisão no sistema, as peças podem falhar o alvo.

2.4.3 Repetibilidade

Considera-se um sistema com boa repetibilidade quando existe pouca variação nos resultados obtidos sob as mesmas condições. Um sistema com boa repetibilidade não é necessariamente um sistema preciso, como se pode observar na Figura 2.12. O mesmo se pode dizer na situação inversa.

2.4.4 Resolução

É o menor valor incremental de uma junta, que é detetado pelo codificador, um dispositivo de medição. Quanto menor a resolução do sistema melhor.

2.4.5 Velocidade de Operação

Esta velocidade determina o tempo de ciclo de uma tarefa. Nesta consideração está incluído o tempo de desacelerações e acelerações. A velocidade de operação é um fator que deve ter especial atenção ao sistema.

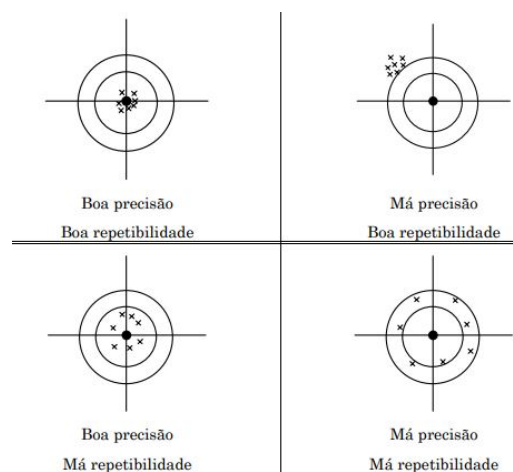


Figura 2.12: Precisão *vs* repetibilidade [9]

2.5 Cinemática

É a área da física que estuda e descreve os movimentos dos corpos. Estuda o conjunto de relações entre várias características dos elos como velocidades, posições e acelerações. Nesta secção são abordadas as definições da cinemática direta e da cinemática inversa de forma simples, assim como também a definição de pontos singulares.

2.5.1 Cinemática Direta

A cinemática direta tem como objetivo a determinação da posição do atuador do manipulador industrial em relação a um sistema de coordenadas de referência. As coordenadas da posição final, podem ser obtidas através de equações, que têm como parâmetros o comprimento dos elos e os ângulos das juntas.

2.5.2 Cinemática Inversa

No sentido inverso, a cinemática inversa tem como objetivo a determinação das coordenadas das juntas através do conhecimento de um conjunto de parâmetros dos elos e da posição do atuador final. Uma complicação que pode surgir no cálculo da cinemática inversa é o surgimento de múltiplas soluções para a mesma posição. Um manipulador industrial pode, por vezes, conseguir através de diversas configurações chegar ao mesmo ponto final, isto através de diferentes ângulos presentes nas juntas.

2.5.3 Singularidades

São pontos em que existem infinitas configurações possíveis do robô para os atingir. O infinito na matemática é possível de se trabalhar, mas quando se passa para o mundo real há limites mecânicos que criam problemas. Para evitar singularidades existem funções na programação que contornam o ponto.

2.6 Programação

A programação é um processo que tem como objetivo a resolução de problemas através de programas executáveis. É essencial na automação, pois pode possibilitar a execução completa da tarefa por intermédio do algoritmo gerado. Na indústria, a programação de robôs industriais facilita a sincronização com outros robôs ou outros dispositivos. Permite também a criação de uma sequência que o manipulador deve efetuar no espaço com ações adicionais. Estas ações podem ser a abertura ou fecho da garra do robô [6].

O programa é armazenado no controlador. Atualmente não existe linguagem de programação universal na área da robótica, conseqüentemente robôs de diferentes fabricantes podem requerer linguagens de programação para programar determinadas ações e movimentos, distintas. A programação de manipuladores industriais é bastante cara e envolve um gasto de tempo elevado.

Existem dois métodos possíveis na programação de robôs industriais. Pode ser realizada uma programação *online* ou uma programação *offline*. Ambas possuem as suas vantagens e desvantagens. Quanto ao tipo de programação existe a programação explícita ou implícita. O tipo explícito, que é o mais utilizado, referencia todas as instruções que o robô irá realizar e o utilizador tem que indicar como é efetuada cada operação. Já na programação implícita o robô recebe instruções de nível mais alto e o utilizador limita-se a indicar o que este tem de executar sem ter que se preocupar com técnicas de aproximação a pontos ou objetos.

2.6.1 Programação *Online*

Também conhecida por *leadthrough programming*, pode dividir-se em duas formas no registo da sequência: modo manual e modo automático. Esta programação necessita do próprio robô para poder ser realizada. Consiste no ensino da trajetória do robô movendo-o segundo o movimento desejado. É uma programação que não requer muita complexidade e é fácil de aprender. No entanto, o fato de requerer o manipulador tem como consequência a paragem da operação.

A programação *online* em modo manual é utilizada nas aplicações em que seja necessário realizar uma trajetória contínua complexa, como por exemplo a

pintura. Para este modo é necessário que o trabalhador agarre o punho do manipulador e o movimento segundo a sequência pretendida e memorize o movimento.

Outra opção será a programação *online* em modo automático. Esta é utilizada quando se pretende definir pontos específicos no espaço. Necessita da presença do *Teach Pendant*, que controla e realiza o movimento do robô. O manipulador é movimentado para os pontos desejados e através de uma opção presente no *Teach Pendant* estes são memorizados, podendo ser alteradas características como a velocidade em cada ponto. Após a memorização e definição das características nos pontos, o robô realiza a sequência pretendida autonomamente. É utilizada maioritariamente em aplicações de *pick and place* [6, 20].

2.6.2 Programação *Offline*

Esta forma de programação tem como grande vantagem a não utilização do robô para ser realizada, porém as aplicações de *software* utilizadas para esta programação por vezes têm um custo elevado. É uma programação mais complexa e é usada em aplicações mais difíceis e que exigem tempos longos de desenvolvimento do programa.

A programação *offline* pode ser realizada em sistemas de simulação gráfica apropriados e possibilita a importação e representação da célula de fabrico. Esta forma de programação pode ter diferentes objetivos como: o desenvolvimento de programas, a verificação e teste aos programas desenvolvidos. Nestas aplicações de *software* existe a possibilidade de realizar código, visualizar colisões que possam existir e transferir o ficheiro referente à programação para o controlador do robô. São vantajosos para soluções de elevada precisão e adaptações de programas já existentes. Permitem uma maior segurança, pois não existe contacto com o robô, e redução de custos. Com a evolução da tecnologia, esta programação tem tendência a ser mais utilizada.

2.7 Mercado da Robótica Industrial

Com a evolução da robótica, cada vez mais foram surgindo marcas no mercado que pretendem oferecer os seus serviços e produtos. Algumas marcas vendem manipuladores segmentados em áreas de aplicação, por exemplo alguns modelos desenvolvidos para a aplicação de soldadura têm cavidades próprias para a passagem de cablagem referente à ferramenta de soldar.

Na Figura 2.13 é possível observar exemplos de marcas presentes no mercado, como ABB, FANUC, Keller und Knappich Augsburg (KUKA) e Omron Adept. A área de aplicação de cada manipulador representado na figura encontra-se especificada na legenda. No entanto, não é obrigatório utilizá-los nestas aplicações específicas, pois os robôs são flexíveis dentro de certos limites.



Figura 2.13: Marcas e modelos de manipuladores industriais. [21, 22, 23, 24]

Nos *websites* de algumas marcas pode-se filtrar a procura através de características como a aplicação, a capacidade de carga e alcance. Assim, para o consumidor é muito mais simples para obter o produto adequado. Algumas marcas também oferecem os serviços como garantias, manutenções, *softwares* e até integração. A integração é um serviço oferecido para a implementação do manipulador industrial numa célula de fabrico.

Neste capítulo foram abordados tópicos gerais da robótica industrial. Inicialmente foi apresentada uma evolução histórica da robótica até à atualidade. De seguida, abordou-se a constituição dos manipuladores industriais e a ligação entre os seus constituintes. Assim como também foram explicadas diferentes configurações, volumes de trabalho e terminologia presente na robótica industrial. De forma breve, foram apresentadas as definições de cinemática direta e inversa e uma curta análise ao mercado com diferentes marcas e modelos de robôs. Por fim, foram apresentados os diferentes modos de programação de robôs industriais. Todos os tópicos abordados neste capítulo, serão úteis para a compreensão dos capítulos seguintes em que são apresentadas as diferentes aplicações dos robôs industriais e outros componentes, de uma célula, que os robôs possam interligar-se.

Capítulo 3

Aplicações Industriais e Células de Fabrico

Na indústria a robótica tem vindo a evoluir consideravelmente sendo implementada em diferentes processos. Em 2016 foram vendidos 294 312 de robôs, 16 % maior que 2015, atingindo um novo pico pelo quarto ano consecutivo [25]. Atualmente pretende-se a maior eficiência quando se adquire um robô. Para isto, têm-se desenvolvidos modelos de robôs industriais para diferentes aplicações.

Na indústria, muitos robôs estão introduzidos em FMS, isto é, uma estrutura de produção que é constituída por um número de células de trabalho, que se encontram interligadas por um computador e por um sistema de transporte [6], muitas vezes um AGV. É também comum o uso de um controlador lógico programável neste tipo de sistemas, que interligam diferentes processos.

Neste capítulo será realizado um estudo às diferentes aplicações industriais que os robôs executam na indústria. Também será realizado um breve estudo à estrutura e funcionamento de um controlador lógico programável e às células flexíveis de fabrico. Por fim, serão abordados diferentes tipos de comunicações industriais possíveis entre equipamentos.

3.1 Aplicações Industriais de Robôs

Nesta secção serão abordadas diversas aplicações industriais para a utilização dos robôs na atualidade. Serão abordadas o tipo de operações que os manipuladores têm que efetuar assim como as características adequadas, que um robô deve possuir para cada aplicação. As aplicações referidas nesta secção são: soldadura, pintura, montagem e maquinação.

3.1.1 Soldadura

Uma vasta área onde a robótica é implementada é na soldadura, que é bastante utilizada na indústria automóvel. A aplicação de soldadura geralmente requer mão de obra especializada, o que possui um custo elevado.

Os robôs industriais direcionados para a soldadura (Figura 3.1), atualmente, possuem características que aperfeiçoam este processo. A maior parte destes manipuladores dispõe de seis graus de liberdade, que permitem chegar a pontos, por vezes, difíceis de alcançar. A sua elevada repetibilidade, velocidade e precisão, são fatores muito importantes na aplicação de soldadura. Também já conseguem suportar uma carga entre 6 kg e 100 kg e permitem uma integração com a célula de fabrico e dispositivos periféricos [2]. A robotização na soldadura beneficia a segurança e a qualidade de produção, devido ao ambiente adverso criado por esta aplicação, assim como também uma evolução no planeamento do processo.



Atuador final para soldadura por arco elétrico



Atuador final para soldadura por pontos

Figura 3.1: Robôs de soldadura [26, 27].

A soldadura pode ser realizada através de vários processos, dois deles são: soldadura por pontos ou soldadura por arco elétrico. Na primeira, o atuador final do manipulador é constituído por uma pinça de soldadura. Este processo consiste numa junção de duas partes de metal, que são fundidas uma com a outra, em pontos de contacto específicos. Isto acontece através do fecho de eléctrodos que fixam as partes de metal uma à outra e aplicam uma corrente eléctrica elevada até ao ponto de provocar o fenómeno de fusão dos materiais. As ferramentas usadas pelos robôs neste processo são geralmente pesadas, consequentemente é

necessário um manipulador industrial com uma capacidade de carga mais elevada. É bastante utilizado na indústria automível, na fabricação da carroçaria [6].

O segundo processo, soldadura por arco elétrico, é um processo contínuo ao contrário da soldadura por pontos, que é realizada somente em pontos específicos. As configurações mais utilizadas neste processo são a configuração articulada e a cartesiana, esta última permite uma maior capacidade de carga e volume de trabalho. As condições existentes neste processo criam um ambiente que pode ser prejudicial para a saúde do trabalhador. O trabalhador está exposto a temperaturas elevadas e necessita de elevada atenção durante o procedimento, o que origina cansaço. No entanto, um robô não sofre destas adversidades, o que proporciona vantagens para o processo. Cabe ao programador escolher que tipo de programação vai realizar, no entanto geralmente é realizada uma programação *offline* neste processo. Com o recurso à automação consegue-se também efetuar a limpeza da ferramenta de forma automática.

3.1.2 Pintura

A pintura é uma área nociva para a saúde humana, isto porque cria um ambiente tóxico, que pode causar doenças como o cancro. Adicionalmente, os gases que existem no ar podem ser inflamáveis e criar perigo de incêndio e é também originado um ruído elevado durante a operação. De forma a minimizar e evitar estas situações, os trabalhadores utilizam vestimenta e acessórios adequados às situações.

Das diversas formas de pintura, a técnica mais comum e aplicada na indústria da robótica é com recurso a pulverização, representado na Figura 3.2. Em 1969, na Noruega, uma empresa chamada *Trallfa* desenvolveu dos primeiros robôs de pintura para a indústria automível, de forma a melhorar as condições a que os operadores estavam sujeitos. Inicialmente, nesta empresa, os robôs utilizados eram por atuação pneumática, por razões de prevenção de explosões [2]. O manipulador industrial, nesta aplicação, geralmente possui três eixos com atuadores no pulso [1]. A característica importante nos robôs industriais de pintura por pulverização é a sua repetibilidade, pois é necessário que a realização da sequência seja consistente. Existem situações, no ramo automível por exemplo, em que neste processo os manipuladores podem abrir portas de forma a facilitar a operação.

Normalmente a programação *online* é mais utilizada nesta aplicação, no entanto cabe ao utilizador decidir. Esta programação leva à necessidade de um operador ensinar a trajetória ao manipulador. Com a finalidade de evitar o uso do operador, a programação *offline* encontra-se em evolução nesta área, surgindo novas aplicações de *software* que otimizam o processo [2]. Esta otimização pode



Figura 3.2: Pintura através de robôs [2].

consistir no melhoria do sincronismo entre robôs, e robôs e tapetes. São utilizados nas indústrias de porcelana, automóvel e eletrodomésticos.

3.1.3 Montagem

A montagem consiste na junção de dois ou mais componentes, formando uma nova peça, que pode ser parte de uma maior ou ser a peça final. As configurações mais utilizadas nesta aplicação são a articulada, SCARA e em alguns casos robôs paralelos. Para a operação de montagem os manipuladores podem ter entre três a seis eixos, conseguem atingir velocidades elevadas, o sistema de controlo de movimento é em trajetória contínua, a sua precisão e repetibilidade são elevadas.

Diversas razões podem levar à implementação de robótica na aplicação de montagem. A procura de uma flexibilidade mais elevada e a redução de custos são algumas. As primeiras aparições de manipuladores com este objetivo surgiram com a necessidade de gerar uma resposta mais rápida no pedido de produção [1].

Antes da implementação de um robô, deve-se sempre realizar um estudo prévio das suas vantagens e desvantagens e se é adequado para o negócio em questão. É necessário verificar parâmetros como o volume de produção, a variedade de produtos, o tamanho do lote e a sua flexibilidade. Com a definição destes parâmetros, como se pode visualizar na Figura 3.3, é possível obter uma solução mais adequada. Existem duas formas de sistemas de montagem: linhas de montagem, onde os produtos se movimentam ao longo da linha sendo-lhes adicionados componentes ao longo do trajeto, e células de montagem, ou seja, um local definido onde o produto se encontra e é montado [28].

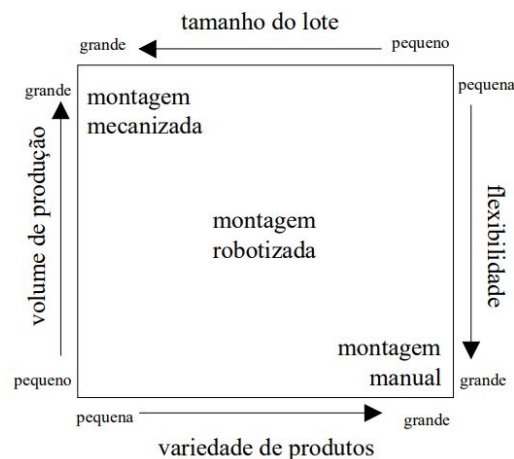


Figura 3.3: Parâmetros a ter em conta para a seleção do tipo de sistema de montagem [28].

3.1.4 Maquinação

A função de maquinação pode ser definida por processos que são utilizados para alcançar dimensões precisas e dar a forma a uma peça. Divide-se em diferentes processos: fresagem, furação e corte são alguns exemplos. Os ambientes presentes nestes processos envolvem elevados níveis de vibrações, poeira e ruído para os operadores, assim como também possuem uma grande taxa de acidentes na área. Os robôs utilizados possuem três graus de liberdade no braço e entre dois e três no punho.

O processo de fresagem consiste num movimento de rotação, com velocidade elevada, de uma ferramenta, com o objetivo de remover material de uma peça, que o mais comum é encontrar-se fixa. Portanto, quando a operação de fresagem é efetuada por um robô, a sua ferramenta será rotativa. Apesar, de necessitar de uma rotação elevada, em muitas situações as máquinas de fresagem são melhores, mas não oferecem tanta flexibilidade [1]. De seguida, no processo de furação, a implementação de um robô possibilita o trabalho em superfícies não consistentes. O robô precisa de ser rígido e de ter força para durante estes processos conseguir manter a precisão.

Outro processo que consegue ser realizado com recurso à robótica é a operação de corte. As ferramentas mecânicas tradicionais sofrem um desgaste maior e necessitam de manutenção, com isso surgiram as tecnologias de corte a *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) e corte com jato de água.

3.2 Controladores Lógicos Programáveis

Com a finalidade de substituir, de forma mais barata, os relés, foram criados os primeiros controladores lógicos programáveis (*Programmable Logic Controller* (PLC)). Estes PLC substituíam sistemas com centenas de relés. Em Janeiro de 1968, Richard Morley desenvolveu o primeiro PLC, este pertencia à empresa Modular Digital Controller (MODICON). Era programado através da linguagem de programação *Ladder*. Este controlador seria um processador em tempo real, robusto e de confiança [6].

Os primeiros PLC foram desenvolvidos para a indústria automóvel na General Motors [29]. Algumas das condições desta implementação eram a necessidade de um dispositivo que fosse reprogramável, projetado para ambiente industrial e o seu benefício de preço em relação a uma instalação com relés [6].

No entanto, existiam limitações de portas de entrada e de saída, as suas dimensões eram elevadas e limitações impostas pela sua capacidade de processamento. Tendo sucesso no ramo industrial, com o avanço tecnológico, os PLC evoluíram. Foram criadas opções de aritmética, comunicação com computadores, aumento de memória e de portas de entrada e saída, diminuição do seu volume, entre outras. Em 1990 os nano PLC chegaram ao mercado [6].

A sua evolução também permitiu a criação de controladores por módulos, isto é, os primeiros PLC eram limitados em *hardware*, pois não existia a possibilidade de aumentar as suas características. Atualmente existem modelos de controladores onde é possível adicionar e remover módulos (Figura 3.4), como uma espécie de Lego. Isto possibilita a personalização do PLC para a sua função, podendo ser mais económico para o comprador. Porém, dependendo do modelo destes controladores, existem limitações de número de módulos possíveis de adicionar.

3.2.1 Definição

Um controlador lógico programável é um componente bastante utilizado na indústria de automação. Pode-se definir por um aparelho controlado por um microcontrolador, que tem como objetivo a realização de tarefas lógicas. Foi criado com o intuito de substituir relés industriais, que também eram utilizados em operações lógicas na indústria. Com a evolução da tecnologia e do desempenho dos microcontroladores, com os PLC atualmente consegue-se realizar sequências de algoritmos mais complexos [29, 33].

Uma grande vantagem destes dispositivos industriais é a sua capacidade de interligação com sensores, atuadores e outros aparelhos inteligentes. Conseguem acionar vários mecanismos, como motores elétricos, cilindros, relés, entre outros. Além destas possibilidades, permitem a implementação de funções aritméticas,

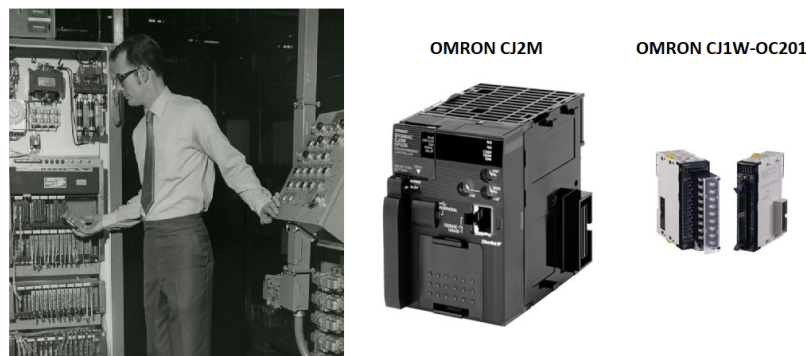


Figura 3.4: À esquerda encontra-se um dos primeiros controladores desenvolvidos. No centro o dispositivo é o módulo do controlador CJ2M da OMRON e de seguida, à direita, o módulo de saídas CJ1W - OC201 da mesma empresa. Estes dois últimos podem ser acoplados um ao outro [30, 31, 32].

sequenciais, contadores e temporizadores. A grande vantagem dos PLC é a sua possível aplicação em vastas áreas de sistemas de controlo na indústria.

São desenvolvidos de forma a serem robustos, conseguirem suportar vibrações, temperaturas elevadas, humidades e ruídos eletromagnéticos. Geralmente os PLC possuem um sistema funcional comum, observado na Figura 3.5. Este sistema é composto por [34]:

- unidade de processamento - consiste no microprocessador, que está encarregue de interpretar os sinais que são enviados como entradas e efetua as ações de controlo de acordo com o programa armazenado na memória. De seguida comunica as decisões como sinais de saída;
- fonte de energia - unidade necessária para a conversão da tensão AC para uma tensão DC de valor inferior. Esta tensão DC baixa é necessária para a alimentação dos módulos do PLC;
- secção de entradas e saídas - onde é enviada e recebida informação de dispositivos externos. Os módulos podem ser classificados através dos tipos de sinais, podendo ser sinais discretos, analógicos e digitais. Sinais discretos e digitais são sinais que estão sempre a *on* ou *off*. Já os sinais analógicos são sinais cujo valor é proporcional aos valores da variável que está a ser lida, por exemplo um caudalímetro que dá a corrente proporcional a um caudal;
- interface de comunicação - utilizado na transmissão e receção de dados de ou para outros controladores. É encarregado de verificar a informação recebida, a sincronização entre aplicações e a gestão da comunicação.

- dispositivo de programação - o programa é desenvolvido neste dispositivo e enviado para a unidade de memória;
- unidade de memória - onde o programa que contém as ações de controlo a ser exercidas pelo microprocessador é alocado. Também são armazenados dados de entradas para depois serem processados para a saída;

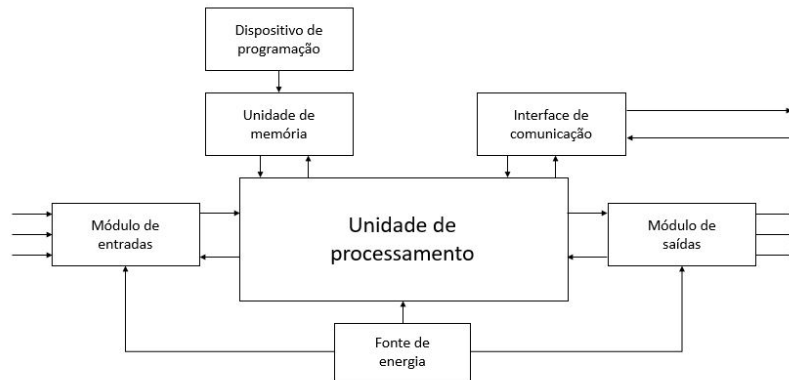


Figura 3.5: Arquitetura de um controlador lógico programável [34].

Os PLC contêm o *hardware* necessário para suportar tensões superiores aos microcontroladores, em que seria necessário o desenvolvimento de módulos. Os microcontroladores também não possuem uma flexibilidade de programação na indústria e a robustez que os controladores oferecem [29].

3.2.2 Métodos de Programação

Para a criação de ordens, ações ou controlo sobre um certo sistema é necessário existir instruções para tal. Estas instruções fazem parte do programa enviado para a memória do PLC, que mais tarde são executadas. De forma ao controlador conseguir interpretar as instruções, estas têm que ser desenvolvidas numa linguagem que o PLC entenda. Existem várias linguagens de programação possíveis para um controlador lógico programável. Algumas delas são a programação *Ladder*, *Sequential Function Chart* (SFC) e *Structured Text* (ST).

A programação *Ladder*, que na língua portuguesa se traduziria para escada, é uma programação comum na programação de controladores lógicos. A sua forma de programar é semelhante a desenhar um circuito com interruptores. O diagrama consiste em duas linhas verticais a que são conectadas o início e o final de uma linha. Cada linha define uma operação no controlo do processo. O programa é lido da esquerda para a direita e de cima para baixo. Cada linha deve começar com uma ou mais entradas e deve acabar com uma ou mais saídas. É possível

adicionar blocos de funções, algumas funções predefinidas como temporizadores, contadores, entre outras. Senão existe a possibilidade de editar um bloco e digitar código ST de forma ao bloco realizar a operação pretendida.

Uma programação também gráfica é a programação SFC, também conhecida por nos inícios, em que foi criada, se denominar *Grappe Fonctionnel de Commande, Étapes Transitions* (GRAFCET). Descreve-se pela representação gráfica da operação do sistema, que engloba os acontecimentos presentes na operação. Os estados do sistema são demonstrados por retângulos e cada retângulo equivale a um estado diferente. Ligado na horizontal aos estados estão representados as saídas, isto é, o que é suposto acontecer quando se entra num estado. A conexão entre estados é representada através de um pequeno traço vertical. Este representa a transição que é necessário acontecer para que se transite de um estado para o outro, como por exemplo o acionamento de um botão. Na Figura 3.6 pode-se verificar as diferenças visuais entre a programação SFC e a programação *Ladder*.

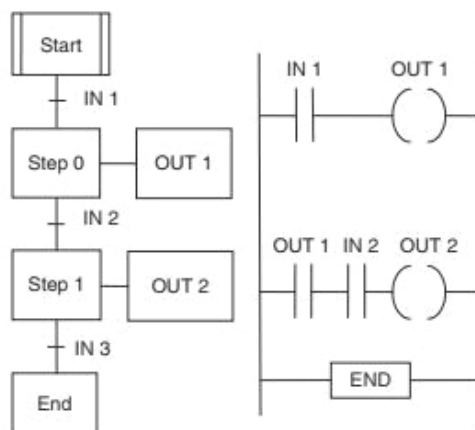


Figura 3.6: Diferenças entre a programação SFC (esquerda) e *Ladder* (direita) [34].

Por fim, a programação ST, que em português se traduzia para texto estruturado. Por este nome é indicado que este tipo de programação não é visual como os dois referenciados acima, mas sim uma programação mais de escrita assemelhando-se a Pascal [34]. O programa é realizado através da escrita dos estados. Para isto são utilizadas sub-rotinas predefinidas, que permitem a mudança de variáveis. Por exemplo, a atribuição do valor de uma adição entre duas variáveis a uma terceira variável:

$$Soma := ValorA + ValorB;$$

Apresentados os factos acima, quando a operação que é necessário programar é relativamente simples a programação *Ladder* será a mais indicada. Quando existe a possibilidade de representar a seqüência do sistema através de passos e estados, com o objetivo de ajudar a entender o processo e o sistema não é muito complexo então a programação SFC poderá ser uma escolha. Nas situações em que os programas são mais complexos e por vezes longos, torna-se mais simples programar através da programação ST.

3.2.3 *Human Machine Interface - HMI*

Em português é traduzido para interface Homem Máquina e como o próprio nome indica cria uma ligação entre o ser humano e as máquinas. Consolas HMI são ecrãs de cristal líquido (*Liquid Crystal Display* (LCD)) em que é possível programar e criar uma interface entre o utilizador e o sistema a utilizar. Nestes casos as consolas estão interligadas com os controladores, de forma a poder alterar estados de variáveis através da consola e enviar mensagens para o PLC.

As consolas têm como objetivo substituir e facilitar as atuações em relés e botões dos sistemas. Através das consolas HMI consegue-se verificar o estado do sistema, ou seja, é possível observar o estado de entradas e de saídas, como sensores e motores por exemplo. É possível criar mensagens de alerta e de emergência, assim como a leitura de dados do sistema, por exemplo número de produção de peças e realização de gráficos.

As aplicações desenvolvidas nas consolas HMI têm um papel fundamental na gestão das operações do sistema, pois determinam a facilidade que o operador irá encontrar ao interagir com a consola. No desenvolvimento de um programa para uma consola HMI deve-se ter em conta [33]:

- a comunicação com o PLC;
- a criação das variáveis que estão endereçadas no PLC;
- animações de objetos, para uma intervenção do utilizador, que pode alterar parâmetros do sistema se necessário.

As resoluções dos ecrãs das consolas, geralmente são expressadas por comprimento e altura, utilizando como unidade o número de pixels. Os ecrãs podem ser tácteis, o que possibilita uma maior representação de informação no ecrã. O utilizador através da correta configuração dos eventos e alarmes, pode visualizar informação sobre estes, por exemplo, a sua data de ocorrência e duração. É possível armazenar esta informação em tabelas, de forma ao utilizador aceder quando desejar.

3.3 Células de Fabrico Automatizadas

Uma célula de fabrico consiste numa estação de trabalho independente de uma fábrica. No entanto, estas podem ser interligadas entre elas de forma a criar um sistema de fabrico. Os processos geralmente efetuados numa célula de fabrico são processos de processamento ou de montagem [6]. Pode-se considerar três tipos de produção:

- **produção singular:** os produtos produzidos são idênticos;
- **produção por lote:** são produzidas diferentes peças por lotes;
- **produção mista:** são produzidas diferentes peças sequencialmente sem ser por lotes.

As células de fabrico podem ser categorizadas como células de fabrico manuais ou automáticas. Nesta secção serão abordadas somente as automáticas. As células de fabrico automáticas consistem numa produção muitas vezes utilizando uma máquina automatizada, capaz de produzir sem a necessidade de presença de um operador. Estas possuem vantagens como: uma produção maior que as células de fabrico manuais e o custo de operadores necessários para a tarefa é reduzido.

Com a integração de processos de automatização, como máquinas de controlo numérico computadorizado (CNC), de injeção de plásticos, manipuladores industriais, entre outros, é possível desenvolver uma célula flexível de fabrico (*Flexible Manufacturing Cell* (FMC)) (Figura 3.7). Uma FMC consiste na utilização de dois ou três processamentos nas estações de trabalho, na criação ou maquinação de peças e no seu processamento de manuseamento, geralmente realizado por um manipulador industrial [6]. O sistema de manuseamento normalmente está associado a aplicações como a carga e descarga de máquinas. Uma das vantagens mais importantes deste tipo de células é a sua flexibilidade. Estas células permitem a produção de diferentes produtos sem a necessidade de existir uma nova implementação da célula, mas sim apenas a reprogramação. Uma ligação a nível de comunicação industrial e de transporte, AGV por exemplo, entre células flexíveis de fabrico consiste no conceito de um sistema flexível de fabrico.

De forma a otimizar os processos de produção realizados pelas células de fabrico, é necessária a implementação de medidas que melhorem o seu processo autónomo [6]:

- sistema de armazenamento, que permite que a operação realizada seja maior que um ciclo da máquina, não havendo necessidade do operador ter que ir colocar as peças por trabalhar ou retirar as peças já trabalhadas. Em certos

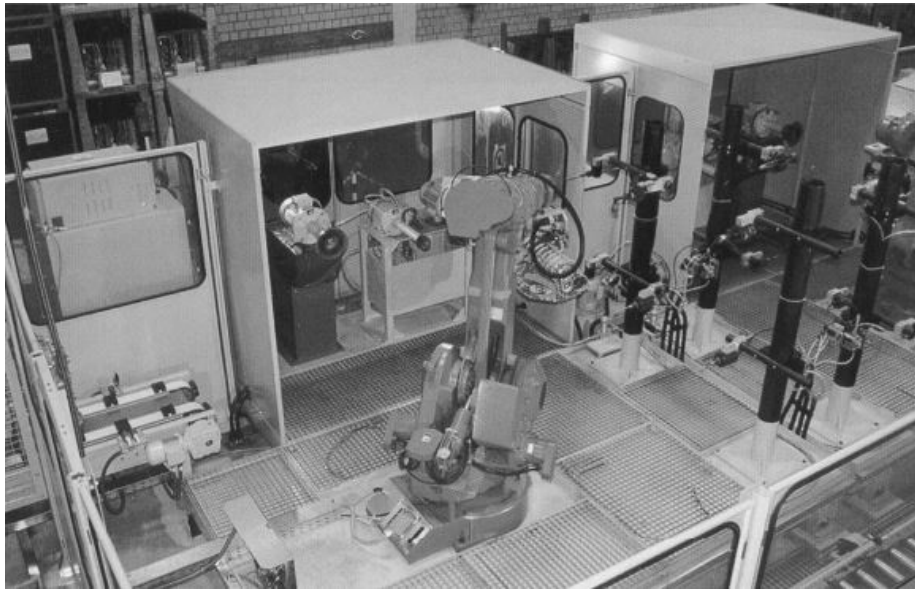


Figura 3.7: Célula flexível de fabrico com a intervenção de um manipulador industrial [35].

casos existem dois sistemas de armazenamento, um para as peças que ainda necessitam de ser trabalhadas e outro para as peças que já realizaram o processo;

- redes e portas de proteção, com o objetivo de aumentar a segurança dos operadores que trabalham no redor da célula, o que leva a evitar situações em que o sistema trabalharia colocando em causa a segurança de certos elementos e também pondo em causa a qualidade das peças produzidas;
- o manuseamento autónomo das peças, que pode ser efetuado através de um manipulador industrial, otimizando o processo e diminuindo o tempo de ciclo do sistema e da intervenção humana.

O tempo de operação autónoma da célula, ou seja, sem a intervenção de operadores, pode ser expresso através da equação:

$$UT = n_p \times T_c \quad (3.1)$$

O tempo em que não existe acompanhamento da célula (*Unattended Time* (UT)), é equivalente ao produto do número de peças que se pretende produzir na célula e do tempo de ciclo da operação.

3.3.1 Comunicações Industriais

Na indústria, dentro de uma fábrica, existe a necessidade de transferência de informação em diferentes níveis de processamento. É efetuada uma troca de informação entre sistemas da fábrica para um melhor controlo e uma melhor gestão. No entanto, de forma a automatizar um processo, se existir mais que um aparelho no sistema que necessita de interagir com outros é obrigatório existir algum tipo de comunicação que permita a troca de informação. Com esta necessidade surgem as comunicações industriais.

Atualmente não existe nenhum protocolo de comunicações industriais comum em todos os processos fabris nas diferentes fábricas. Isto faz com que existam vários protocolos de comunicações industriais. Estas comunicações têm características que podem ir de encontro com os diferentes níveis de uma fábrica: administração, sistemas de trabalho (conjunto de células de trabalho), células de trabalho.

Nesta subsecção são apresentadas de forma muito breve alguns protocolos e redes de campo utilizadas na indústria. São apresentadas algumas das características assim como os seus princípios de funcionamento de forma básica.

3.3.1.1 Ethernet/IP

No ano 2000 foi criado o protocolo de comunicação industrial *Ethernet/IP* (*Ethernet Industrial Protocol*). Permite a comunicação entre outras redes pertencentes à mesma família, como *DeviceNet* e *ControlNet*. Tem algumas características como as seguintes [36]:

- velocidades de 10, 100, 1000 Mbps;
- número de nós virtuais de uma rede ilimitados;
- estruturação de sub-redes através de *routers*;
- permite que componentes autónomos industriais e de controlo se encontrem na mesma rede que aplicações de gestão e em operações comuns como o uso da *Internet*.

3.3.1.2 EtherCAT

O protocolo EtherCAT (*Ethernet for Control Automation Technology*) foi desenvolvido pela empresa Beckhoff Automation, sendo introduzido em 2003. O seu princípio de funcionamento consiste numa mensagem que é enviada por um *master* e atravessa os nós existentes. Cada *slave* lê a informação presente endereçada a ele e insere informação na trama à medida que esta vai percorrendo os seguintes *slaves*. O tempo de atraso da trama é só afetada pelo *hardware*. O último nó no

segmento deteta uma porta aberta e envia a mensagem de volta para o *master* usando a tecnologia bidirecional do *Ethernet*. As velocidades são superiores a 100 Mbit/s [37].

O *master* numa rede EtherCat é o único nó que está autorizado a enviar tramas, isto evita atrasos imprevisíveis e garantias de circulação de informação em tempo real.

3.3.1.3 *Controller Area Network - CAN*

A rede CAN (*Controller Area Network*) foi desenvolvida pela empresa Bosch com o objetivo de diminuir as cablagens utilizadas na indústria automóvel. O seu princípio de funcionamento consiste no envio de uma trama para todos os nós da rede. Esta trama não possui o endereço de quem transmitiu nem o endereço dos nós que a vão receber. No entanto, terá um identificador, por exemplo, nível de óleo, temperatura, quilómetros, entre outros. Os nós ao receberem a trama, se necessitarem irão processá-la, senão é ignorada. Existe também no identificador a prioridade da trama, limitando os nós que a acedem ao mesmo tempo. Quanto maior a prioridade, menor o valor presente no identificador.

As suas taxas de transmissão são de 1 Mbit/s a 40 metros e de 50 kbits/s a 1 quilómetro. Tem como características: o baixo custo, a elevada robustez para ambientes com ruído eletromagnético, que é constante na indústria automóvel, velocidades elevadas e dimensões do controlador reduzidas.

3.3.2 *Segurança*

A segurança é um aspeto essencial a ser considerado no desenvolvimento de uma célula de fabrico. Os robôs são considerados máquinas potencialmente perigosas e geralmente operam em conjunto com outras máquinas, o que origina uma probabilidade de ocorrência de acidentes maior. Um robô tem como perigos: o impacto provocado pelo seu movimento, choques elétricos, queimaduras, entre outras.

Existem três regras de ouro, que devem ser consideradas quando existe interação com uma célula onde está presente um manipulador [38]:

1. se o robô não se encontrar em movimento, não se deve assumir que não se vai mover;
2. se o robô repete um padrão de movimento, não se deve assumir que o vai continuar a repetir;
3. manter respeito pelo robô e pelo que este pode fazer.

Duas das medidas de proteção de formar a diminuir a probabilidade de riscos são as medidas de proteção passivas e as medidas de proteção ativas. As medidas de proteção passivas podem ser: regras de conduta implementadas pela empresa, formações de segurança, limitação do espaço de trabalho dos robôs ao mínimo necessário, identificação de zonas de perigo. Já as medidas de proteção ativas limitam os efeitos quando as passivas não conseguem evitar o acidente. Estas medidas podem ser: um circuito para paragens de emergência/segurança, pré-fixação de saídas, colocação de sensores em zonas perigosas [38].

As fases de arranque, manutenção e reparação do sistema são onde existem mais acidentes. Por isso, de forma a minimizar o número, deve-se ter em conta alguns fatores em cada fase. Na fase de arranque deve ser realizada uma verificação a todo o sistema antes de este ser arrancado e depois quando este arranca e se encontrar no modo automático e em operação, toda a sua segurança deve estar ativa. Na fase de manutenção e reparação devem ser seguidos os procedimentos, lidos os manuais e o sistema deve encontrar-se desligado.

Concluindo, os robôs industriais têm como vantagem a sua flexibilidade e neste capítulo foram abordadas diversas aplicações em que podem ser utilizados. Neste sistemas, por vezes, pode existir a necessidade de interligar os robôs com outros componentes, como por exemplo os PLC. Por isso foi apresentada a sua arquitetura e alguns dos seus modos de programação. Os robôs e PLC podem estar presentes em células de fabrico, que são sistemas comuns na indústria de produção, logo foi abordado o seu conceito assim como algumas comunicações que podem existir para interligar componentes e por fim um breve estudo a regras de segurança que devem existir em sistemas que possuam robôs industriais.

Capítulo 4

Aplicações de *Pick and Place*

Define-se uma aplicação de *pick and place* quando a tarefa realizada consiste no transporte de uma peça desde o local onde é pegada até ao local de destino. É uma das operações bastante realizadas por robôs industriais. Nesta aplicação, numa perspetiva mais complexa, o manipulador industrial pode funcionar como uma interface entre uma máquina e um *conveyor*, isto é, um tapete transportador.

Tendo em conta a variedade de peças que podem ser transportadas em tarefas de *pick and place*, é necessário a utilização de um atuador final adequado. Existe a possibilidade dos produtos a ser transportados serem diferentes, no entanto manuseados pelo mesmo manipulador industrial. Nestas situações é importante a utilização de um atuador final flexível.

Normalmente as tarefas realizadas nesta aplicação são repetitivas e por vezes envolvem o manuseamento de cargas elevadas, por isso a substituição de robôs pela mão de obra humana é vantajosa. Contudo, com a integração e automação destas tarefas são necessárias condições de segurança acrescidas para a interface entre operadores e máquinas.

O manuseamento de materiais inclui duas grandes áreas: a carga e/ou descarga de máquinas e a paletização. Ao longo deste capítulo serão abordadas estas áreas, assim como quatro casos de estudo, dois referentes a cada aplicação.

4.1 Carga/Descarga de Máquinas

Na tarefa de carga e/ou descarga de máquinas, os robôs industriais podem realizar três tipos de tarefas: carga de uma máquina; descarga de uma máquina; carga e descarga de uma máquina.

Estas tarefas são utilizadas em situações como [6]:

- máquinas de injeção de plástico: o manipulador industrial, nestas situações, descarrega as peças produzidas por estas máquinas;
- máquinas de fundição: semelhante ao ponto anterior, o robô é responsável pela descarga das peças provenientes destas máquinas. Em certas situações o robô realiza a tarefa de arrefecimento da peça, mergulhando-a em água;
- torno ou fresadora: nestas situações os manipuladores podem efetuar as ações de carga e descarga das peças a ser maquinadas.

Numa célula onde se realiza esta tarefa, geralmente é utilizado um sistema de transporte de forma a transportar as peças para o interior e/ou exterior desta. Por ser uma tarefa repetitiva, a sua realização por parte de seres humanos pode levar a um decréscimo de qualidade da peça e causar problemas de saúde aos operadores.

Se a única tarefa do robô for a carga/descarga de máquinas, o robô não deverá ter uma maior utilização. Isto porque pode fazer com que as máquinas fiquem à espera que o robô fique disponível, para estas poderem ser carregadas/d Descarregadas, diminuindo o tempo de ciclo do sistema. Para além desta razão existem certos casos em que a descarga da máquina não pode ultrapassar um certo tempo.

4.1.1 Máquinas de Injeção de Plástico

As máquinas de injeção (Figura 4.1) são frequentemente utilizadas na indústria de produção de plásticos. De forma a aumentar a sua flexibilidade, estas possuem um molde das peças a produzir, que pode ser substituído por um molde diferente se existir a necessidade de produção de uma peça diferente.



Figura 4.1: Máquina de injeção - FANUC s50iA [39].

Uma máquina de injeção de plásticos tem três componentes básicos: o molde, o sistema de fecho e o sistema de injeção. O sistema de injeção prepara o plástico derretido que transfere para o molde que está interligado com o sistema de fecho [40].

Existem certas funções que são comuns ao funcionamento de todas as máquinas de injeção. Inicialmente, a primeira função é o aquecimento e a fusão do plástico, de seguida este plástico é injetado no molde com uma quantidade e pressão regulada e começa a solidificar-se nas cavidades do molde. Depois de injetado o plástico, o material é mantido sobre pressão de forma a prevenir o recuo do plástico derretido e para compensar a perda de volume que existe com a solidificação do plástico. Com o objetivo de obter a rigidez do material para poder ser ejetado, este é arrefecido ou aquecido consoante o tipo de plástico utilizado. Por fim o molde é aberto e ejeta as peças produzidas e encontra-se pronto para um novo ciclo de injeção.

Existem dois tipos predominantes de plásticos utilizados nas máquinas de injeção, os termo-plásticos e os termo-fixos. Os termo-plásticos são os mais utilizados e podem passar por vários ciclos de fusão/solidificação com uma temperatura até 260° C. Diferentes termo-plásticos têm diferentes números de ciclos de fusão/solidificação que podem realizar antes que as propriedades do material sejam afetadas. Já os termo-fixos depois da sua fusão tornam-se insolúveis e não podem ser mais derretidos. A sua fusão, geralmente atinge uma temperatura no máximo de 120° C [40].

4.1.2 Manipuladores Industriais na Carga/Descarga de Máquinas

Na aplicação de carga/descarga de máquinas a escolha do robô industrial a utilizar pode variar. Na descarga de máquinas de injeção de plástico podem ser utilizados robôs cartesianos ou robôs de seis eixos de montagem superior, no entanto existem outras opções dependendo do sistema.

Relativamente aos robôs cartesianos uma das marcas do mercado é o grupo Sepro. Para a descarga de máquinas de injeção a marca possui o modelo cartesiano Multi Inject, como se pode visualizar na Figura 4.2 [41]. Este modelo possui três eixos e uma capacidade de carga entre 10 kg e 30 kg. O modelo foi desenvolvido especificamente para a descarga de máquinas de injeção de plásticos.

Outro exemplo de robôs cartesianos projetados para a carga/descarga de máquinas é o modelo SideFast CNC da empresa TecnoMatic Robots [42], observado na Figura 4.3. Por ser um robô cartesiano que entra lateralmente na máquina, permite a resolução de certos problemas no processo de injeção de plásticos que os robôs cartesianos de entrada superior não permitem. O seu eixo que entra no molde é linear semelhante a um telescópio de forma a limitar as dimensões



Figura 4.2: Sepro -Multi Inject [41].

e atingir maiores velocidades. Este modelo é utilizado em situações em que a altura do sistema é limitada e não permite uma montagem superior.



Figura 4.3: TecnoMatic - SideFast CNC [42].

Uma segunda hipótese pode ser a utilização de robôs industriais de seis eixos estes podem ser montados de variadas formas, no entanto nem todos os robôs de seis eixos podem ter diferentes tipos de montagem. Cabe ao vendedor indicar de que forma é que cada modelo pode ser instalado. A FANUC vende o modelo M-20iA/20T cuja montagem é superior e o robô encontra-se invertido, como se

pode observar na Figura 4.4 [43]. Foi concebido para assegurar a redução de custos nas operações de processamento e carga de máquinas pesadas e também de forma a proporcionar uma maior versatilidade. Este modelo tem um alcance de 1662 milímetros e uma capacidade de carga de 20 kg. Pesa 185 kg sendo o modelo mais leve da gama e a sua quarta junta é à prova de água, adequando-se a aplicações de fundição.



Figura 4.4: FANUC -M-20iA/20T [43].

Existe também a possibilidade de ter um robô articulado acoplado a um eixo linear externo. A KUKA possui uma gama destes robôs denominada de unidades lineares. As grandes vantagens destes modelos de robôs são:

- o aumento do volume de trabalho;
- como o eixo linear é implementado como um eixo externo, é controlado pelo controlador do robô;
- versatilidade, pois pode ser montado em tetos ou paredes;
- a existência de um eixo linear possibilita o transporte de peças entre pontos de forma a diminuir o tempo de ciclo de certos processos.

A marca ABB tem no mercado robôs industriais que podem ser utilizados na indústria de injeção de plásticos, um exemplo é o modelo IRB 2400. Este modelo é versátil e pode ser instalado com a opção de montagem invertida. Este modelo

foi desenvolvido para aplicações de manuseamento de materiais e carga/descarga de máquinas. Tem as seguintes especificações:

- capacidade de carga: varia entre os 12 kg e os 20 kg consoante a versão do modelo escolhida;
- alcance: 1.55 m;
- estrutura robusta para ambientes mais adversos.

Com estas características, este modelo pode ser utilizado em aplicações de descarga de máquinas.

Estes robôs devido ao seu número de eixos conseguem realizar movimentos mais complexos que os cartesianos e oferecem uma maior flexibilidade, no entanto o seu custo normalmente é mais elevado.

4.1.3 Atuadores Finais na Carga/Descarga de Máquinas

O atuador final é um fator do sistema que deve ser estudado para melhor eficiência da solução. O material da peça a trabalhar na carga/descarga das máquinas pode influenciar a escolha do atuador final para o sistema. Geralmente o espaço de movimentação do robô dentro das máquinas é bastante reduzido, por isso a garra tem que ser pensada tendo isso em conta. Logo, as garras utilizadas para esta aplicação não devem ter dimensões muito elevadas, nem mecanismos que necessitem grande espaço para serem realizados.

As garras mecânicas são uma das opções a ser utilizadas na aplicação de carga/descarga. Através da força exercida no fecho deste tipo de garras é possível manusear o objeto e, inclusive, pode permitir operações realizadas pelas máquinas à peça enquanto o robô agarra firmemente a peça. Na Figura 4.5 está representada a garra de uma solução que tem como objetivo o carregamento de uma máquina de polimento [44]. Esta garra mecânica utiliza um mecanismo cujo estado normal é fechado e é aberto quando se pretende prender a peça à garra. Depois para colocar a peça a garra fecha e deixa de exercer força sobre esta. No entanto a utilização das garras mecânicas para a descarga das máquinas de injeção de plástico, pode nem sempre ser a melhor opção, pois se as peças saírem a uma temperatura elevada da máquina a força que a garra irá exercer para segurar a peça pode deformá-la.

Já outra hipótese para o atuador final na carga/descarga de máquinas são as garras de sucção. Estas garras têm a vantagem em relação às garras mecânicas de poder manusear peças com a temperatura elevada sem as deformar, o que leva a ser uma opção regular na descarga de máquinas de injeção de plástico. Podem ser utilizadas noutras aplicações de carga/descarga, mas quando é pretendido um

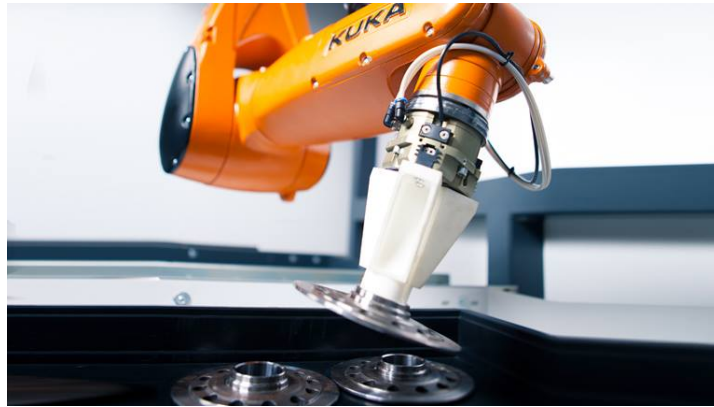


Figura 4.5: Garra mecânica utilizada no carregamento de discos para uma máquina de polimento [44].

atuador final que segure a peça enquanto nesta é aplicada alguma força proveniente da máquina, as garras de sucção podem não ser a melhor opção, pois as garras mecânicas geralmente exercem uma força superior. Um exemplo de uma garra de sucção utilizada na descarga de uma máquina de injeção de plásticos está presente na Secção 4.3 referente ao primeiro caso de estudo.

Nas garras de sucção de forma a detetar a presença da peça podem ser utilizados vacuostatos, isto é, sensores de vácuo. Estes sensores permitem medir o vácuo existente. Com o valor recebido pelo sensor é possível saber se as ventosas estão agarrar algum objeto. Porém existem mais opções para deteção de produto e cabe a quem projeta o sistema escolher a melhor opção.

No caso de a pessoa encarregue pelo sistema não desenvolver a garra é possível recorrer a uma empresa externa que se encarrega do desenvolvimento, tendo algumas empresas soluções *standard*. Um exemplo é a empresa COVAL que tem como objetivo o desenvolvimento de soluções tecnológicas com recurso a vácuo. Esta empresa desenvolve garras de sucção. Uma série que têm disponível para venda é a série CVG, que está representada na Figura 4.6.

Esta garra de sucção é uma solução universal e tem como objetivo ser uma garra simples e flexível [45]. Permite o manuseamento de materiais com diferentes dimensões e formas. Esta garra permite manusear diferentes materiais como: plásticos, metal, vidro, madeira e carbono.

Em operações de descarga de uma máquina de injeção de plástico as garras de sucção são comuns, porque como as peças nalguns sistemas saem da máquina a temperaturas elevadas, acima de 100°C , estas garras têm a vantagem de ter menor probabilidade de deformar a peça. No entanto existem sistemas em que as peças saem a uma temperatura mais próxima da temperatura ambiente, a rondar

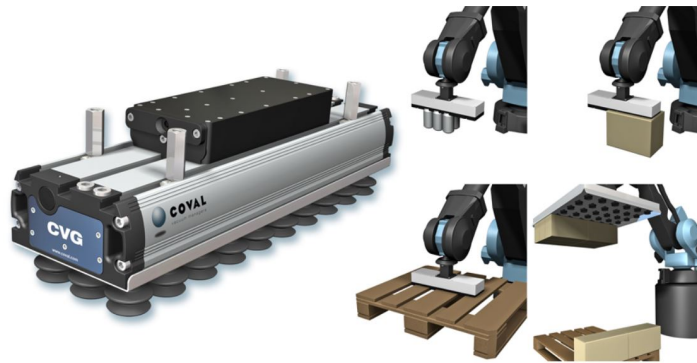


Figura 4.6: Garra de sucção. Série CVG - COVAL [45].

os 40° C, e podem ser utilizadas garras mecânicas na sua extração. Concluindo para obter uma maior eficiência do sistema deve ser avaliada a melhor solução para a garra do robô industrial.

4.1.4 Software para Aplicações de Carga/Descarga de Máquinas

No que diz respeito a *software* desenvolvido para aplicações de carga/descarga de máquinas, existem várias soluções no mercado. Estas aplicações de *software* têm funções que auxiliam no desenvolvimento da programação para esta aplicação e têm como objetivo ajudar na eficiência da solução.

O segundo exemplo é o *software* RobotWare Plastics - Mould que foi desenvolvido pela ABB. Este sistema é direcionado para a interação de robôs ABB com máquinas de injeção de plásticos. Permite uma interação simples para o utilizador partilhando informações do estado da máquina de injeção de plásticos. Ao pressionar uma tecla consegue-se executar ciclos personalizados para estas máquinas, como por exemplo, operar a máquina sem o robô, o ciclo de aquecimento da máquina e controlo de qualidade [46].

No caso de existir algum problema com o sistema, este *software* possibilita que o robô continue a operação contornando o problema, desde que não ponha em causa a segurança do sistema. Na eventualidade de existir um corte de energia o robô pode recomeçar no exato ponto onde se encontrava e permite a programação de zonas de segurança. A interface com este *software* é realizada com o controlador IRC5 da ABB, cujo *Teach Pendant* com a interface se encontra representado na Figura 4.7.

Outro exemplo de *software* desenvolvido que pode ser utilizado em aplicações de carga/descarga de máquinas é a extensão HandlingPRO do programa ROBOGUIDE da FANUC [47]. Esta extensão foi desenvolvida para aplicações de manuseamento de materiais, no qual está incluída a aplicação de carga/descarga.



Figura 4.7: *Teach Pendant* com a interface do programa RobotWare Plastics [46].

Neste *software* é possível realizar a programação do robô e simular o programa. Também possibilita a simulação do *Teach Pendant* da FANUC e a recolha de dados estatísticos como o tempo de ciclo e o tempo de movimento do robô por exemplo. A sua interface encontra-se representada na Figura 4.8.

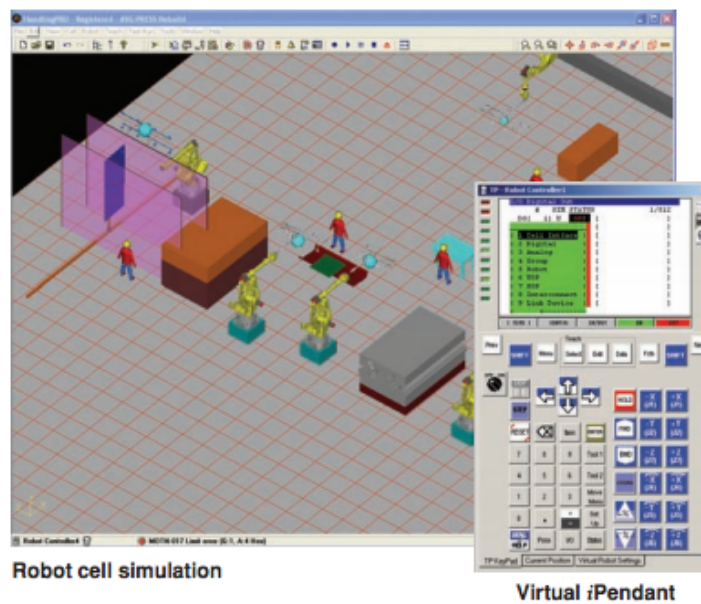


Figura 4.8: Interface da extensão de *software* HandlingPRO - ROBOGUIDE FANUC [47].

Por fim além de *softwares*, existem também definições e opções que podem ser ativadas para melhorar operações de maquinaria e de carga/descarga de máquinas. No caso da ABB e da FANUC, ambas disponibilizam uma opção denominada *Soft Move* e *Soft Float*, respetivamente em cada marca, que compensa variações de força inesperadas no robô, ou seja, permite que o trajeto do robô seja alterado

de acordo com a força externa exercida [48].

É utilizado em aplicações de carga de máquinas e descarga de máquinas de injeção de plástico. Quando a máquina de injeção de plásticos atua os ejectores aplica uma força externa no robô com esta opção o robô compensa a força aplicada. Existem duas possibilidades de compensar a força: modo de juntas ou modo cartesiano. O primeiro modo compensa a força alterando o valor de juntas que foram permitidas para tal e o segundo compensa ao mover-se nos eixos que foram permitidos. Por exemplo o robô pode só compensar a força externa movendo-se no eixo cartesiano dos *yy*.

4.2 Paletização

A tarefa de paletização consiste na colocação de um ou mais produtos, numa palete ou contentor em múltiplas posições. Por vezes é uma tarefa monótona, quando os produtos a paletizar são sempre os mesmos e são colocados sempre da mesma forma. Pode também ser uma tarefa com risco para a saúde do trabalhador quando se trata de paletizar produtos pesados.

Isto reforça a substituição do ser humano pelos robôs na paletização, trazendo benefícios para a execução da tarefa. No entanto, antes da integração da robótica com um processo de paletização devem ser estudados certos pontos como:

- espaço disponível para a instalação da célula de paletização;
- cadência pretendida do sistema;
- flexibilidade do sistema.

Como se trata de uma aplicação bastante realizada por robôs, diversas marcas no mercado produzem modelos de manipuladores próprios para a tarefa de paletização. Os eixos, nestes manipuladores, podem variar entre 4 a 6. Estes manipuladores oferecem uma boa repetibilidade e o seu *design* simplificado permite ocupar menor área no sistema. Na Figura 4.9 apresenta-se um exemplo da estrutura de um robô desenvolvido para a aplicação de paletização.

4.3 Caso de Estudo 1 - Carga e Descarga de uma Máquina de Moldagem por Injeção

Este caso de estudo é referente a uma célula de fabrico na empresa alemã Karl Krumpholz GmbH und Co. KG. Esta empresa inicialmente realizava a construção de moldes. No entanto, em 1992, foi adquirido um setor específico para a tecnologia de plásticos. A empresa produz peças plásticas de grande dimensão



Figura 4.9: Robô de paletização KUKA - KR QUANTEC PA[49].

para a indústria de veículos ligeiros de passageiros e comerciais. Desde 2013, esta empresa, através de uma máquina de moldagem por injeção da Krauss-Maffei, produz diferentes peças de plástico para o para-choques de um fabricante alemão de veículos utilitários [50].

Antes da implementação do sistema foram definidos dois requisitos principais: o alcance e a flexibilidade. A empresa Krumpholz necessitava de uma solução, que para além do manuseamento das diversas peças de plástico produzidas também conseguisse efetuar um desbaste rápido, simples e preciso a estas peças após serem retiradas da máquina.

O modelo do manipulador utilizado foi o KUKA KR 120 R3900 ultra K. A série de modelos KR Quantec ultra foi desenvolvida especialmente para soluções no setor de plásticos. Os robôs desta série, possuem seis eixos, um peso reduzido de 330 kg e têm o seu segundo eixo deslocado 400 mm para frente e para baixo. Este modelo em específico tem uma capacidade de carga de 120 kg e um alcance de 3900 mm. O atuador final (Figura 4.10) desenvolvido para esta solução consiste numa garra rotativa, que consiste em duas partes. Numa primeira parte possui quatro garras mecânicas, que irão servir para a colocação de buchas, e na segunda parte seis ventosas para o manuseamento da peça de plástico produzida. O acionamento deste atuador final é pneumático.

A operação deste sistema inicia-se com a recolha de quatro buchas numa estação de alimentação, através de quatro garras mecânicas presentes no atuador final. O robô recolhe quatro buchas, uma em cada garra e coloca-se em posição de espera entre as colunas da máquina de moldagem por injeção enquanto a peça é produzida. Quando a máquina acaba o seu processo, o robô coloca as buchas no molde do lado oposto onde a peça produzida se encontra, para a produção



Figura 4.10: Atuador final desenvolvido para a carga e descarga de uma máquina de moldagem por injeção [50].

da peça seguinte. De seguida, roda 90 graus e através das ventosas retira a peça de plástico produzida. Após o manipulador sair da máquina, realiza-se a remoção do plástico desnecessário e a fresagem da peça em diversas variantes. O passo final é a colocação da peça num dispositivo de arrefecimento, no qual as peças permanecem na posição correta de forma a evitar o encolhimento. A célula implementada está representada na Figura 4.11.

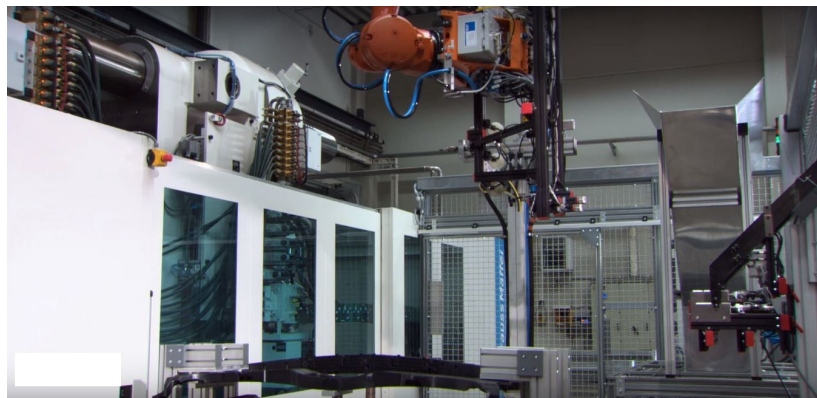


Figura 4.11: Solução desenvolvida pela KUKA para a produção de peças de plástico para a empresa Krumpholz [50].

Com a implementação bem sucedida desta solução, foi possível uma redução de tempo de ciclo de 30% com a elevada dinâmica e reduzidos tempos de ciclo do manipulador.

4.4 Caso de Estudo 2 - Produção de Colheres de Plástico

A empresa belga deSter é a líder mundial na produção de produtos de plástico como: copos, tigelas, pratos e talheres. Os produtos são conceitos específicos desenvolvidos consoante as encomendas dos clientes, ou seja, podem produzir peças únicas no mercado. A velocidade e flexibilidade são dois fatores principais, que também influenciaram a solução para uma nova linha de produção e empacotamento de colheres de plástico [51].

O engenheiro de produção da deSter, Cis Woestenborghs, afirmou que os métodos de produção anteriores começaram a ser questionados e também não cumpriam as especificações pretendidas. Por isso, decidiu-se criar uma nova linha de produção de colheres de plástico, que conseguisse produzir pacotes de diversas unidades.

A produção das colheres é efetuada através de uma máquina de moldagem por injeção. Possui um molde que permite a produção de 144 colheres numa injeção. Como objetivos, esta nova linha tinha que: aumentar a capacidade de produção, ser amigável do utilizador e reduzir o tempo de ciclo. Como comparação existia uma linha de produção de garfos de plásticos, que por dia fabricava 700000 unidades e tinha um tempo de ciclo de 9,5 segundos.

Para a descarga das colheres da máquina foi utilizado o robô da ABB, modelo IRB 6600 com seis eixos. O atuador final foi desenvolvido internamente pela deSter e agarra nas 144 colheres divididas na garra em 8 grupos, como se pode observar na Figura 4.12.



Figura 4.12: Dois dos oito grupos com colheres de plástico [51].

Depois são armazenadas em 125 molduras, cada uma com 144 colheres, e estas são colocadas num elevador que as direciona para uma zona de corte. Após o corte, um robô ABB IRB 2400 pega em conjuntos, cada conjunto de 144 colheres,

e deposita-os num *buffer*. As colheres são colocadas em sacos de plástico e um terceiro robô, um ABB IRB 140, coloca um ou mais sacos com colheres numa caixa. Esta caixa depois é transportada por um robô ABB IRB 6600 que realiza a paletização.

Com a instalação deste sistema o volume de embalagem foi reduzido cerca de 35%. Também foi reduzido por um segundo o tempo de ciclo e foi aumentado o número de molduras de 50 para 125, o que aumentou a quantidade por embalagem.

4.5 Caso de Estudo 3 - Paletização de Sacos de Feijões

A empresa The Great Canadian Bean Company é uma fornecedora canadiana, localizada em Ontário, Canadá. Os seus clientes são empresas da indústria de produtos enlatados e empacotados. Emprega cerca de vinte trabalhadores, que estão encarregues de limpar e colocar os feijões nos sacos. Até à implementação do sistema a paletização dos sacos era manual, o que provocava um grande desgaste físico nos trabalhadores.

Com tantos trabalhadores focados numa tarefa, as restantes áreas de produção não estavam a ser eficientes. Isto levou a empresa a procurar uma solução para automatizar o processo de paletização, minimizando os possíveis acidentes de trabalho e aumentando a flexibilidade na produção dos feijões. O presidente da empresa, Bill MacLean, entrou em contacto com uma empresa de integração de sistemas autónomos, a Automation Project Group, e esta em conjunto com a ABB implementaram a solução [52].

O robô utilizado neste sistema, foi o ABB IRB 640, com capacidade de carga de 160 kg, necessária para a paletização de sacos de feijões. Esta implementação durou duas semanas e foi incorporada no processo anteriormente existente de paletização de sacos de feijões. Os sacos eram enchidos e levados para uma estação de costura. De seguida era rodados 90 graus e levados para um sistema que assegurava o espaçamento entre sacos antes de entrarem no transportador. Por fim o robô ABB pegava nos sacos, com um atuador final em forma de concha, como se pode observar na Figura 4.13, e colocava-os com o padrão definido pelo operador. Uma das restrições necessárias neste sistema é a colocação precisa dos sacos na paleta, pois se os sacos estiverem ligeiramente para além das dimensões da paleta, podem colidir com os contentores exteriores e ficarem danificados.

Após a instalação desta solução, os acidentes com o transporte de sacos foram eliminados. Além disto, a paletização do produto passou a ser efetuada muito mais rapidamente e os danos que os sacos sofriam ao longo do processo tornaram-se nulos, devido à sua correta colocação. Isto tudo permitiu à empresa entregar mais produtos aos seus clientes num menor espaço de tempo.



Figura 4.13: O robô executa a operação de pegar num saco de feijões no transportador. Pode verificar-se também a estrutura do seu atuador final, que permite esta tarefa [52].

4.6 Caso de Estudo 4 - Paletização de Açúcar

A empresa sérvia Sunoko possui mais de 50% do mercado e é a maior produtora e exportadora de açúcar dos Balcãs. De forma a evoluir constantemente, a Sunoko otimiza os seus processos regularmente, tendo gasto mais de cem milhões de euros desde 2003 em unidades de produção. Esta expansão de modernização realizada ao longo dos anos abrange um aumento da eficiência energética, um investimento na proteção ambiental, expansão da capacidade de produção e reduções de custos de produção.

Neste sistema foram utilizados dois robôs iguais, o KUKA KR120 R3200 PA, que tem como objetivo paletizar 100 pacotes de açúcar por hora. A Sunoko possui diferentes tamanhos de embalagens de açúcar, variando entre 750 g até 1200 kg. Nos últimos anos a empresa registou um crescimento, porém de forma a não colocar em risco esse crescimento, foi decido automatizar um sistema de paletização na fábrica de Kovacica. Este sistema tinha como objetivo a paletização de embalagens de dez pacotes de 1 kg envoltos numa película termo-retrátil. Foi contactada uma empresa integradora, a multi-tec. Era esperado um aumento considerável de produtividade assim como também uma redução de danos nas embalagens de açúcar e a segurança no ambiente de trabalho era um fator importantíssimo nesta solução [53].

O modelo do robô utilizado pertence à série de robôs de paletização KR QUANTEC da empresa KUKA. Existem diferentes capacidades de carga para

estes robôs, sendo a dos modelos utilizados nesta solução de 120 kg. Possuem um alcance de 3200 mm e uma altura de empilhamento de 2500 mm. Possui uma grande cadência e repetibilidade e outra vantagem é o seu espaço de ocupação reduzido. Foi utilizado um atuador final simples, de forma a agarrar os pacotes de açúcar a paletizar. Parte do sistema pode ser visualizado na Figura 4.14.



Figura 4.14: Robô KUKA KR120 R3200 PA na paletização de embalagens de açúcar [53].

A construção do local limitava cenários para a solução. Os sistemas de enchimento das embalagens encontravam-se localizados perto de outros sistemas de enchimento, restringindo o raio de ação. Assim como também a área de trabalho era reduzida devido aos tapetes transportadores presentes. Isto fez com que a integradora multi-tec optasse por dois robôs para uma melhor integração com as linhas de transporte já existentes. Os robôs foram posicionados de forma a que conseguissem chegar ao estoque de paletes, a alimentação das películas e as máquinas que revestem as paletes com as embalagens, de película protetora.

Um tapete transportador transporta as dez embalagens de pacotes de 1 kg de açúcar para a área de trabalho dos robôs. Os manipuladores agarram nas embalagens e paletizam-nas, segundo um padrão previamente definido, numa euro paleta. De forma a proteger os pacotes entre camadas, é aplicada uma camada de proteção. Por fim as paletes seguem para uma zona em que são revestidas por uma película de proteção para depois serem transportadas. Numa paleta são colocadas cem embalagens de dez pacotes de 1 kg de açúcar, ou seja, um total de uma tonelada.

A cadência do sistema é de aproximadamente dez toneladas de açúcar por hora com os dois robôs. Cada um paletiza individualmente 480 embalagens por hora. Esta quantidade neste espaço de tempo seria impensável sem a utiliza-

ção de automação. Concluiu-se que as expectativas do sistema foram atendidas. Reduziu-se o esforço físico efetuado pelos trabalhadores, agora responsáveis pela monitorização do processo. Este processo tornou-se mais eficiente, pois a qualidade das embalagens paletizadas e a velocidade de paletização melhoraram.

Após o que foi apresentado neste capítulo, verifica-se que as aplicações de *pick and place* pode dividir-se em diferentes processos. No entanto neste capítulo, só são abordadas dois processos em específico que são: carga/descarga de máquinas e paletização. Foi efetuado um estudo aos diversos modelos de robôs no mercado que existem para carga/descarga de máquinas assim como na aplicação de paletização. Na aplicação de carga/descarga de máquinas realizou-se também uma abordagem às garras e aplicações de *software* geralmente utilizadas nesta aplicação. Por fim, foram apresentados dois casos de estudo de carga/descarga e de paletização de forma a estudar soluções de sistemas aplicados em empresas.

Capítulo 5

Arquitetura do Sistema

Neste capítulo é realizada uma primeira abordagem ao sistema a implementar. Inicialmente é descrito o problema que levou ao desenvolvimento do sistema. De seguida é descrito o produto que é operado na célula. O sistema divide-se em duas fases, esta dissertação foca-se na primeira, sendo esta representada e explicada por um diagrama de blocos. São analisados os componentes envolventes do sistema detalhadamente e, por fim, é descrito o funcionamento da célula de produção.

5.1 Descrição do Problema

A empresa RobotSol dedicada ao desenvolvimento de sistemas de automação industrial foi requisitada para a criação de um sistema autónomo para a extração e montagem de pinças medicinais de forma a resolver o problema de uma empresa. O processo anterior de extração das peças e a sua montagem não era considerado produtivo. O processo consistia na injeção e extração de peças de plástico produzidas, através de uma máquina de injeção de plástico, e a sua montagem de forma a produzir pinças medicinais. Neste processo o molde produzia peças suficientes para quatro pinças finais, como descrito na Secção 5.2, metade das pinças do que o molde atual do sistema.

De seguida, após a extração das peças era realizada a montagem do produto pelo operador. As peças eram colocadas individualmente numa máquina que era encarregue de realizar a operação de fecho das peças de forma a criar a pinça medicinal e fechar a pinça no primeiro nível. Com a finalidade de melhorar os níveis de produção, tanto em quantidade como em qualidade, existiu a necessidade de se automatizar o processo. Com o objetivo de extração das peças da máquina e da sua montagem foi pensado e desenvolvido um sistema capaz de introduzir melhoria de produção deste produto.

Baseado em informações obtidas, o processo anterior à implementação do sistema apresentava aproximadamente os seguintes tempos de ciclo:

- ciclo da máquina de injeção (injeção + extração das peças) - 16 segundos
8 peças totais que originam um total de 4 pinças Kocher (ver Secção 5.2);
- montagem - 1 segundo por pinça - requer um operador;
- fechamento das pinças - 3 segundos por pinça.

Na Figura 5.1 observa-se o diagrama Homem - Máquina para a produção no processo anterior ao sistema. Com estes valores, o operador quando acaba de montar as primeiras quatro pinças, a máquina produz as próximas quatro colocando o tempo de ciclo de 4 segundos por pinça. O tempo de ciclo de quatro pinças é igual ao tempo de ciclo da máquina.

Diagrama Homem - Máquina		
Tempo (seg)	Operador	Máquina
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17	Montar uma peça	
18		
19	Fechamento da peça	
20		
21	Montar uma peça	
22		
23	Fechamento da peça	
24		
25	Montar uma peça	
26		
27	Fechamento da peça	
28		
29	Montar uma peça	
30		
31	Fechamento da peça	
32		
33	Montar uma peça	
34		
35	Fechamento da peça	
36		
37	Montar uma peça	
38		
39	Fechamento da peça	
40		
41	Montar uma peça	
42		
43	Fechamento da peça	
44		
45	Montar uma peça	
46		
47	Fechamento da peça	
48		

Figura 5.1: Diagrama Homem - Máquina do processo anterior.

Com o objetivo de melhorar o tempo de ciclo do processo foi desenvolvido um novo molde com o dobro de peças que o molde anterior, ou seja, suficiente para a produção de oito pinças. No entanto a sua extração automática não funciona de forma correta e algumas das peças ficam agarradas aos extratores e necessitam de serem removidas manualmente. Com isto foi proposta a colocação de um robô industrial para realizar a operação de descarga da máquina de injeção.

O sistema proposto para a solução do problema pode ser dividido em duas fases. A primeira fase consiste na utilização de um robô de seis eixos para a extração das peças da máquina de injeção, que de seguida coloca as peças numa estrutura de montagem desenvolvida pela RobotSol. Na segunda fase, na estrutura de montagem, encontra-se um robô paralelo de quatro eixos encarregue de realizar a montagem das peças em conjunto com a estrutura que possui atuadores pneumáticos. Nesta estrutura existem duas bases de montagem e os robôs devem-se movimentar ao mesmo tempo dentro da estrutura em diferentes bases. Quando o robô que realiza a extração coloca as peças numa base, o robô paralelo deverá estar a montar as peças presentes na outra base. Isto de forma a diminuir o tempo de ciclo.

Se a implementação deste sistema tiver sucesso, existe uma proposta para uma melhoria na sua flexibilidade. Por isso, foi também considerado a adaptação deste sistema a mais dois modelos diferentes de pinças medicinais. Para cada modelo adicional irá ser desenvolvido um atuador final diferente assim como uma base de montagem diferente, pois devido ao tamanho destes modelos só irá ser utilizada uma base de montagem.

5.2 O Produto

O sistema a ser desenvolvido tem como finalidade a produção de pinças Kocher, um exemplo destas pode ser observado na Figura 5.2. As pinças Kocher foram desenvolvidas pelo físico e investigador na área da medicina Emil Theodor Kocher. Estas pinças são utilizadas em cirurgias de forma a minimizar a perda de sangue.

Neste sistema as pinças Kocher produzidas serão pinças descartáveis e o seu modelo está representado na Figura 5.3. O seu material consiste em 70% polipropileno e 30% fibra de vidro. Cada pinça é constituída por duas partes: a peça fêmea e a peça macho. A montagem das duas origina a pinça Kocher final. Estas peças são produzidas por uma máquina de injeção de plástico, que produz números equivalentes de peças macho e peças fêmeas.

Na Figura 5.3, nos dois primeiros estados é possível visualizar-se uma tira de formato rectangular no topo das peças, que representa o fechamento. Têm três cavidades, cada uma representa um nível de fechamento. Neste sistema as pinças irão ser fechadas no primeiro nível.



Figura 5.2: Exemplo de pinças Kocher [54].

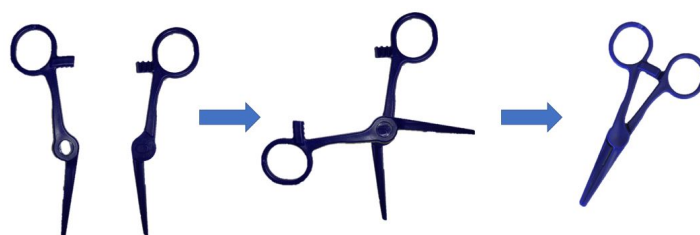


Figura 5.3: Da esquerda para a direita: 1º estado - peça fêmea e peça macho, 2º estado - peça fêmea encaixada na peça macho, 3ª estado - pinça Kocher final.

O sistema foi desenvolvido em consideração para a produção de mais dois modelos de pinças Kocher. De forma a diferenciar os modelos foram dados os nomes dos seus comprimentos. O modelo apresentado em cima é denominado o modelo de 13 cm e depois existem os modelos de 19 cm e de 24 cm.

5.3 Diagrama do Sistema

Nesta secção será apresentado o diagrama de blocos do sistema. Esta dissertação foca-se na primeira fase do sistema, logo o diagrama apresentado será relativo a essa parte. No entanto, no final desta secção é apresentado um diagrama geral do sistema.

No funcionamento geral do sistema existe a interligação entre diferentes constituintes. Na Figura 5.4 é apresentado o diagrama de blocos relativamente à primeira parte do sistema. Pela figura observam-se quatro grupos.

O grupo central é o núcleo desta parte do sistema. Aqui encontra-se o controlador do robô FANUC M20iA/20M e o PLC utilizado OMRON NX1P2. Nesta fase o PLC é encarregue do controlo de segurança do sistema, do arranque do robô e da gestão da estrutura de montagem, isto é, envia informação ao robô que acabou de extrair as peças, sobre qual a base em que as deve colocar. Já o

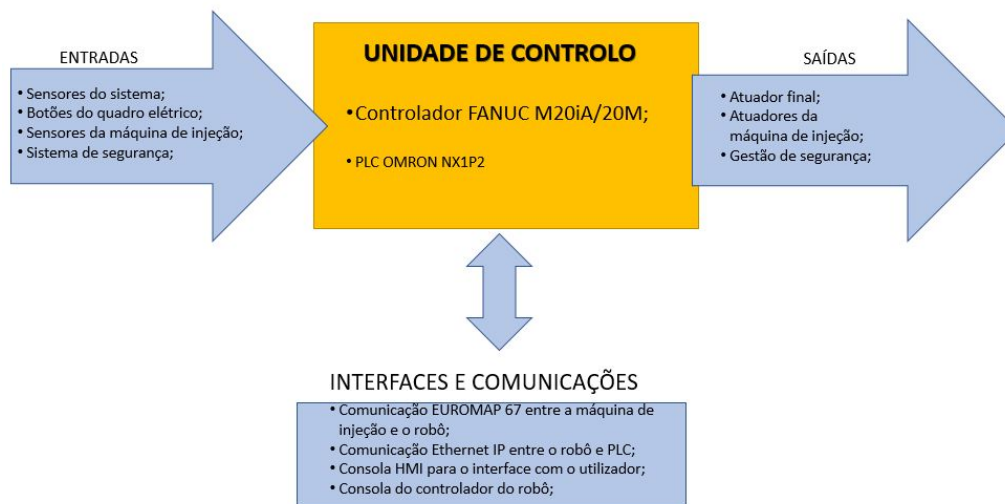


Figura 5.4: Diagrama de blocos da primeira fase do sistema.

controlador do robô realiza a lógica de funcionamento do robô, ou seja, verifica as condições necessárias para o robô realizar os movimentos adequados. Também é responsável pela atuação do atuador final, envia informação do estado do robô para o PLC de forma a melhorar a gestão do sistema e, por fim, realiza a interação com a máquina de injeção de plásticos. É através do controlador do robô que a máquina comunica com o sistema.

O bloco das entradas consiste nas informações que as unidades de controlo adquirem dos diferentes constituintes do sistema. Deste bloco fazem parte todos os sensores do sistema. Estes sensores são sinais que representam a posição de cilindros pneumáticos da garra, estado dos sensores da máquina de injeção, estado das botoneiras de emergência e da porta de segurança.

Do outro lado encontra-se o bloco de saídas que representa as ações que a unidade de controlo efetua no sistema. Aqui são atuados equipamentos como os cilindros pneumáticos do atuador final através de sinais digitais, é realizada uma gestão na segurança do sistema podendo permitir em certas alturas o acesso à célula e também é realizada a autorização de movimentos da máquina de injeção.

Por fim, o bloco que falta é representado pelas comunicações e interfaces com o utilizador. Os constituintes deste bloco realizam uma troca de informação com a unidade de controlo. Uma comunicação utilizada no sistema é a comunicação entre o robô FANUC M20iA/20M e a máquina de injeção FANUC Robotshot S2000i-150b. Esta partilha de informação é realizada pelo protocolo EUROMAP 67, explicado na Sub-secção 5.4.7. A outra comunicação presente é a troca de informação entre os constituintes da unidade de controlo que é realizada pelo

protocolo Ethernet IP.

A par das comunicações surgem também as interfaces. Estas são a consola de programação do robô e uma consola industrial programável capaz de realizar a interação com o utilizador. Na consola de programação do robô é possível visualizar o seu estado, assim como também visualizar e alterar o valor de variáveis, entradas ou saídas. Também se pode visualizar os alarmes e erros que existam no robô. No entanto, a consola programável fornece informação mais completa do sistema pois comunica com o PLC e através da sua programação é possível transmitir dados da célula. São transmitidos dados como o registo de alarmes, estatísticas de produção e estado do sistema. Existe também a possibilidade de controlo manual da estrutura de montagem através da interação com a consola HMI. Este equipamento do sistema é referido na Sub-secção 5.4.5.

Na Figura 5.5 são apresentadas as ligações que todos os componentes do sistema têm entre si. Estas ligações são representadas por setas que representam se a comunicação é unidirecional ou bidirecional. Como se verifica, o robô de extração pode transmitir o estado dos sinais da máquina até à consola HMI passando pelo PLC. Outro exemplo é a comunicação entre os robôs utilizando o PLC como meio de comunicação. Estes são dois dos exemplos de comunicações entre os componentes deste sistema, utilizando componentes como pontes para passagem de informação de componentes que não se encontram diretamente ligados.

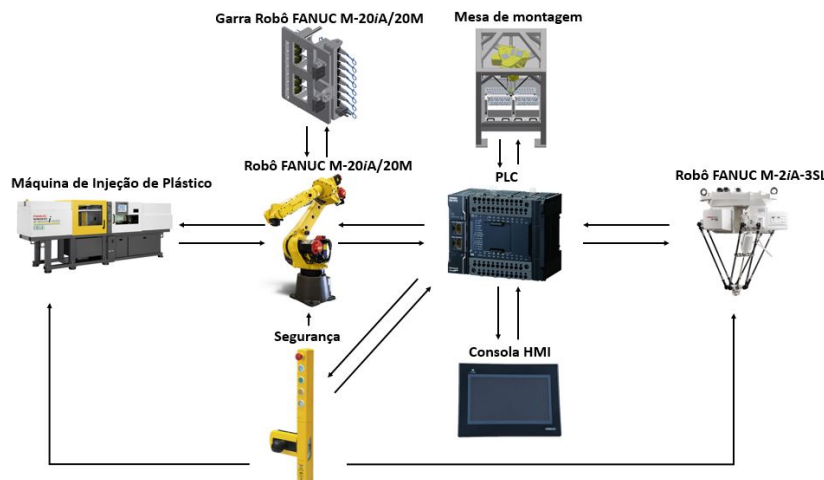


Figura 5.5: Arquitetura geral de comunicações do sistema.

5.4 Constituição do Sistema

Nesta secção são descritos os componentes presentes no sistema, assim como o seu funcionamento e especificações. Inicialmente é abordado o robô que realiza a

extração e o seu atuador final, de seguida a máquina de injeção e a estrutura de montagem. São descritas as operações do PLC no sistema e da consola HMI na célula. Por fim é abordado o protocolo utilizado na comunicação entre o robô de extração e a máquina de injeção de plástico.

5.4.1 Robô FANUC M20iA/20M e Atuador Final

Um dos robôs constituintes do sistema pertence à marca japonesa FANUC e é o modelo M20iA/20M, ilustrado na Figura 5.6. Este modelo possui seis juntas rotacionais e na Tabela 5.1 [55] estão representadas as amplitudes de movimento assim como a velocidade máxima que cada junta consegue atingir. Algumas especificações como peso, capacidade de carga, repetibilidade e alcance deste modelo estão representadas na Tabela 5.2 [55]. Este manipulador foi escolhido tendo em conta o seu número de eixos e a sua capacidade de carga.

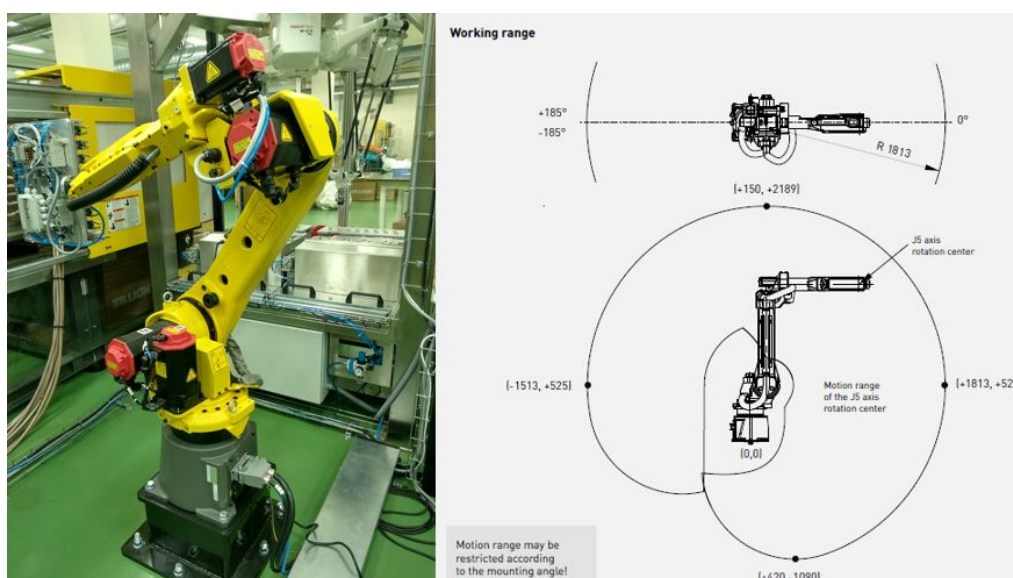


Figura 5.6: Da esquerda para a direita: robô FANUC M20iA/20M com o atuador final e ilustração do volume de trabalho do robô FANUC M20iA/20M.

Este robô, modelo FANUC M20iA/20M, diferencia-se do modelo anterior, FANUC M20iA, pelo seu maior momento de inércia nas três últimas juntas. O momento de inércia representa o grau de dificuldade em alterar o estado de um objeto em movimento de rotação. A diferença entre o momento de inércia nas juntas dos dois modelos está representado na Figura 5.7 [56].

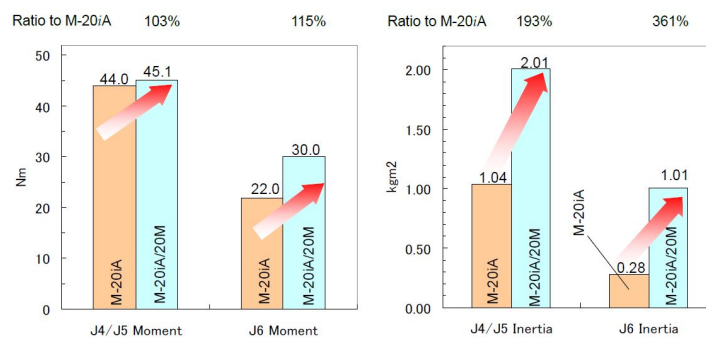
O controlador deste robô é o FANUC R-30iB, apresentado na Figura 5.8, junto com a sua consola de programação. Aqui é onde são realizadas as ligações de segurança, como portas e botoneiras do sistema. Este controlador vem de

Tabela 5.1: Amplitude de movimento e velocidades das juntas.

Juntas	Amplitude de movimento	Velocidade máxima
J1	370°	195°/s
J2	260°	175°/s
J3	460.6°	180°/s
J4	400°	405°/s
J5	280°	405°/s
J6	900°	615°/s

Tabela 5.2: Especificações FANUC M20iA/20M.

Peso	250 kg
Capacidade de carga	20 kg
Repetibilidade	+/- 0,04 mm
Alcance	1813 mm

Figura 5.7: Comparação do binário e do momento de inércia, em Nm e kgm^2 , entre os dois modelos [56].

fábrica com uma carta com 16 entradas e outra com 16 saídas, existindo ainda espaço para serem colocadas mais cartas de entradas ou saídas se necessário para o sistema. Neste sistema não foi necessário acrescentar mais cartas.

No controlador é possível, através de um seletor com uma chave, definir o modo de funcionamento do robô. Existem três modos de funcionamento [57]:

- modo T1: o robô realiza movimentos com velocidades iguais ou inferiores



Figura 5.8: Disposição do quadro elétrico e do controlador do robô de extração.

a 250 mm/s. Os programas só conseguem ser ativados através da consola de programação. Neste modo as emergências de portas são ignoradas;

- modo T2: o robô pode ser operado à sua velocidade máxima ou inferior. Os programas só conseguem ser ativados através da consola de programação. Neste modo as emergências de portas já não são ignoradas pelo robô.
- modo AUTO: o robô pode ser operado à sua velocidade máxima ou inferior. Os programas podem ser iniciados pela consola de programação ou por via remota, um PLC por exemplo. Neste modo as emergências de portas já não são ignoradas pelo robô.

Este robô, neste sistema, tem como objetivo a extração de 16 peças de uma máquina de injeção de plásticos e a sua colocação numa estrutura de montagem. As 16 peças são divididas em 8 peças machos e 8 peças fêmea. Para isto foi desenvolvido um atuador final, apresentado na Figura 5.9, que conseguisse corresponder à função. O atuador final divide-se em 2 partes. Uma parte é composta por 8 pinças *Schunk* MPG 32 AS que são encarregues de agarrar as peças fêmeas na extração. Já a outra parte é constituída por 8 guias que enquadram as peças macho durante o avanço dos extratores da máquina de forma às peças não

caírem durante a extração. Depois de guiadas, as peças macho, são agarradas por 8 pinças *Schunk* MPG 32 AS.

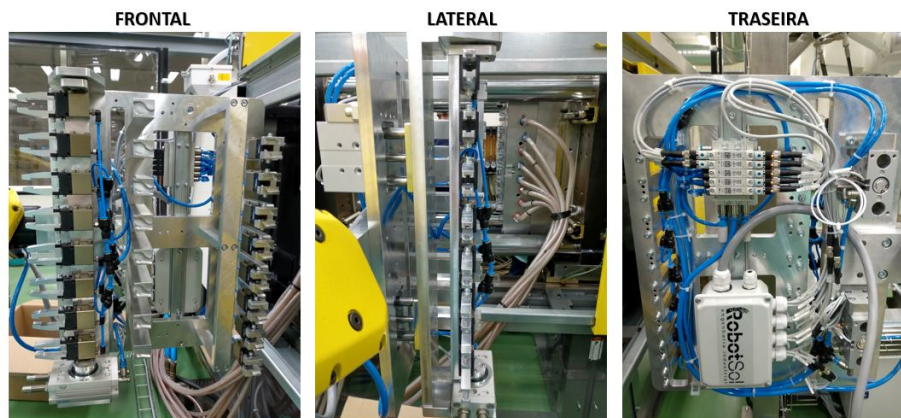


Figura 5.9: Perspectivas do atuador final. Da esquerda para a direita: vista frontal (garras do lado esquerdo estão encarregues de agarrar as peças macho e as garras do lado direito estão encarregues de agarrar as peça fêmea), vista lateral, vista traseira.

Para realizar o fecho das 16 pinças presentes no atuador final e o avanço e rotação das 8 pinças *Schunk* é utilizada alimentação pneumática. O robô possui uma entrada para alimentação na sua base estando a sua saída colocada no terceiro eixo de forma a eliminar possíveis ligações que interferissem com o movimento do robô. Desta forma só existe uma ligação pneumática à base do manipulador e outra do terceiro eixo até ao atuador final alimentando as eletroválvulas.

No atuador final do robô estão presentes cinco eletroválvulas. Duas eletroválvulas, da marca Festo modelo VUVG-BK10-B52-T-F-1R8L-S, são biestáveis, ou seja, têm dois estados. Neste caso uma tem como objetivo atuar o cilindro rotativo, marca Festo modelo DRRD-20-180-FH-Y14A, das garras que estão encarregues de agarrar as peças macho. Estas podem estar no estado rodado para fora do atuador final (0°) ou no estado de rodadas para dentro do atuador final (180°). A segunda eletroválvula biestável faz avançar e recuar dois cilindros, da Festo modelo DFM-20-30-P-A-GF, em sincronismo das garras das peças macho. O seu estado pode ser avançado ou recuado. Estes dois cilindros foram denominados de cilindro 1 e cilindro 2 para serem diferenciados. As restantes três eletroválvulas, modelo VUVG-BK10-M52-AT-F-1R8L-S da marca Festo, são monoestáveis, isto é, só têm um estado. As três estão encarregues de abrir as garras do atuador final. Quando é enviado o sinal lógico alto as garras abrem, caso contrário fecham-se. Existem três pois uma realiza a abertura das garras das peças fêmea, outra a abertura de um grupo de quatro garras das peças macho e, por último, a restante abre as restantes quatro garras das peças macho. As

peças macho encontram-se divididas em dois grupos de quatro pois a colocação das peças macho será realizada em dois grupos de quatro separadamente. As eletroválvulas encontram-se na parte traseira do atuador final como demonstrado na Figura 5.10.

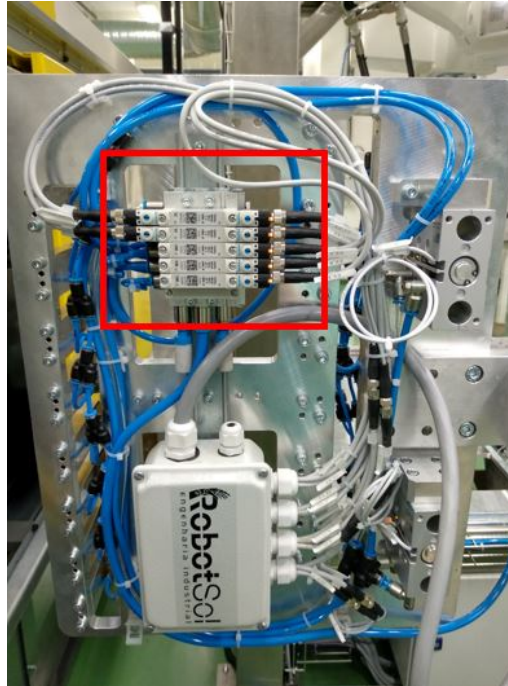


Figura 5.10: Dentro do retângulo vermelho encontram-se as eletroválvulas do atuador.

Este robô industrial possui uma conexão denominada por *End Effector*, que traduzido significa atuador final. Esta conexão tem como função a ligação da garra do robô situando-se no terceiro eixo do robô. É uma conexão que possui 24 pinos, que estão divididos da seguinte forma:

- 8 pinos de entradas;
- 8 pinos de saídas;
- 1 pino de mão avariada. Sinal de colisão da garra, quando algum circuito se abre por um impacto. É um contacto normalmente fechado;
- 1 pino de pressão de ar anormal;
- 4 pinos de 24 V;
- 2 pinos de 0 V.

Nesta conexão são utilizadas seis entradas. Estas seis entradas são sensores de posição dos cilindros, marca Festo modelo SIES-8M-PO-24V-0,3-M8D. Os cilindros são atuados pelas eletroválvulas biestáveis. Os seis sensores indicam os seguintes estados: cilindro rotativo 0°, cilindro rotativo 180°, cilindro 1 avançado, cilindro 1 recuado, cilindro 2 avançado e cilindro 2 recuado. Também são utilizadas sete saídas, duas para cada eletroválvula biestável e uma para cada eletroválvula monoestável.

5.4.2 FANUC Roboshot s2000i-150b

A máquina de injeção de plástico presente neste sistema pertence também à FANUC e o seu modelo é o Roboshot s2000i-150b. Esta máquina de injeção é responsável pela produção das peças plásticas. A sua configuração já estava predefinida antes da sua interligação com o sistema.

O processo de injeção da máquina consiste no fechamento do molde e enquanto este se encontra fechado é injetado o material que preenche as cavidades do molde com o formato das pinças. De seguida o molde é aberto e o material já se encontra solidificado. Os extratores do molde avançam de forma a expelirem as peças. Após a extração das peças, os extratores recuam e a máquina encontra-se preparada para um novo ciclo.

Antes de iniciar a primeira injeção é necessário o aquecimento da máquina e do molde. O molde possui internamente canais de água que têm como objetivo o seu arrefecimento ao longo dos ciclos de injeção, logo inicialmente são ligadas as alimentações de água ao molde. De seguida, antes de se iniciar a produção, é necessária a realização de ciclos de injeção para o bom funcionamento da máquina. Nos primeiros ciclos as peças não saem completas e existem falhas no processo de injeção. Geralmente são realizados cinco ciclos de aquecimento antes de se iniciar a produção.

O molde pode ser dividido em duas partes. Na primeira, que é a mais próxima da porta onde entra o robô, estão as cavidades relativas às peças macho e no outro lado encontram-se as cavidades relativas às peças fêmea. No total, em cada injeção são produzidas oito peças fêmea e oito peças macho, o que permite a montagem de oito pinças Kocher.

A máquina de injeção possui uma conexão para a comunicação com um dispositivo externo de extração. O protocolo utilizado na comunicação entre a máquina de injeção e o robô industrial é referida na Sub-secção 5.4.7.

5.4.3 Estrutura de Montagem

O equipamento encarregue da montagem das pinças é uma estrutura constituída por duas bases, apresentadas na Figura 5.11. A base é composta por dois ta-

buleiros, o mais próximo das portas da estrutura é onde são colocadas as peças fêmea e o mais afastado onde são colocadas as peças macho. O robô que realiza a extração é o mesmo que coloca as peças nas bases.



Figura 5.11: Lado esquerdo: na parte superior da estrutura encontra-se o robô encarregue pela montagem e por baixo as bases de montagem. Lado direito: base de montagem: 1 - guias cilíndricas para a peça quando é pousada, 2 - pinos que realizam o fecho das peças, 3 - empurrador para empurrar as peças produzidas para a caixa que se encontra debaixo da estrutura.

As bases são iguais e têm o mesmo funcionamento, que consiste inicialmente na colocação das peças por parte do robô que realiza a extração e de seguida na montagem das peças fêmea nas peças macho através do robô paralelo FANUC M2iA- 3SL, cujas características e estrutura se encontram na Tabela 5.3 [58] e Figura 5.11, respetivamente. Após a montagem realizada pelo robô paralelo são atuados cilindros rotativos de forma a fecharem as peças e é atuado o empurrador com o objetivo de colocar as peças numa caixa que se encontra por baixo da estrutura.

Tabela 5.3: Especificações do robô FANUC M2iA-3SL

Peso	120 kg
Capacidade de carga	3 kg
Repetibilidade	+/- 0,1 mm
Alcance	1130 mm

Cada base é composta por:

- 8 cilindros pneumáticos rotativos, modelo: Festo DRRD-20-180-FH-Y14A

- encarregues pelo fecho das peças;
- 6 cilindros pneumáticos lineares, modelo: Festo DFM-20-30-P-A-GF - quatro são encarregues pela subida e descida das guias de apoio às peças, um para a subida e descida do empurrador e o último pelo avanço e recuo do empurrador;
- 6 eletroválvulas biestáveis, modelo: Festo VUVG-BK10-B52-T-F-1R8L-S - duas são encarregues de atuar os quatro cilindros das guias, duas atuam os cilindros rotativos para o fecho das peças e duas para o movimento do empurrador;

As atuações executadas pelas bases de montagem são geridas pelo PLC.

5.4.4 PLC OMRON NX1P2

O controlador lógico programável utilizado neste sistema pertence à marca japonesa OMRON e é o modelo NX1P2. É utilizado como unidade de controlo do sistema. Comunica com a estrutura de montagem através do protocolo EtherCat e com os robôs industriais através de Ethernet IP.

O controlador possui um papel importante no sistema que consiste na gestão de espaço da célula, isto é, tendo em conta que ambos os robôs interagem com a estrutura de montagem, o PLC realiza a gestão de forma a impedir que ambos os robôs se movimentem para a mesma base, evitando colisões. Isto é conseguido pela troca de sinais que o PLC realiza individualmente com cada robô.

O PLC é responsável pelas seguintes funções na célula:

- arranque em automático de todos os componentes da célula à exceção da máquina de injeção de plástico;
- gestão de segurança do sistema, controlo de botoneiras ou abertura de portas;
- comunicação entre robôs;
- atuação das eletroválvulas das bases de montagem;
- envio e receção de informação proveniente da consola HMI.

5.4.5 Consola HMI OMRON 10

Este sistema de produção possui um equipamento responsável pela interface do utilizador com a célula. Este equipamento é uma consola OMRON de dez polegadas (25,4 cm), representada na Figura 5.12. Esta interface foi programada especificamente para o sistema em questão. Aqui é possível verificar dados e

estatísticas de produção, como o número total de peças produzidas ou individualmente em cada base, peças perdidas, entre outros dados. Também pode ser visualizado o estado atual do sistema e dos seus alarmes, com a informação de ocorrência e de cancelamento dos mesmos.



Figura 5.12: Consola HMI presente no quadro elétrico. Botões da esquerda para a direita: arranque do sistema; paragem do sistema; rearme do sistema.

Na consola é possível realizar uma gestão de utilizadores, adicionando ou removendo utilizadores e configurando níveis de permissão. Existem certas ações que requerem um nível de permissão mínimo. A escolha do modo de funcionamento e das zonas de produção são explicados na Secção 5.5.

5.4.6 Sistema de Segurança

O sistema de segurança da célula é composto por redes de proteção de polycarbonato para impedir o acesso à célula, por portas presentes na traseira da estrutura de montagem, mostradas na Figura 5.13, uma porta da máquina de injeção e uma porta de entrada do sistema com um equipamento de trinco denominado PSENsgate, apresentada na Figura 5.13. Esta encontra-se diretamente ligada à máquina de injeção de plástico assumindo-a como uma porta sua. A PSENsgate é considerada como a porta traseira da máquina enquanto a outra porta da máquina é considerada a frontal. Por fim, no sistema também se encontram presentes botoneiras de emergência. Estas estão situadas no equipamento de trinco da porta PSENsgate, na máquina de injeção e na parte traseira da estrutura de montagem.

A gestão da segurança deste sistema de produção é a seguinte: no caso de uma abertura de portas os robôs param imediatamente e se a porta aberta for a de entrada para a célula a máquina de injeção também para e entra em emergência



Figura 5.13: Na imagem do lado esquerdo encontra-se a PSENsgate e do lado direito as portas de acesso à estrutura de montagem.

devido à sua ligação direta. No entanto, após o fecho das portas o sistema pode recomeçar de onde se encontrava, à exceção da máquina que necessitava de ser colocada de novo em automático caso a porta aberta tivesse sido a de entrada para a célula. No caso de uma botoneira ser pressionada, os robôs param e abortam imediatamente o seu processo.

5.4.7 EUROMAP 67

A comunicação EUROMAP 67 foi desenvolvida com o objetivo de ser uma comunicação com sinais predefinidos entre uma máquina de injeção de plásticos e um dispositivo externo de manuseamento, neste caso, um robô industrial. Consiste na troca de informação via sinais elétricos. Existem vários sinais possíveis de obter com esta comunicação, no entanto cabe ao utilizador escolher os sinais mais apropriados para o sistema. É uma comunicação bidirecional e os sinais provenientes do robô são diferentes dos sinais provenientes da máquina de injeção [59].

No caso deste sistema, os sinais enviados pela máquina de injeção que foram considerados mais adequados para serem recebidos pelo robô estão presentes na Tabela 5.4 [59].

Os canais de emergência são obrigatórios pois se a máquina entrar em emergência por ter sido pressionada uma botoneira, alguma porta aberta ou outra razão, o robô necessita de saber essa informação para não correr o risco de danificar a máquina ou a si mesmo. Os sinais do estado do molde e dos extratores são utilizados na lógica do processo de extração do robô. São utilizados como

Tabela 5.4: Sinais EUROMAP 67 da máquina de injeção para o robô.

PINO	Descrição do Sinal
ZA1/ZC1	Canal de Emergência 1
ZA2/ZC2	Canal de Emergência 2
ZA6	Molde fechado
ZA7	Molde aberto
ZB2	Validação da operação com robô
ZB3	Extratores recuados
ZB4	Extratores avançados

verificações para o robô poder prosseguir o seu algoritmo. Finalmente, o sinal de validação de operação com o robô permite saber se a máquina se encontra em modo automático e, em modo operacional com um dispositivo externo, o manipulador utiliza esta informação como verificação para iniciar o seu ciclo.

Os sinais que o robô envia para a máquina de injeção, presentes na Tabela 5.5 [59], funcionam como informações e outros como autorizações para certas ações da máquina de injeção. Os canais de emergência têm o mesmo funcionamento descrito anteriormente. Os sinais que transmitem informações são: o sinal que informa que o robô não se encontra no molde e este está livre (quando o sinal é colocado a nível lógico baixo pelo robô significa que se encontra perto do molde) e o segundo sinal de informação é o modo de operação do robô com a máquina. Os sinais de autorização enviados pelo robô permitem que a máquina avance e recue o molde, assim como os seus extratores. Sempre que esta tenha a ordem, isto é, se o robô der o sinal de autorização de abertura do molde este não abre imediatamente, só irá abrir assim que a máquina necessitar da sua abertura.

Tabela 5.5: Sinais EUROMAP 67 do robô para a máquina de injeção.

PINO	Descrição do Sinal
A1/C1	Canal de Emergência 1
A2/C2	Canal de Emergência 2
A3/C3	Molde livre
A6	Autorização do fecho do molde
B2	Modo de operação com robô
B3	Autorização do recuo dos extratores
B4	Autorização do avanço dos extratores

5.5 Funcionamento da Célula

Sendo um dos requisitos do sistema a flexibilidade, foram desenvolvidos quatro modos de funcionamento que o utilizador pode escolher. Um dos modos de funcionamento foi criado para uma situação em que o operador necessite de realizar manutenção à célula, e os três restantes foram desenvolvidos para os três modelos diferentes de peças a produzir.

Os quatro modos de funcionamento são os seguintes:

- **Modo de manutenção:** ao escolher este modo ambos os robôs se dirigem para uma posição predefinida de modo a que possa ser realizada manutenção na célula. Só quando o sistema é parado e é carregado outro modo é que os robôs se encontram autorizados a sair da sua posição.
- **Modo de produção do tipo de peça 1:** ao ser carregado este modo o robô responsável pela extração das peças verifica se a máquina se encontra com o molde aberto e em modo automático. Com isto, o robô inicia o código responsável pela extração das peças. De seguida, após a extração, verifica qual a base em que deve colocar as peças extraídas. O PLC envia a informação para o manipulador e este coloca as peças na base pretendida. Ao sair da base depois de ter colocado as peças dirige-se à máquina para mais um ciclo de extração, enquanto o robô presente na mesa de montagem monta as peças colocadas.
- **Modo de produção do tipo de peça 2:** este modo funciona da mesma forma da produção do tipo 1 com a diferença dos movimentos realizados para extração e colocação das peças. Estes movimentos são realizados para a produção do modelo da pinça Kocher de 19 cm.

- **Modo de produção do tipo de peça 3:** este modo funciona da mesma forma da produção do tipo 1 com a diferença dos movimentos realizados para extração e colocação das peças. Estes movimentos são realizados para a produção do modelo da pinça Kocher de 24 cm.

Inicialmente, para o arranque e o funcionamento da célula, é necessário o utilizador escolher em que base da mesa deseja operar, podendo ser só numa ou em ambas, e o número de pinças a produzir em cada mesa. Estas escolhas são definidas na consola HMI. Após a sua definição o utilizador deve carregar a receita e premir o botão *Start* de forma a dar início ao arranque do sistema.

Com os factos acima apresentados, após a necessidade de melhoria de produção o sistema teve em conta fatores como a extração defeituosa da máquina e o requisito de realizar uma extração e montagem autónoma, para ser desenvolvido. Foi considerado um robô de seis eixos, uma estrutura de montagem com um robô paralelo para a montagem das pinças e um PLC que realiza a comunicação entre robôs. Neste robô de seis eixos utilizou-se o protocolo Euromap 67 de forma a implementar a comunicação com a máquina. Neste sistema foi ainda considerado uma consola HMI que permite uma interface com o utilizador mais personalizada, revelando dados estatísticos e permitindo escolher o modo de funcionamento. Foram também abordados e descritos os modos de funcionamento possíveis para esta célula de produção de pinças Kocher.

Capítulo 6

Implementação do Sistema Robotizado

Este capítulo descreve, de forma cronológica, o procedimento realizado na implementação prática do sistema. Inicialmente foi realizada uma validação do sistema. Após esta validação foi desenvolvida uma simulação da célula e efetuada a programação *offline* do manipulador. De seguida iniciou-se a implementação do sistema, que foi dividida em duas fases. A fase de alguns testes realizados ao sistema antes deste ser instalado no cliente e a fase de implementação e ajustes do sistema após a sua instalação final. São descritos os procedimentos realizados nas duas fases. Por fim é apresentado e descrito o algoritmo final do manipulador industrial, através de fluxogramas e são demonstrados os diferentes ecrãs criados no desenvolvimento da interface do utilizador com o sistema. As variáveis utilizadas na programação do manipulador industrial estão presentes nas tabelas que se encontram no Anexo A.

6.1 Validação do Sistema

Inicialmente, após ter-se desenvolvido a estrutura de montagem e os atuadores finais, foi necessário a validação dos componentes e da disposição da célula. Para esta tarefa utilizou-se o *software* Visual Components devido à sua fácil interação e rapidez de aprendizagem em relação ao *software* da FANUC. No entanto, não foi utilizado na programação *offline* pois é limitado na conversão do código programado no *software* para a linguagem lida pelos robôs FANUC. Procedeu-se à validação dos seguintes aspetos:

- validação do pedestal do robô de extração;

- validação do atuador final do robô de extração;
- validação das posições do manipulador, da estrutura de montagem na célula, de redes de segurança, quadro elétrico e controladores na célula.

Na Figura 6.1 é possível visualizar o *layout* da célula de produção. De forma a aumentar o volume de trabalho disponível e a estabilidade do manipulador este foi colocado num pedestal de 0,25 m. Considerou-se esta medida de forma a que o pedestal não fosse demasiado elevado, causando dificuldades na entrada da máquina de injeção. Através da marcação de pontos dentro da máquina necessários para a extração verificou-se que com um pedestal de 0,25 m o robô conseguia realizar os movimentos sem colidir com nenhum elemento.

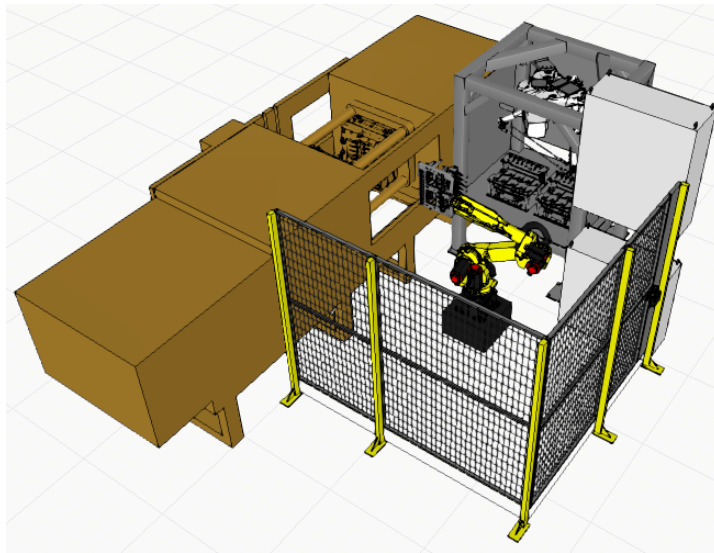


Figura 6.1: Apresentação do *layout* da célula através do programa Visual Components.

A aplicação de extração de peças de uma máquina de injeção por parte de um manipulador implica que o robô se coloque dentro da máquina limitando os seus possíveis movimentos. Sendo um espaço reduzido, uma das tarefas necessárias é a validação das dimensões do atuador final do robô de extração. Na entrada da máquina de injeção existem duas guias cilíndricas, apresentadas na Figura 6.2, para o movimento do molde que limitam a altura da entrada a 0,51 m. O atuador final do robô de extração possui um altura de 0,5 m, portanto como é uma dimensão muito próxima da disponível a verificação foi essencial para a validação da garra. Através da programação de um movimento linear do robô desde a entrada da máquina de injeção até ao seu interior comprovou-se que o

atuador final não colide com nenhuma das guias. No entanto encontra-se a uma distância de 0,005 m para a guia de cima e para a guia de baixo.

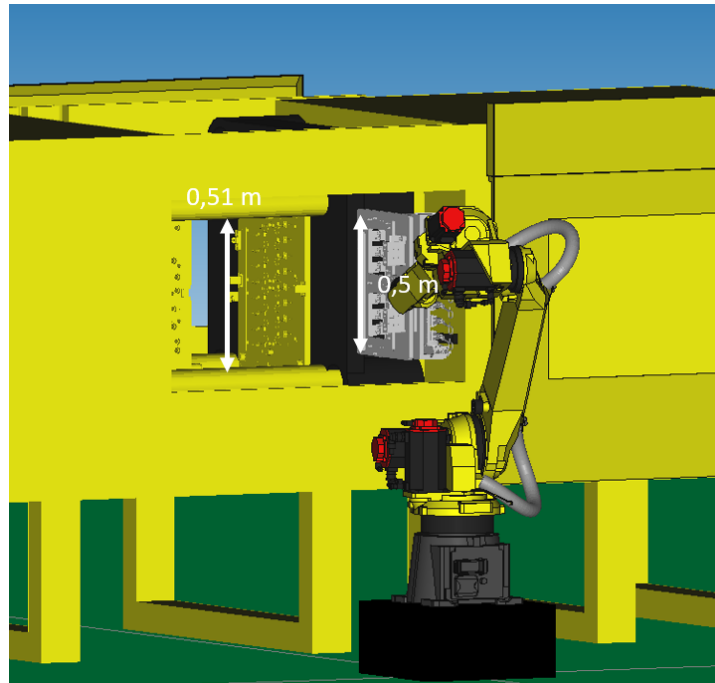


Figura 6.2: Distâncias entre as guias do molde e comprimento do atuador final.

Por fim verificou-se a posição do manipulador relativamente à máquina de injeção e a posição da estrutura de montagem relativamente ao manipulador. Isto porque a máquina de injeção já tinha uma posição fixa, onde já se encontrava instalada. Esta validação foi realizada com a marcação de pontos para as trajetórias realizadas pelo robô e verificando se ocorriam singularidades ou colisões durante o trajeto. Foram então ajustadas as posições dos equipamentos da célula e retirado um *layout* final do sistema, presente na Figura 6.3, que foi cumprido para a montagem real da célula no cliente.

6.2 Programação *Offline*

Realizada a validação do *layout* do sistema procedeu-se à programação *offline* do robô de extração. Para esta tarefa foi utilizado o *software* da FANUC, ROBOGUIDE, com a extensão Handling PRO. Desenvolveu-se a célula de acordo com as distâncias previamente estabelecidas. Neste *software* é possível representar o volume de trabalho do robô, como pode ser observado na Figura 6.4.

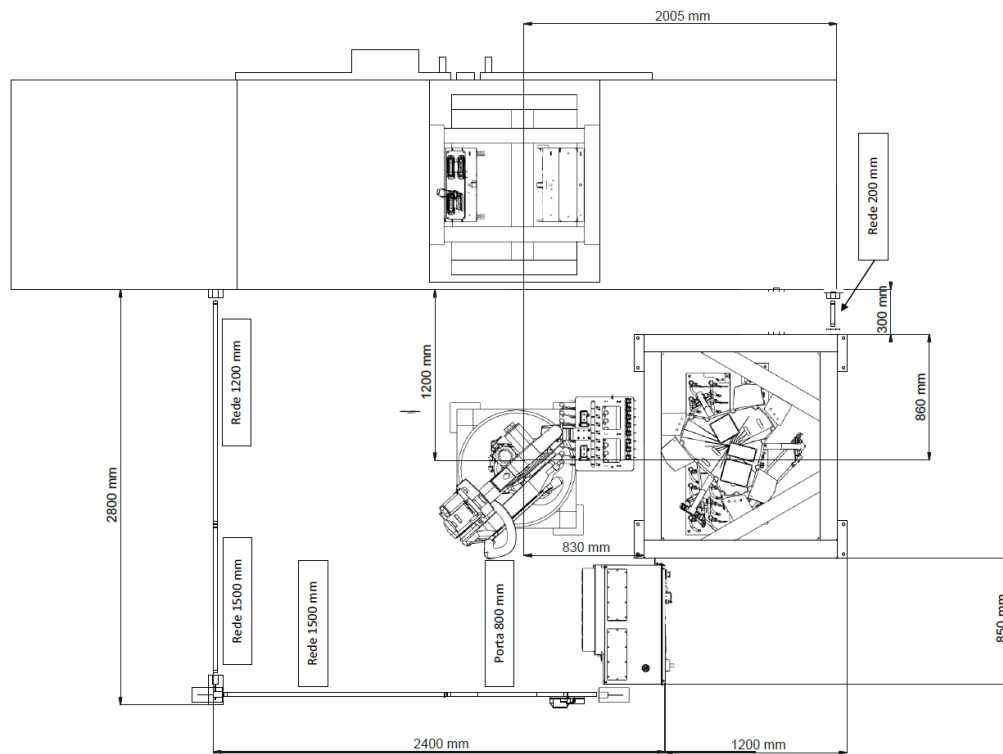


Figura 6.3: *Layout* final da célula.

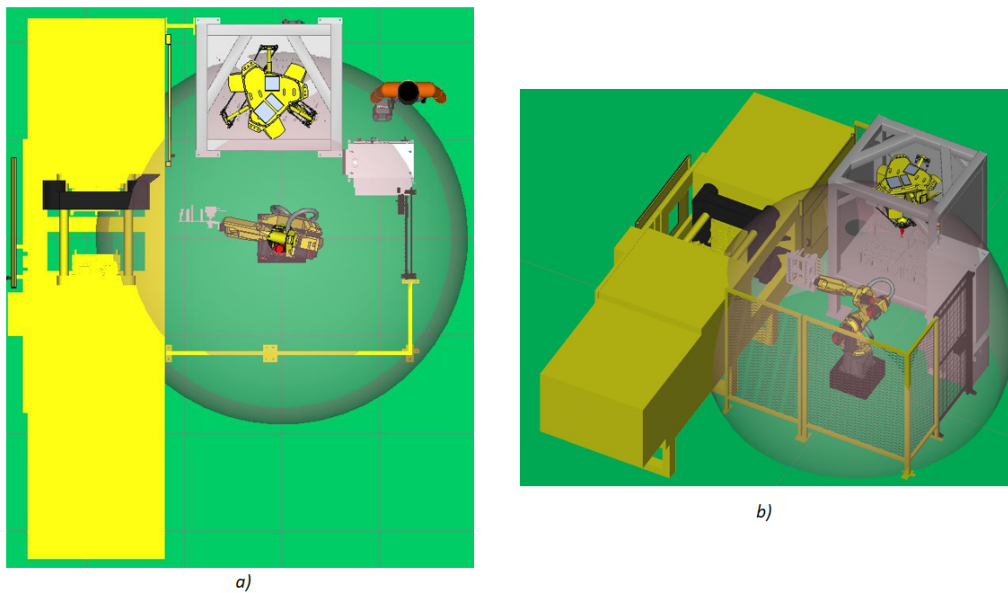


Figura 6.4: Volume de trabalho do manipulador: a) vista de topo da célula; b) vista isométrica.

Durante esta programação foi desenvolvido o algoritmo do robô a utilizar nas suas operações. Inicialmente foram configuradas as variáveis de entrada e de saída do robô que iriam comunicar com o PLC. Apesar de terem sido configuradas 256 variáveis, nem todas foram usadas, pois algumas foram reservadas para futuro uso. A configuração seguiu um *standart* implementado pela empresa. Foi então configurado o seu IP e definida a *rack* 89 (código definido para a utilização do protocolo Ethernet IP nos robôs FANUC) para a troca de informação. Na Figura 6.5 é apresentada a janela de definição do IP do manipulador assim como a configuração dos sinais. Aqui também são configurados os sinais das cartas físicas de entrada e de saída [57].

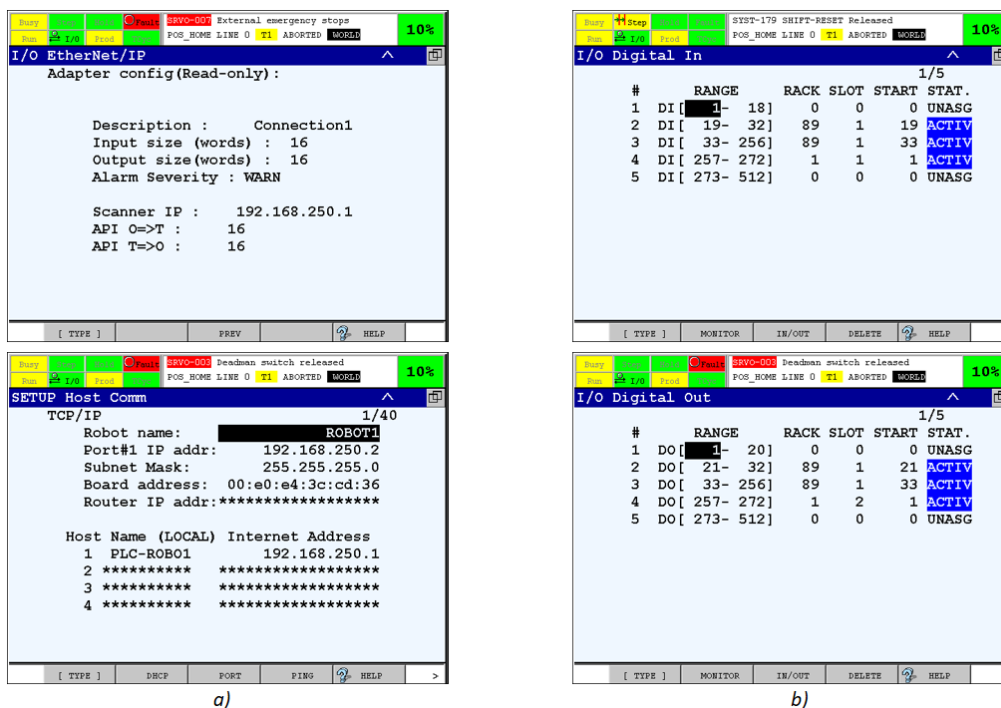


Figura 6.5: a) Configuração do número de *words* a utilizar na comunicação (cima) e definição do IP do manipulador (baixo) ; b) Configuração dos sinais de entrada (cima) e dos sinais de saída (baixo).

Após estas parametrizações foram configuradas as *Uframes* nas bases de montagem onde o robô coloca as peças. Uma *Uframe* é um referencial definido pelo utilizador cujo pontos podem ser marcados relativos esse referencial. Isto é utilizado no caso de uma base de montagem não ser colocada no sítio original. Ao remarcar a *Uframe* no mesmo sítio que marcada a primeira vez na base, todos os pontos relativos à *Uframe* irão ser movidos com o novo referencial. No entanto, por questões de limitação de movimento, não foi definida uma *Uframe* para a

máquina de injeção. De forma a contornar este problema, o departamento mecânico da RobotSol desenvolveu dois centradores removíveis no atuador final que facilitam a marcação do ponto de extração na máquina de injeção. As *Uframes* marcadas nas bases estão representadas na Figura 6.6. Porém, na programação *online* do manipulador é necessário remarcar as *Uframes* de forma a corresponder à realidade e obter uma maior precisão nos pontos marcados. Para a configuração das *Uframes* foi utilizado o método de três pontos. Neste método é marcado um ponto de origem, outro que indica a direção do eixo X e o último a direção do eixo Y.

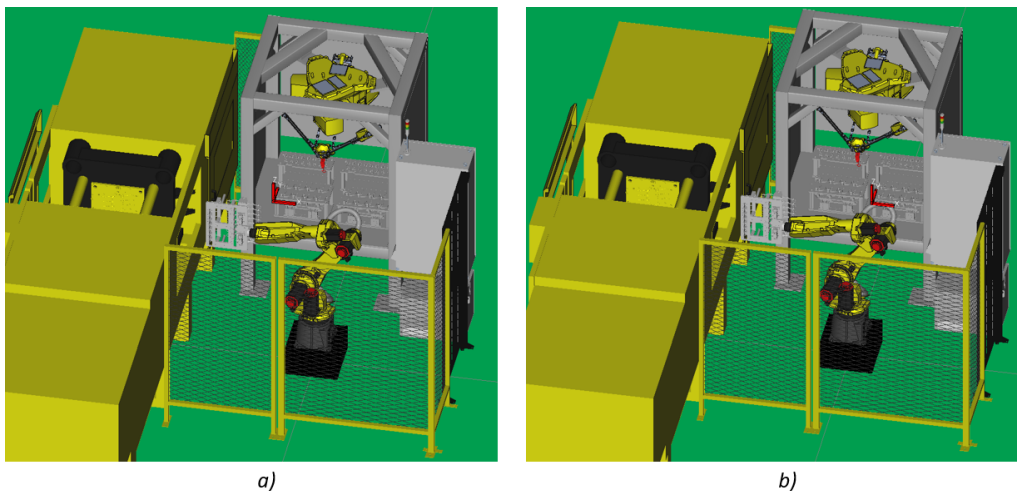


Figura 6.6: a) *Uframe* da base 1 na simulação; b) *Uframe* da base 2 na simulação.

Foi também configurada uma posição de referência nas configurações do manipulador. Ao utilizar esta opção são definidos valores para as juntas com um intervalo de erro predefinido que indicam que o robô se encontra numa posição de referência. Neste caso é utilizado para informar o PLC que o robô se encontra em posição segura e em posição de Home. Na Figura 6.7 pode-se visualizar os parâmetros configurados para a opção.

Com a marcação das *Uframes* e a configuração das variáveis feita procedeu-se à criação dos programas utilizados pelo robô. Inicialmente foram desenvolvidos programas encarregues de realizar ações necessárias ao longo do algoritmos. Estes programas contêm a ativação/desativação de variáveis e verificação do estado de sensores. Os programas desenvolvidos foram os seguintes:

- COND_IN_MAQ: verifica as condições necessárias antes de o robô entrar na máquina e ativa/desativa permissões da máquina;

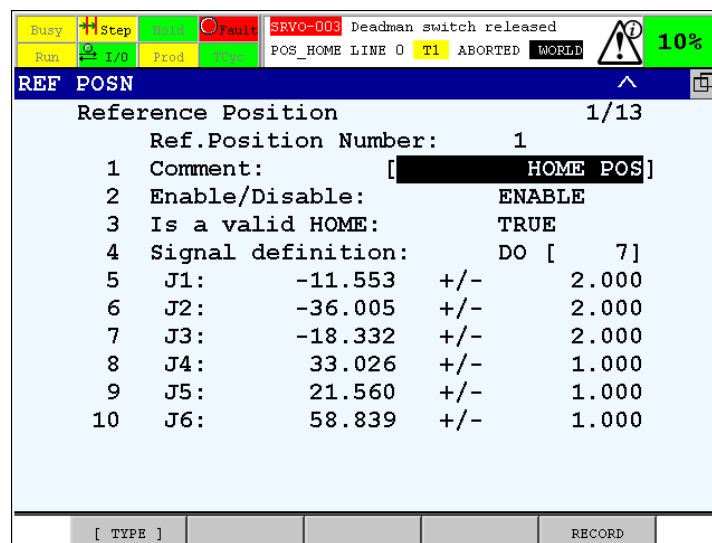


Figura 6.7: Posição de referência.

- COND_OUT_MAQ: verifica as condições necessárias após o robô sair da máquina e ativa/desativa permissões da máquina;
- EJEC_BK: autoriza o recuo dos extratores da máquina de injeção e impossibilita o avanço dos mesmos;
- EJEC_FW: autoriza o avanço dos extratores da máquina de injeção e impossibilita o recuo dos mesmos;
- AV_GARRAS: encarregue pelo avanço das garras responsáveis pelo manuseamento das pinças macho;
- RC_GARRAS: encarregue pelo recuo das garras responsáveis pelo manuseamento das pinças macho;
- CLOSE_GRIPPER_MIMP: encarregue de fechar as garras responsáveis pelo manuseamento do primeiro grupo de quatro pinças macho;
- CLOSE_GRIPPER_MP: encarregue de fechar as garras responsáveis pelo manuseamento do segundo grupo de quatro pinças macho;
- CLOSE_GRIPPER_F: encarregue de fechar as garras responsáveis pelo manuseamento de pinças fêmea;
- OPEN_GRIPPER_M_IMP: encarregue de abrir as garras responsáveis pelo manuseamento do primeiro grupo de quatro pinças macho;

- OPEN_GRIPPER_MP: encarregue de abrir as garras responsáveis pelo manuseamento do segundo grupo de quatro pinças macho;
- OPEN_GRIPPER_F: encarregue de abrir as garras responsáveis pelo manuseamento de pinças fêmea;
- MODO_MANUAL_MAQ: encarregue de dar as permissões à máquina quando pressionado o modo de robô fora de serviço, na consola HMI, para uma operação manual com a máquina de injeção e de alterar o estado da *flag* de primeiro ciclo.

O programa MODO_MANUAL_MAQ é utilizado como lógica de fundo do manipulador industrial, ou seja, este programa foi configurado para se encontrar sempre em funcionamento através de uma configuração do robô denominada *Background Logic*.

De seguida foram criados os programas encarregues da extração das peças (CICLO_MAQ) e pela sua colocação nas bases (CICLO_BASE1 e CICLO_BASE2). Os pontos criados nestes programas foram mais tarde ajustados para corresponder à realidade. Recorreu-se a poucos pontos no desenvolvimento destes algoritmos e utilizou-se movimentos por *offsets*. Por exemplo, na rotina de extração foi marcado unicamente um ponto, o ponto onde o robô realiza a extração e os restantes movimentos realizados pelo robô neste ciclo são através de *offsets* de coordenadas desse ponto. Nesta rotina de extração foi também adicionado, o uso da função de *Soft Float*, abordada na Sub-secção 4.1.4. Esta foi removida, por pedido do cliente, pois pensava-se que iria danificar os extratores da máquina de injeção ao longo do tempo. Isto porque os extratores apresentavam uma estrutura pouco robusta e estavam a empurrar o atuador final que tinha um peso considerável em relação aos extratores. Também foi desenvolvida uma rotina denominada POS_HOME que se encarrega de movimentar o robô para uma posição segura a partir de qualquer ponto da célula.

Por fim, com a criação destes programas encarregues de operações específicas foi desenvolvido o programa principal do robô, onde são chamadas as funções previamente criadas com uma lógica definida. Para ser iniciado por um dispositivo externo, neste caso o PLC, este programa tem de possuir o nome específico RSR procedido de 4 algarismos, e foi denominado de RSR0001. RSR é o método de arranque externo realizados pelos manipuladores FANUC. De seguida é também necessário colocar o robô com o arranque em modo remoto. Todos estes passos encontra-se descritos no manual de treino disponibilizado pela FANUC [57].

A descrição do funcionamento do programa principal, do ciclo da máquina e da base encontram-se explicados na Sub-secção 6.4. Os fluxogramas de todos os programas encontram-se no Anexo B.

6.3 Instalação do Sistema

Nesta secção é explicado o procedimento da instalação do sistema final. Esta instalação dividiu-se em duas partes: uma primeira fase foi realizada na empresa RobotSol durante um período curto de 3 dias; a segunda fase trata-se da implementação do sistema no cliente.

6.3.1 Primeira Fase - Pré Cliente

Concluídas as tarefas na simulação iniciou-se a implementação e interligação do sistema. Para o correto funcionamento do manipulador, e por uma questão de segurança, foram realizadas as ligações de alimentação e de emergências ao controlador do robô através do quadro elétrico.

No quadro elétrico estão presentes três relés de segurança da OMRON, dois do modelo G9SE-401 e um G9SE-201. As diferenças entre estes dois modelos estão no seu consumo e no número de saídas de segurança que possuem. O G9SE-401 tem um consumo máximo de 4 W e 4 saídas de segurança enquanto o G9SE-201 tem um consumo máximo de 3 W e só 2 saídas de segurança [60]. Os relés de segurança são normalmente fechados e no caso de ocorrer emergência o circuito é aberto impedindo o fluxo de corrente elétrica. Um relé modelo G9SE-401 é considerado o relé de portas e está ligado às portas localizadas na traseira da estrutura de montagem. O relé G9SE - 201 está conectado à PsenGate, que substituiu o funcionamento da porta traseira da máquina de injeção como explicado na Secção 5.4.6, e está ligado à porta frontal da máquina de injeção (a porta frontal é a porta oposta à que se encontra dentro da célula). A abertura da porta frontal da máquina só afeta o estado do robô de extração, imobilizando-o se for aberta, mas não impede o movimento do robô paralelo. Por fim, o outro relé de segurança G9SE-401 está conectado com duas botoneiras do sistema.

De seguida, nesta fase de implementação foi colocado nas instalações da empresa RobotSol o robô de extração, juntamente com o seu atuador final e a estrutura de montagem com o robô paralelo montado com o seu atuador final. Colocou-se o robô de extração a uma distância da estrutura de montagem semelhante à definida aquando da validação do sistema.

Esta fase foi realizada com o objetivo de efetuar tarefas que poderiam ser realizadas antes da implementação final do cliente. Inicialmente foram verificadas as ligações do cabo de *End Effector*. Através da consola de programação do robô, nas variáveis RI (entradas)/RO (saídas) do atuador final, apresentadas na Figura 6.8, ativaram-se as saídas e verificou-se o comportamento do atuador final assim como a verificação do sinal dos sensores.

De seguida foram transferidos os dados da simulação para o robô de extração. Com a transferência dos dados o robô obteve configurações de rede, variáveis e

#	SIM	STATUS	
RO [1]	U	ON	[RODAR PARA DENTR]
RO [2]	U	OFF	[RODAR PARA FORA]
RO [3]	U	ON	[RECUAR PINCAS]
RO [4]	U	OFF	[AVANCAR PINCAS]
RO [5]	U	ON	[ABRIR FEMEAS]
RO [6]	U	ON	[ABRIR MACHOS PAR]
RO [7]	U	ON	[ABRIR MACHOS IMP]
RO [8]	U	OFF	[]

Figura 6.8: Sinais para a atuação do atuador final.

programas. Com as configurações realizadas, procedeu-se ao teste de comunicação com o PLC, ao ativar variáveis no robô e visualizar os seus valores no PLC e vice versa.

Com estes aspetos verificados executou-se a configuração de carga do robô. A FANUC dispõe de uma opção que realiza uma configuração automática de carga. Através da realização de movimentos nas juntas quatro e cinco determina os valores do centro de massa nos três eixos, assim como o momento de inércia em cada eixo. No entanto, para realizar esta operação foi necessário pesar o atuador final para que a configuração automática conseguisse calcular os momentos de inércia em cada eixo. O peso do atuador final é de 19,7 kg. Os valores obtidos pela configuração estão representados na Figura 6.9. A configuração do peso e dos parâmetros do atuador final aumenta a estabilidade do robô nos seus movimentos.

Nesta fase foi também efetuada a transferência do programa de interface desenvolvido para a consola HMI. Através da comunicação com o PLC foram testadas as diversas ações e informações disponíveis na consola, como por exemplo a leitura correta do estado dos sensores do sistema ou a ativação pela consola de eletroválvulas. Esta interface encontra-se detalhada na Secção 5.4.5.

Por fim foram testados individualmente os programas realizados. Testou-se primeiro o programa responsável pela extração do robô, e para isto, foram simulados os estados dos sinais da máquina de injeção e de seguida foram testados os programas para a colocação das peças nas duas bases. Os programas de colocação foram testados de forma a comprovar na realidade que não existia nenhuma singularidade ou colisão com a distância definida na simulação.

[TYPE]	GROUP	NUMBER	DEFAULT	HELP
Group 1				
1	Schedule No [1]	[GRIPPER1]		
2	PAYLOAD	[kg]	19.70	
3	PAYLOAD CENTER X	[cm]	-9.50	
4	PAYLOAD CENTER Y	[cm]	-0.79	
5	PAYLOAD CENTER Z	[cm]	17.26	
6	PAYLOAD INERTIA X	[kgfcms ²]	11.69	
7	PAYLOAD INERTIA Y	[kgfcms ²]	6.50	
8	PAYLOAD INERTIA Z	[kgfcms ²]	6.49	

Figura 6.9: Valores obtidos na configuração da carga do manipulador industrial.

6.3.2 Segunda Fase - Cliente

Por fim o sistema foi instalado no cliente. Nesta fase foram realizados os ajustes finais ao sistema, assim como os testes de comunicação do robô de extração com a máquina de injeção.

Com a máquina já presente no sistema, foi efetuada a ligação elétrica da comunicação EUROMAP 67. O protocolo de comunicação EUROMAP 67 troca a informação entre o robô e a máquina de injeção através de sinais elétricos. Cada sinal tem um pino correspondente na ficha que é conectada à máquina [59].

Após as ligações estarem realizadas foram testadas. Ativou-se o modo manual da máquina e através do robô de extração foram dadas todas as autorizações e informações que este podia fornecer. No painel de interface da máquina verificou-se que essas autorizações foram corretamente enviadas pelo robô e procedeu-se a testes de avanço e recuo do molde e dos extratores. Ao mesmo tempo que se realizavam estes movimentos, através das variáveis de entrada do robô, validaram-se os sinais.

Com o sistema já colocado com as distâncias corretas, procedeu-se à marcação das *Uframes* do robô nas bases de montagem. Foram marcadas duas no total, uma em cada base. Devido ao atuador final apresentar uma forma complexa, foi colocada uma ponteira como apresentado na Figura 6.10. Após a colocação da ponteira realizou-se a configuração da ferramenta, em inglês *Tool Center Point* (TCP). Foi utilizado o método de três pontos para esta configuração. Foram marcados três pontos com diferentes orientações do atuador final à volta da ponta de um objeto pontiagudo. Os seus valores estão representados na Figura 6.10.

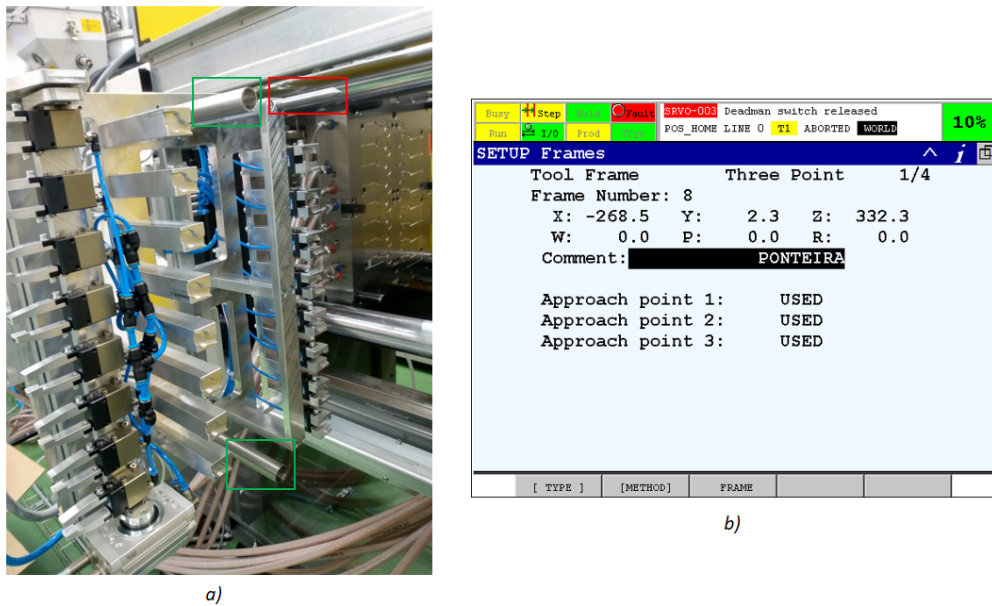


Figura 6.10: a) No retângulo vermelho encontra-se a ponteira utilizada para a marcação das *Uframes* e nos retângulos verdes os centradores utilizados para facilitar a marcação do ponto de extração; b) valores obtidos da configuração do TCP.

De seguida foram ajustados os pontos de acordo com a realidade. Moveu-se o robô para as localizações necessárias e atualizou-se o valor das coordenadas do ponto. Os programas desenvolvidos, neste caso o programa de extração CICLO_MAQ e os programas de colocação das peças CICLO_BASE1 e CICLO_BASE2, foram desenvolvidos com o menor número de pontos possíveis. Isto quer dizer que foram marcados os pontos necessários para as suas funções e os restantes movimentos efetuados nos programas são através de *offsets* desses mesmos pontos. Isto serve para minimizar o tempo de ajuste de pontos no sistema.

Por fim, nesta fase, após as ligações estarem realizadas, e *Uframes* e pontos atualizados, foram criadas duas áreas de trabalho através da função *Space Function* da FANUC [57]. Esta função tem como objetivo a definição de um espaço no volume de trabalho do robô, de uma variável de entrada (DI) e uma variável de saída (DO). Para o robô entrar no espaço definido necessita que a variável de entrada definida se encontre a nível lógico alto (ON). Este, ao entrar no espaço, coloca a variável de saída DO a nível lógico baixo (OFF). Esta função foi utilizada pelos dois robôs do sistema e foi definido um espaço de trabalho para cada base de montagem, ou seja dois ao total para cada robô. Estes têm como objetivo impedir o movimento de um robô no espaço de trabalho quando o outro

já se encontra nele. É utilizado como medida de prevenção para a colisão entre os dois robôs. Na Figura 6.11 observa-se através da simulação o espaço definido, visto que na realidade é mais complicado ter uma noção do espaço criado.

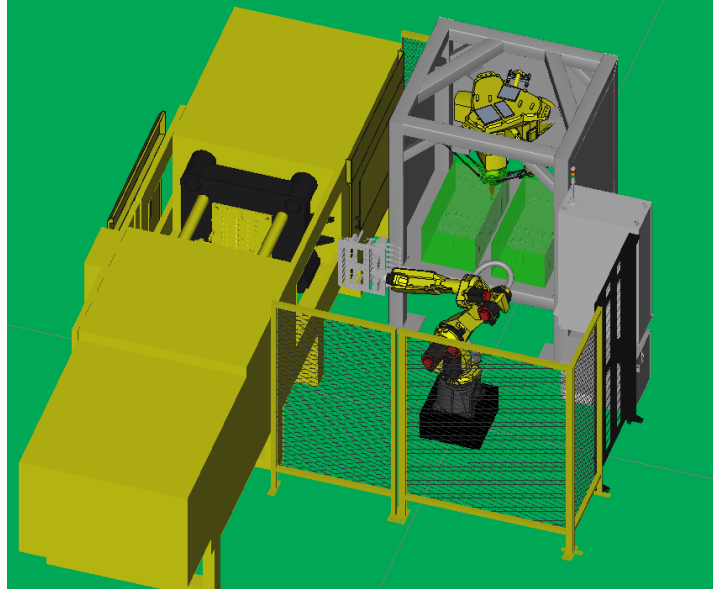


Figura 6.11: Espaços de trabalho criados para o manipulador que coloca as peças na base.

6.4 Algoritmo

Nesta secção são apresentados parte dos fluxogramas de alguns dos programas desenvolvidos. Os fluxogramas desenvolvidos abordam, de uma forma geral, a lógica do algoritmo sem referir especificamente as variáveis utilizadas. Inicialmente será apresentado e descrito o programa principal, de seguida é abordado o programa encarregue da extração das peças e o programa desenvolvido para a colocação das peças nas bases de montagem. Por fim são explicados programas mais curtos, como as condições de entrada e de saída da máquina. Nestes últimos programas não são apresentados os seus fluxogramas.

O fluxograma do ciclo principal para o funcionamento do manipulador encontra-se dividido em diferentes figuras devido ao seu comprimento extenso. O fluxograma do início do programa encontra-se representado Figura 6.12.

Nesta figura, logo após o início, à sua direita, encontra-se o número 1 dentro de um círculo. Este número representa a ligação para a Figura 6.18. Inicialmente no programa é chamada a rotina encarregue da movimentação do robô para uma posição definida segura. De seguida são realizadas as inicializações do sistema.

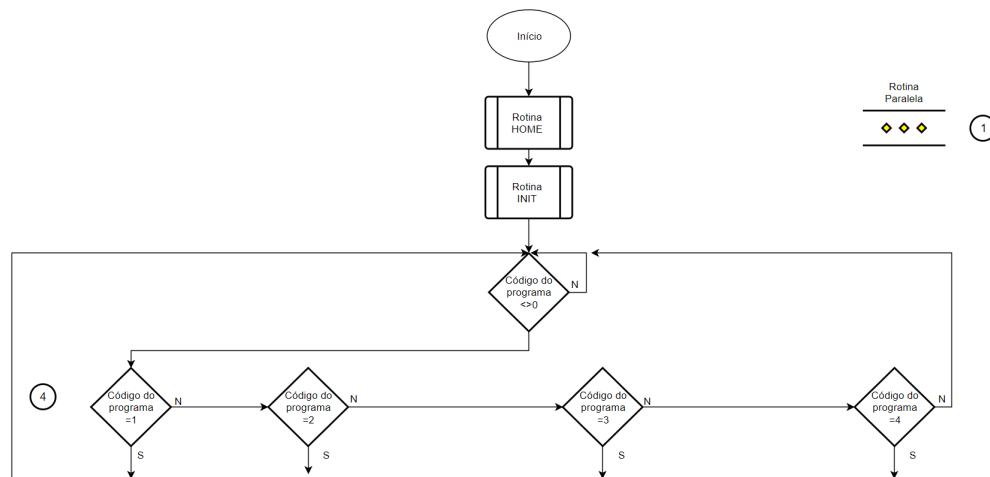


Figura 6.12: Início do programa principal do manipulador.

Nas inicializações são dadas as permissões para um ciclo de injeção da máquina e informações de que o robô não se encontra na estrutura.

Depois é verificado o código do programa. Este código é um número inteiro que varia no intervalo de $[0; 4]$. Se o seu valor for zero, o código permanece preso em *loop* até receber outro valor. No caso de receber o valor 1 é considerado o modo de funcionamento de manutenção e o robô é direcionado para uma posição definida de segurança. Caso sejam os valores 2, 3 e 4 são iniciados os modos de funcionamento de produção de pinças Kocher. Os modos de funcionamento dos valores três e quatro foram desenvolvidos tendo como base o modo de funcionamento para peça de 13 cm, cujo código enviado tem o valor um. No entanto não foram testados na sua implementação devido à não existência dos componentes necessários para tal. Serão só apresentados os fluxogramas para os valores 2, 3 e 4 pois no caso do valor 1 é simplesmente chamada a rotina que move o robô para segurança e até que o código do programa apresente um valor diferente de 0 ou 1.

Na Figura 6.13 está representada a parte inicial do fluxograma da rotina para a produção do modelo de 13 cm. Nesta figura pode-se visualizar a lógica antes da entrada do manipulador na máquina.

Antes da verificação das condições para a entrada do manipulador no molde são abertas as garras do atuador final, as garras encarregues das peças macho são rodadas para dentro do atuador e estas são recuadas. De seguida são analisadas as condições necessárias antes da entrada do robô na máquina. Para o robô entrar na máquina é necessário que o molde se encontre aberto, a máquina esteja em modo operacional e que a *flag* de primeiro ciclo se encontre a nível lógico baixo. Esta *flag* serve para evitar a entrada do manipulador na máquina quando este é

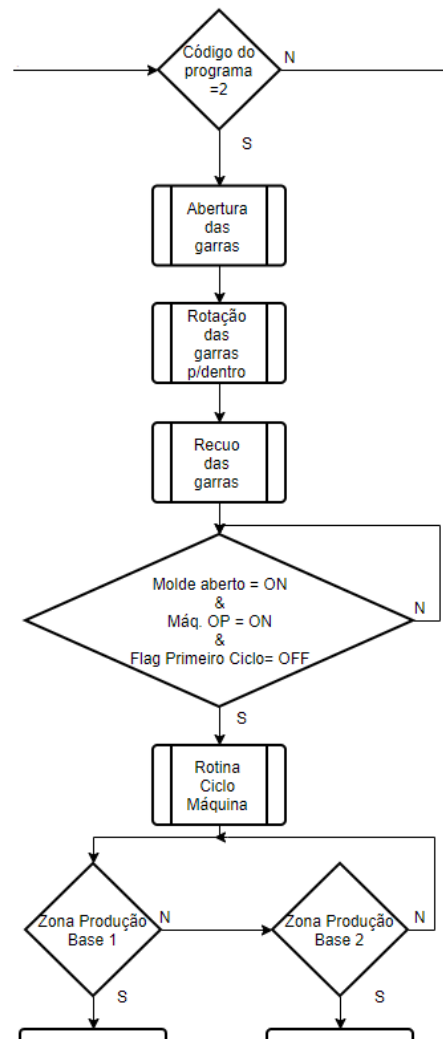


Figura 6.13: Início da rotina para a produção do modelo de 13 cm.

colocado pela primeira vez em automático e a máquina se encontra com o molde aberto e sem peças produzidas. Verificadas estas condições o robô inicia o ciclo da extração das peças. Quando acaba verifica qual a base em que deve colocar as peças.

De seguida na Figura 6.14 é apresentada o resto da sequência da rotina de produção do modelo de 13 cm. Como pode ser observado, a lógica utilizada é igual independentemente de qual base é escolhida. A única diferença são as variáveis a usar, mas apesar de serem diferentes executam a mesma função.

Após a informação da base para colocar as peças, o robô realiza o pedido de acesso à base. O manipulador aguarda pela resposta do PLC. Quando este lhe envia sinal a informar que a base se encontra disponível e o robô paralelo não se

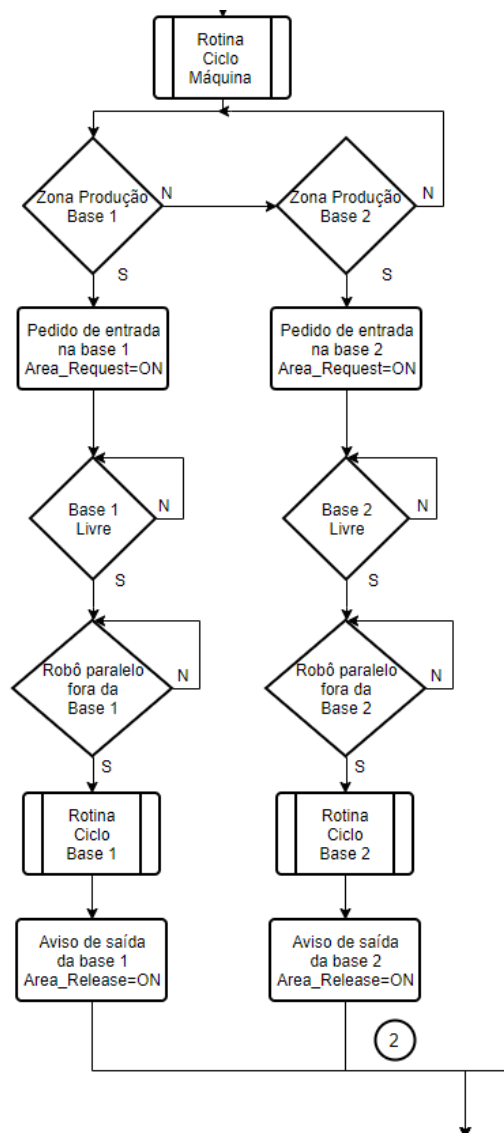


Figura 6.14: Segunda parte da rotina para a produção do modelo de 13 cm.

encontra nela, o robô industrial realiza a rotina para a colocação das peças. Por fim, quando termina esta rotina informa o PLC que já não se encontra na base e retorna ao início para verificar o código do programa. O número 2 indica o final desta rotina e a ligação ao final da rotina principal, como observado na Figura 6.17.

Na Figura 6.15 é visualizado o fluxograma da primeira parte do programa para a produção do modelo de 19 cm, cujo código de programa é o valor 3. A lógica é exatamente igual para a produção do modelo de 24 cm e por isso não será apresentado um fluxograma para este modelo. Na produção destes

dois modelos será só utilizada uma base de montagem. Nesta figura é possível observar a semelhança com a primeira parte do programa para a produção do modelo de 19 cm, sendo realizadas as mesmas operações antes da entrada na máquina. Este algoritmo foi desenvolvido antes do completo desenvolvimento dos atuadores finais para estes modelos. Por isso pode ser necessário realizar alterações ao mesmo aquando da sua implementação.

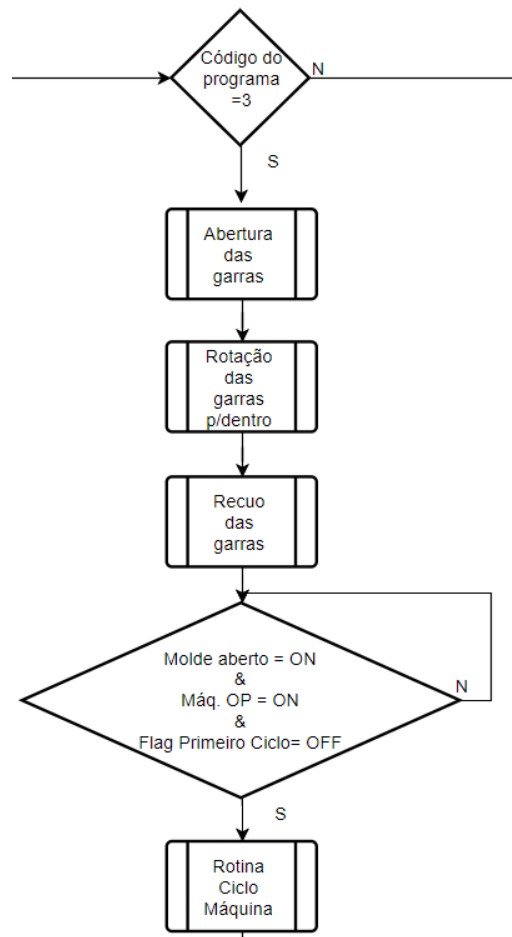


Figura 6.15: Início da rotina para a produção do modelo de 19 cm.

De seguida, na Figura 6.16 é apresentada a continuação da figura anterior. Neste caso, como só existe uma base, o manipulador industrial não tem que receber a informação de qual base deve escolher. Assim realiza os mesmos procedimentos e verificações que no modelo de 13 cm para colocar as peças na base e ao sair avisa também o PLC de que se encontra fora da base. O número 3 indica a ligação à Figura 6.17.

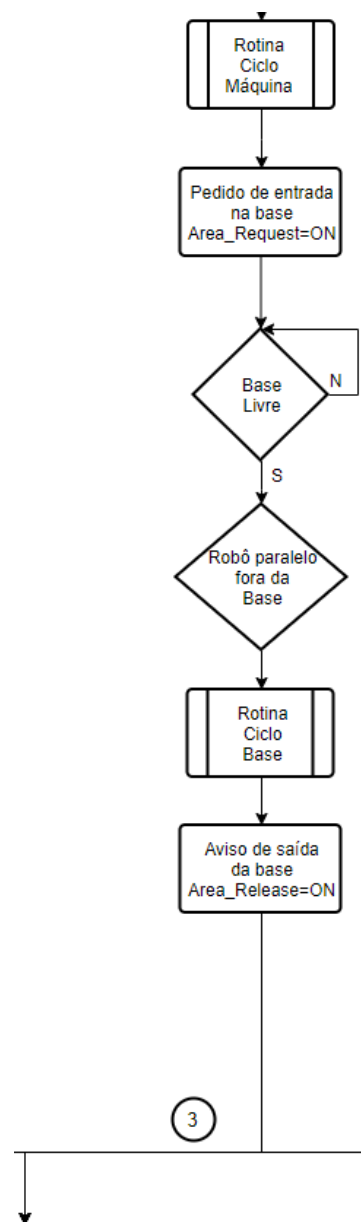


Figura 6.16: Segunda parte da rotina para a produção do modelo de 19 cm.

Por fim, na Figura 6.17, está representado o fim da rotina principal. É verificado se existe um fim de produção, se acontecer é enviado um sinal para o robô que termina o seu funcionamento e a sua rotina. Caso contrário irá reiniciar o seu ciclo de produção até o finalizar. Isto é representado pelo número 4 que liga esta imagem à Figura 6.12.

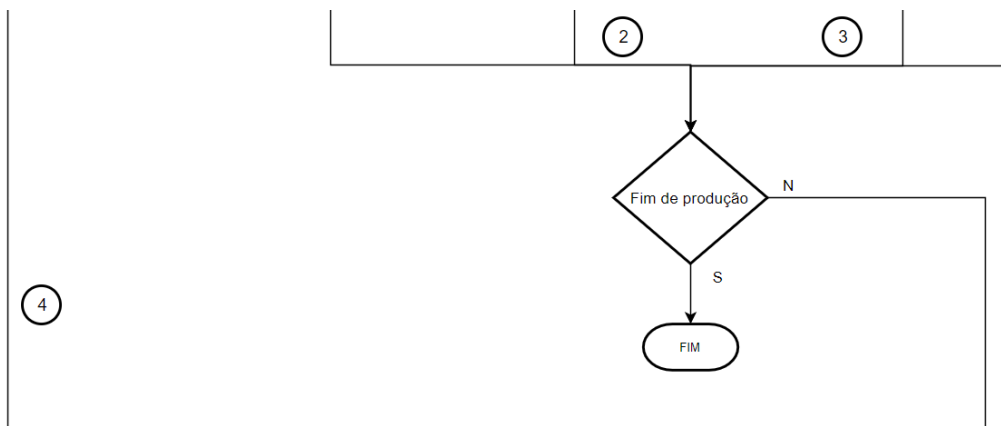


Figura 6.17: Fim da rotina principal.

Ao mesmo tempo que correm os programas do robô existe um programa de fundo, a ser processado, que é a rotina `MODO_MANUAL_MAQ`. Este programa é executado em paralelo constantemente, enquanto o controlador do manipulador se encontrar ligado. A sua lógica está representada na Figura 6.18. Neste ciclo estão presentes três funções. A mais à esquerda verifica se o botão que coloca os robôs fora de serviço foi pressionado na consola HMI. Se sim, o manipulador industrial ativa todas as permissões para a máquina poder ser atuada livremente. A segunda ação é a colocação a nível lógico alto da *flag* de primeiro ciclo quando é desativado o modo automático, isto porque quando o modo automático da máquina for de novo ativado será considerado um novo primeiro ciclo. Por fim coloca esta *flag* a nível lógico baixo se a máquina já se encontra em modo automático e já encerrou o molde. Isto tem como objetivo a entrada do manipulador na máquina pela primeira vez quando esta abre após a sua primeira injeção.

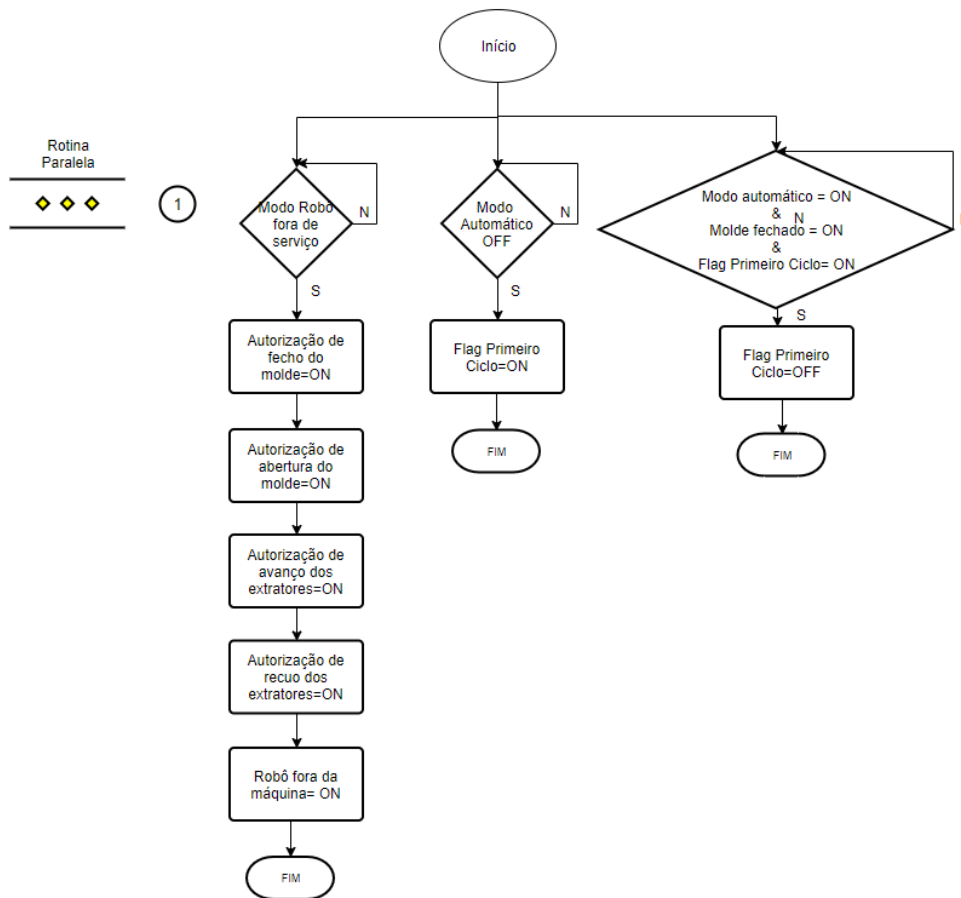


Figura 6.18: Lógica do programa de fundo paralelo.

Por fim, nos ciclos de extração e de colocação das peças, cujo fluxograma se encontra representado na Figura 6.19, o manipulador realiza maioritariamente movimentos. No ciclo de extração antes de entrar na máquina verifica e estabelece as condições de entrada na máquina. Estas condições são a verificação do modo automático e molde aberto. Também informa a máquina de que não tem autorização para fechar o molde e que o robô se encontra dentro dela. Depois quando se encontra no ponto de extração, dá a permissão de avanço dos extratores e recua em movimento de sincronismo, isto é, à mesma velocidade e ao mesmo tempo, realizando um movimento contrário ao dos extratores.

De seguida, as condições de saída da máquina são a autorização de recuo dos extratores, do fecho do molde e da informação que o robô já não se encontra dentro da máquina. De forma a simplificar a visualização do fluxograma, os fluxogramas referentes às condições de entrada e de saída da máquina de injeção encontram-se descritos no Anexo B, na Figura B.2. Já no ciclo da base o manipulador inicialmente envia a informação que se encontra a operar na base, realiza os

movimentos e efetua um pedido para a subida do segundo conjunto de guias das bases para poder colocar o segundo conjunto de peças macho. Por fim sai da base e informa o PLC.

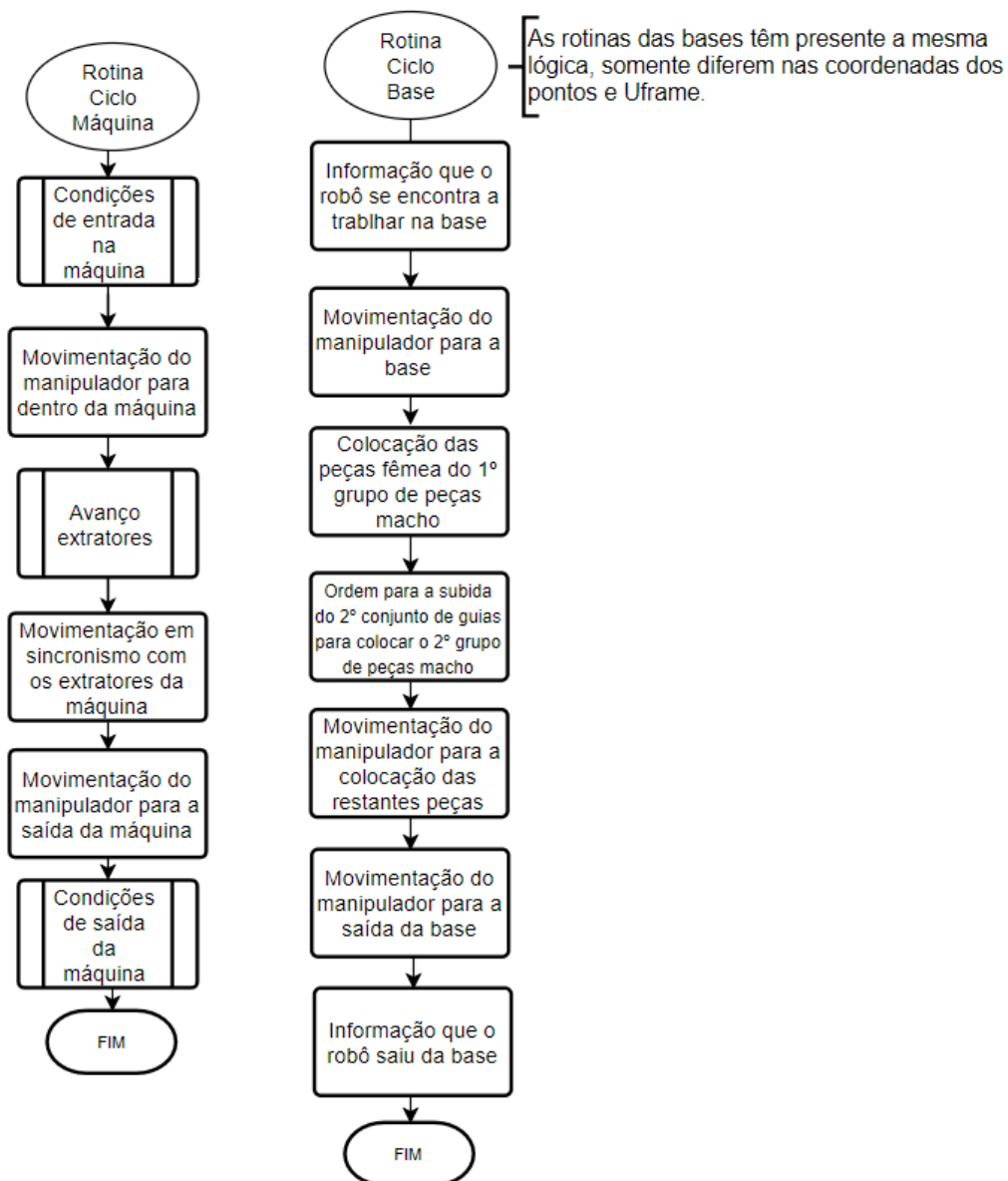


Figura 6.19: Lógica dos ciclos responsáveis pela extração e colocação das peças.

6.5 Interface com o Sistema

Nesta secção pretende-se descrever a funcionalidade de cada janela da consola HMI. Esta foi programada através do *software* NB Designer da OMRON e é utilizada uma programação por blocos. Consegue-se criar utilizadores, associar botões e lâmpadas a registos do PLC e apresentar dados estatísticos.

Nesta consola monitorizam-se alguns sinais da célula, bem como parâmetros do processo na qual a célula está inserida. Algumas das ações existentes na consola requerem um nível mínimo de utilizador.

No ecrã presente na Figura 6.20 é possível visualizar dados de produção da célula, realizar um *reset* aos contadores de produção e visualizar o utilizador atual no sistema.

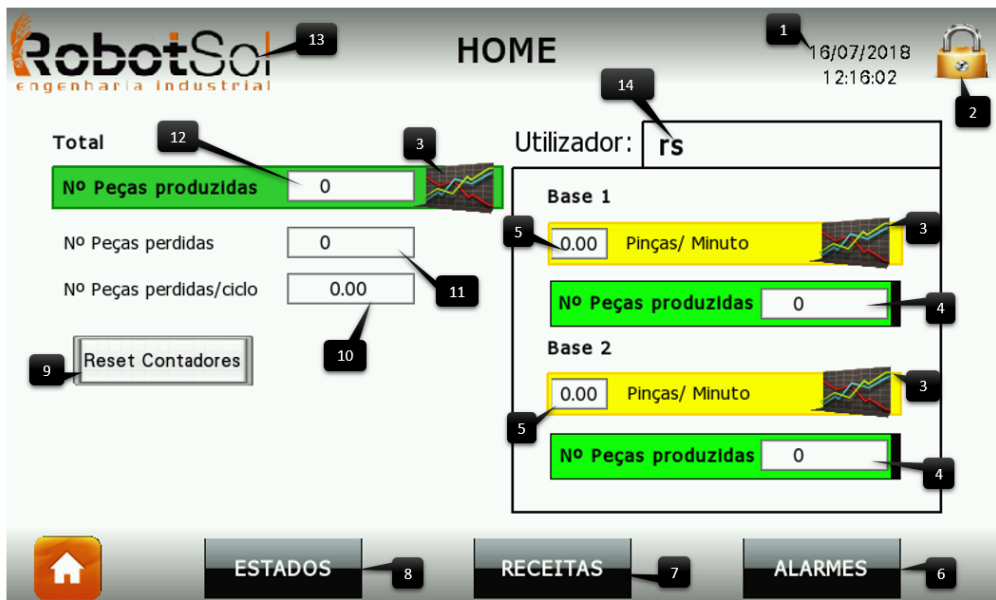


Figura 6.20: Ecrã principal da HMI onde são visualizados dados de produção da célula.

Legenda da Figura 6.20:

1. permite visualizar/ajustar a hora e data atual e ao pressionar é direcionado para uma janela de edição de data e hora;
2. permite mudar de utilizador;
3. permite visualizar gráficos do número de peças totais produzidas, assim como na base 1 e na base 2;

4. indica o número total de peças produzidas, assim como o número de produção em cada base;
5. indica o número de peças produzidas por minuto em cada base;
6. ao pressionar o utilizador é direcionado para a janela de visualização de alarmes;
7. ao pressionar o utilizador é direcionado para a janela de visualização de receitas;
8. ao pressionar é o utilizador direcionado para a janela de visualização do estado do sistema;
9. coloca a zero as informações sobre as quantidades de produção realizadas;
10. indica o número de peças totais perdidas por ciclo;
11. indica o número total de peças perdidas;
12. indica o número de peças totais produzidas;
13. ao pressionar o utilizador é direcionado para a janela de visualização de contactos;
14. indica o utilizador ativo no momento.

Nos ecrãs seguintes, apresentados na Figura 6.21 e Figura 6.22, mostram as janelas onde é selecionado o modo de funcionamento do sistema. As figuras apresentam os três estados que a janela pode assumir. No estado a) o sistema encontra-se à espera que o utilizador pressione o círculo preto de forma a selecionar um modo de funcionamento. No entanto, após escolher o modo de funcionamento é necessário carregar a receita escolhida para o PLC. O rectângulo à direita dos estados a) e b) não tem a receita carregada pois não apresenta os dados como o estado da Figura 6.22 apresenta. No estado b) encontra-se selecionado o modo de funcionamento de manutenção, no entanto a informação ainda não foi transmitida ao PLC. Por fim, no estado da Figura 6.22, o ecrã mostra o estado da janela quando é selecionado o modo de produção e enviada a informação para o PLC.

Legenda da Figura 6.22:

1. permite escolher o modo de funcionamento do sistema;
2. indica o modo de funcionamento escolhido após a receita ter sido carregada;
3. indica a zona de produção escolhida após a receita ter sido carregada;



Figura 6.21: Ecrã onde é realizada a configuração para produção da célula: a) modo de funcionamento não selecionado e informação não enviada; b) modo de manutenção selecionado e informação não enviada.

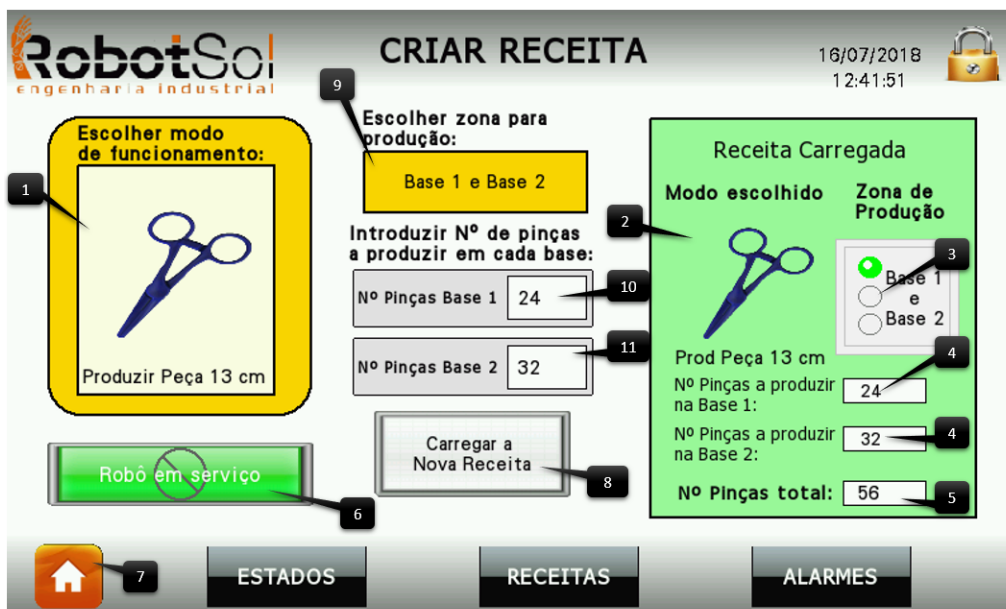


Figura 6.22: Modo de produção da peça 13 cm selecionado e informação enviada.

4. indica o número de peças a produzir na base 1 e na base 2 após a receita ter sido carregada;
5. indica o número total de peças a produzir após a receita ter sido carregada;
6. ativa o modo manual da máquina, desabilitando os manipuladores;
7. ao pressionar o utilizador é direcionado para a página inicial;
8. ao pressionar a receita é carregada para o sistema;

9. permite escolher a zona de produção do sistema;
10. permite escolher o número de peças a produzir na base 1;
11. permite escolher o número de peças a produzir na base 2.

Nos ecrãs seguintes é possível visualizar o estado do sistema assim como estados atuais dos sensores presentes nos componentes do sistema. A Figura 6.23 é a janela geral do sistema que depois é dividida por zonas. Aqui também se consegue verificar o estado do sistema através de uma frase.



Figura 6.23: Ecrã onde é visualizado o estado do sistema.

Legenda da Figura 6.23:

1. indica o estado atual do sistema.
- A. ao pressionar o ecrã, o utilizador irá ser direcionado para uma secção de escolha do estado dos componentes presentes na área pressionada rodeada por tracejado;
- B. ao pressionar o ecrã, o utilizador irá ser direcionado para uma secção do estado da estrutura de montagem onde poderá ser visualizado o estado de cada base individualmente;
- C. ao pressionar o ecrã, o utilizador irá ser direcionado para o estado de segurança do sistema, onde estão representadas botoneiras e portas da célula.

Ao pressionar o campo legendado pela letra A da Figura 6.23, o utilizador irá ser dirigido para a janela a) representada na Figura 6.24. Aqui, ao pressionar nas áreas respetivas, pode visualizar o estado do atuador final do robô de extração, da máquina de injeção e do robô de extração. Como exemplo é apresentada a janela do estado do atuador final na janela b). Os círculos vermelhos representam o estado do sensor. Se se encontrarem a verde significa que o sensor se encontra ativo.

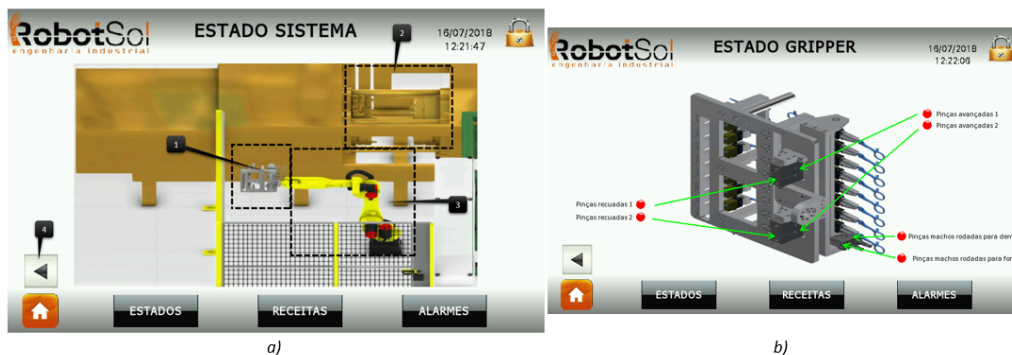


Figura 6.24: a) Ecrã onde é visualizada uma zona do sistema; b) ecrã onde é visualizado o estado do atuador final do robô de extração.

Legenda da Figura 6.24:

1. ao pressionar o ecrã, o utilizador é direcionado para a visualização do estado da garra do robô de extração;
2. ao pressionar o ecrã, o utilizador é direcionado para a visualização do estado da máquina de injeção;
3. ao pressionar o ecrã, o utilizador é direcionado para a visualização do estado do robô de extração;
4. botão para voltar à página anterior.

Ao pressionar o campo legendado pela letra B da Figura 6.23, o utilizador irá ser dirigido para a janela a) representada na Figura 6.25. Aqui, ao pressionar nas áreas respetivas, pode visualizar o estado: do robô paralelo e de cada base de montagem. Como exemplo são apresentadas as janelas do estado da base 1 nas janelas b) e c). Os ecrãs para a base 2 são iguais aos apresentados para a base 1. Os círculos vermelhos representam o estado do sensor. Se se encontrarem a verde significa que o sensor se encontra ativo.

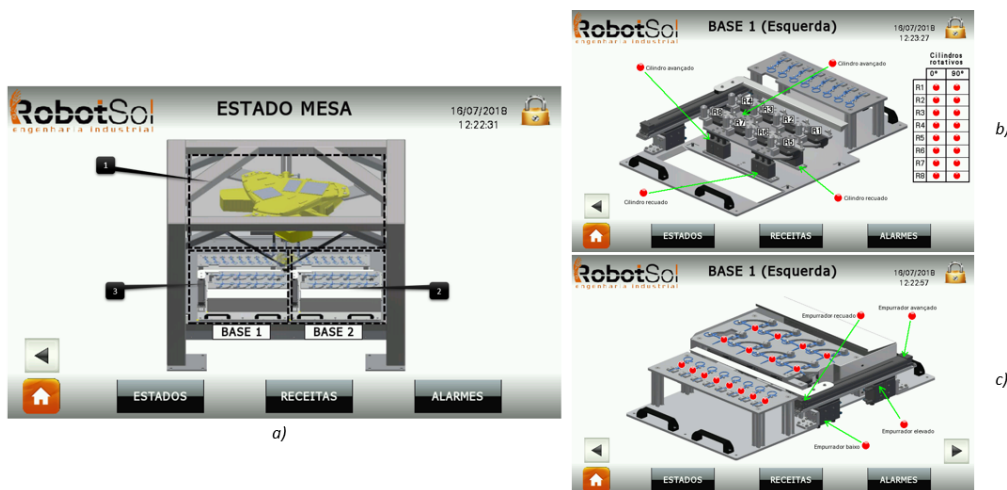


Figura 6.25: a) Ecrã onde é visualizada a zona da estrutura de montagem; b) ecrã que apresenta o estado dos sensores das guias e dos cilindros rotativos da base 1; c) ecrã que apresenta o estado dos sensores de peça e do empurrador da base 1.

Legenda da Figura 6.25:

1. ao pressionar o ecrã, o utilizador é direcionado para a visualização do estado do robô de montagem;
2. ao pressionar o ecrã, o utilizador é direcionado para a visualização do estado da Base 2;
3. ao pressionar o ecrã, o utilizador é direcionado para a visualização do estado da Base 1.

Ao pressionar o campo legendado pela letra C da Figura 6.23, o utilizador irá ser dirigido para a janela representada na Figura 6.26. Neste ecrã são apresentados os estados das botoneiras de emergência e das portas de segurança. Também é apresentada a janela *pop-up* que aparece na ocorrência de uma emergência, neste caso uma botoneira pressionada.

Legenda da Figura 6.26:

1. estado das portas de segurança da célula;
2. estado das botoneiras da célula;
3. aviso *pop-up* que aparece ao ocorrer uma emergência.



Figura 6.26: Ecrã do estado dos componentes de emergência do sistema.

Na Figura 6.27 é apresentado o ecrã que revela a informação sobre todos os alarmes ocorridos no sistema. Nesta tabela é possível visualizar a hora e data de ocorrência do alarme assim como a visualização da sua ocorrência e do seu cancelamento. De lado possui setas para o utilizador se poder movimentar na tabela e um botão que permite limpar os registos da tabela. Os alarmes do sistema e as possíveis resoluções dos mesmos estão presentes no Anexo C.

Data/Hora	Visto	Cancelado	Mensagem
2018/07/16 12:39:20	12:39:25	12:39:20	Pressão insuficiente
2018/07/16 12:39:17	12:39:27		Botoneira de emergência pressionada
2018/07/16 12:39:16	12:39:22	12:39:17	Porta da célula aberta
2018/07/16 12:39:14		12:39:15	Base 1 não encaixada

Figura 6.27: Ecrã que apresenta a tabela com o registo da ocorrência de todos os alarmes do sistema.

Legenda da Figura 6.27:

1. tabela onde os alarmes ocorridos ou que ocorrem no momento são representados. A tabela transmite informação sobre a data e hora de ocorrência

- do alarme, a hora de quando este foi verificado na consola, a hora em que o alarme deixou de ocorrer e a mensagem correspondente a cada alarme;
2. permite andar para baixo e para cima na tabela de visualização dos alarmes;
 3. permite limpar os registos dos alarmes que se encontram na tabela.

Por fim, a Figura 6.28 mostra a janela onde é possível realizar a gestão de utilizadores. Esta janela pode ser acedida após pressionar o logo da empresa RobotSol. Neste ecrã é possível adicionar e remover utilizadores. No entanto, existem dois utilizadores que não são editáveis pois foram predefinidos previamente nas configurações da interface. Para a adição de um utilizador é necessário indicar o seu nome e a sua senha de entrada. De seguida pode ser definido um tempo de *log-off* que representa o tempo que o utilizador se encontra com sessão no sistema sem este ser utilizado. Depois tem que se atribuir um nível de permissão ao utilizador. Este nível de permissão serve para realizar algumas operações que estão limitadas por um nível mínimo de permissão. Para remover um utilizador é simplesmente necessário inserir o seu nome de utilizador, a sua senha e confirmá-la.

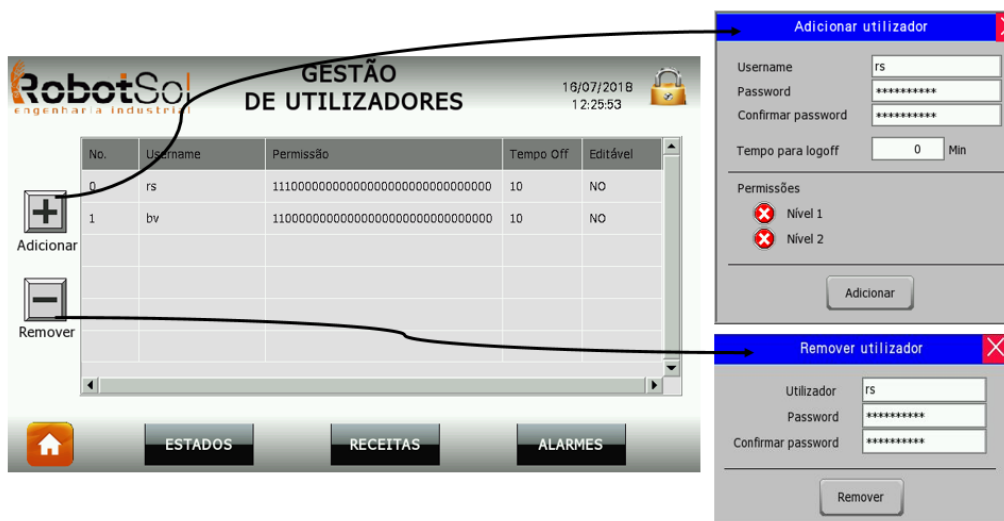


Figura 6.28: Ecrã que apresenta a tabela de utilizadores do sistema.

Concluindo, a implementação do sistema foi dividida em fases de forma a realizar uma implementação mais eficaz no cliente. Para esta implementação foi necessária a validação da célula e dos seus componentes. Estes foram validados com sucesso e foi apresentado um *layout* da célula com as distâncias obtidas para o correto funcionamento do manipulador. Foi apresentado o algoritmo final do manipulador com o uso de fluxogramas e descritas as janelas desenvolvidas na criação da interface do utilizador com a célula.

Capítulo 7

Testes e Resultados

Neste capítulo é pretendido descrever os testes realizados com o objetivo de demonstrar o progresso e o funcionamento do sistema ao longo das suas diferentes fases. Inicialmente são abordados os testes para a validação do sistema e de seguida os testes realizados para a contagem do tempo de ciclo do manipulador. São descritos os processos realizados nos testes e alterações que possam ter sido efetuadas para melhoria de resultados. Por fim são apresentadas estatísticas das tarefas realizadas pelo manipulador industrial e os seus resultados são avaliados.

7.1 Validação de Componentes e Comunicação

No decorrer do projeto foi necessária a realização de testes para a previsão e confirmação do correto funcionamento do sistema. Neste projeto os testes foram iniciados pela validação de certos componentes do sistema, assunto abordado também na Secção 6.1. Aqui foram validados: o atuador final, as posições do manipulador, a estrutura e as redes de segurança.

No caso do atuador final a sua validação estava dependente do movimento do manipulador industrial. Este necessitava de realizar um movimento linear na entrada da máquina de injeção e verificar que não ocorria colisão entre o atuador final e as guias do molde. O resultado desta validação foi bem sucedido, pois através da simulação verificou-se que não ocorria colisão e procedeu-se ao desenvolvimento e construção do atuador final. No entanto, a simulação não chegava como validação final para a garra, pois na realidade poderia existir um obstáculo (não previsto na simulação) que não permitia a entrada do atuador final junto com o robô na máquina. Por isso, quando o robô foi instalado frente à máquina de injeção, à distância definida, realizou-se o teste na célula. Foi então validada de forma final a utilização do atuador final.

O mesmo procedimento foi utilizado na validação das distâncias dos componentes ao robô industrial. Numa primeira instância foi realizada uma validação recorrendo a *software* e quando o manipulador foi colocado às distâncias definidas pela simulação, validaram-se os seus movimentos na realidade. Estas distâncias foram delimitadas tendo em conta que o robô industrial não colidia com nenhum obstáculo, nem encontrava nenhuma singularidade durante o seu movimento. O resultado da simulação foi verificado e validado na realidade, pois as distâncias definidas funcionaram e não criaram nenhum impedimento ao funcionamento do manipulador.

De seguida, quando o sistema foi instalado na empresa RobotSol, antes de ser instalado no seu local final, foram realizados testes de verificações de entradas e saídas e de comunicação com os restantes componentes da célula presentes. No início destes testes verificou-se a transmissão de sinais do atuador final. Foram atuadas as eletroválvulas respetivas e foi visualizado o comportamento da garra. De seguida observou-se o valor transmitido pelos sensores do atuador final e procedeu-se a ajustes em sensores de fim de curso dos cilindros. Alguns sensores não se encontravam ativos no final de curso dos cilindros pneumáticos da garra, como era a sua função. Quanto às atuações das eletroválvulas, estas foram validadas corretamente sem ser necessária a alteração de sinais enviados.

Foi também efetuado nas instalações da RobotSol o teste de comunicação com o PLC. Para isto, primeiro foi necessário realizar a ligação física, utilizando um cabo RJ-45. Após esta ligação e a configuração da rede dos dois lados, foi realizado o comando *ping* através da consola do robô para o IP do PLC. Este comando permitia perceber se os dois equipamentos se encontravam a comunicar. A realização deste comando encontra-se na Figura 7.1.

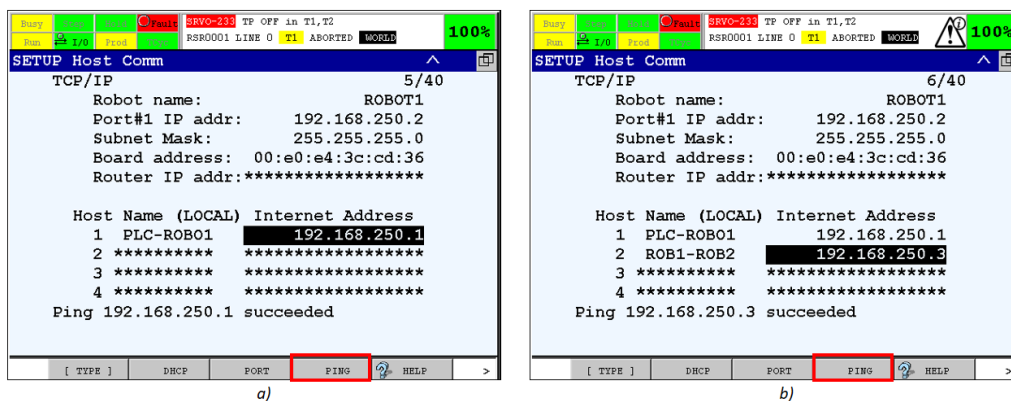


Figura 7.1: a) Teste de comunicação do robô articulado com o PLC; b) teste de comunicação do robô articulado com o robô paralelo.

Após o primeiro teste de comunicação ter sido comprovado e realizado com

sucesso, o segundo efetuado foi através da ativação e desativação de sinais trocados entre os equipamentos. Ao realizar esta operação foi possível visualizar no robô as alterações dos estados das respectivas variáveis que se alteravam no PLC e vice-versa. As variáveis testadas foram as variáveis utilizadas pelo manipulador industrial e indicadas nas tabelas do Anexo A.

Relativamente à verificação do funcionamento da consola HMI, inicialmente procedeu-se de forma semelhante à do robô. Após a configuração da consola na rede, foi realizado o comando *ping* através de um computador conectado ao PLC, de forma a comprovar a comunicação entre o PLC e a consola. Esta comunicação foi validada com sucesso e progrediu-se para a validação dos sinais trocados entre a consola e o PLC.

Os primeiros sinais testados na comunicação entre a consola e o sistema foram os encarregues de atuar a estrutura de montagem. Através de uma janela de modo teste, desenvolvida e restrita pelo nível mais alto de permissão, é possível dar ordens para atuar os cilindros pneumáticos na estrutura de montagem. Esta janela encontra-se representada na Figura 7.2.



Figura 7.2: Modo manual para a atuação dos componentes da estrutura de montagem.

Após a atuação dos cilindros foram verificados os estados dos sensores. Mais tarde, já com o sistema em funcionamento, foram testados os valores dos dados estatísticos de produção que o PLC enviava para a consola.

7.2 Testes de Tempo de Ciclo

Nesta secção são abordados os testes e resultados obtidos na avaliação do tempo de ciclo do sistema. Primeiro foi analisado o tempo de ciclo obtido na simulação.

De seguida, após alterações para redução do tempo de ciclo no sistema real, este foi testado e retirado o valor de tempo de ciclo do robô. Por fim, estes dois valores são analisados e comparados entre si e também é feita uma relação com o valor do processo anterior.

7.2.1 Tempo Simulação

Inicialmente, com a utilização do software ROBOGUIDE, foram visualizados os tempos de ciclo do manipulador. Na simulação é possível obter o tempo total que o robô demora a realizar as rotinas. Este tempo é a soma de dois tempos apresentados pela simulação: o tempo de movimento e o tempo de espera. O tempo de movimento representa o tempo em que o manipulador se encontra em movimento. Já o tempo de espera é o tempo em que o robô realiza funções de espera, como um WAIT. A simulação não engloba aspetos de atrito, assim como tempos da transferência de informação entre o robô e o PLC, ou robô e a máquina de injeção.

O tempo de ciclo do robô retirado na simulação é referente à produção nas duas bases e utiliza o algoritmo desenvolvido antes da implementação real do sistema no cliente. Este algoritmo possui velocidades e pontos diferentes do final. O movimento do robô iniciou-se pela entrada na máquina de injeção e a simulação da extração das peças. Após sair da máquina o manipulador colocou as peças na base mais próxima da máquina. Quando saiu da estrutura de montagem o robô foi de novo à máquina, para a extração das peças seguintes, e colocou-as na outra base de montagem.

Como a máquina na simulação tem como função representar o espaço que esta ocupa, não é contabilizado o seu tempo de processo de injeção. Não foi simulado este tempo de processo, pois quando foi desenvolvida a simulação o tempo de ciclo da máquina de injeção não era um dado conhecido. Para além deste facto, o tempo de ciclo da máquina necessita sempre de ser alterado pelo cliente até este encontrar estabilidade no processo de injeção para a peça que pretende produzir. Portanto, pelas razões acima apresentadas, quando forem comparados os tempos de ciclo reais do sistema, o tempo que o robô espera pela abertura do molde da máquina não será contabilizado, de forma a comparar valores com condições semelhantes.

O tempo de ciclo obtido na simulação encontra-se representado na Figura 7.3, com o valor de 29,40 segundos, e na Figura 7.4 é apresentado o movimento realizado pelo manipulador para esse tempo. Como já foi referido este tempo não engloba tempos de transferência de informação e de atrito. Neste caso o tempo total representa o tempo total de movimento do manipulador, pois em nenhum caso o robô ficou parado à espera de algum sinal, porque as bases de montagem encontravam-se ambas livres e a máquina de injeção não simulava o seu processo.

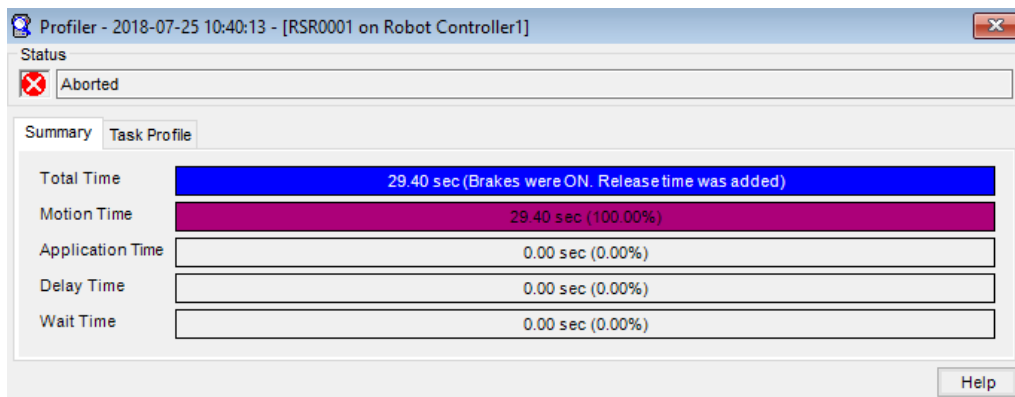


Figura 7.3: Tempo de ciclo do manipulador na simulação.

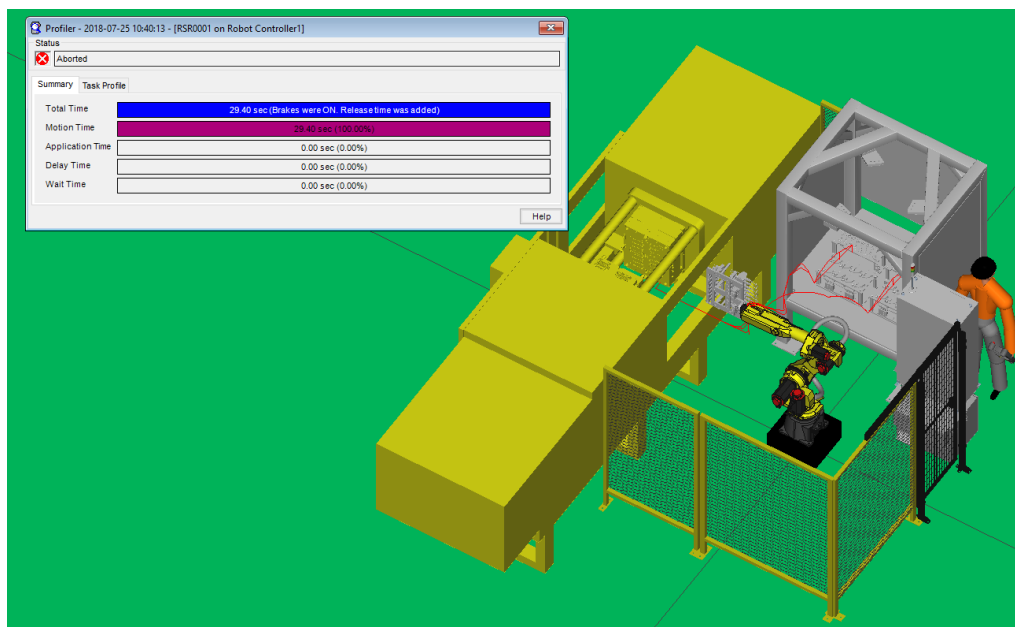


Figura 7.4: Movimento do manipulador na simulação.

O valor de 29,40 segundos representa o tempo em que o robô de extração extrai as peças da máquina e coloca-as nas duas bases, ou seja, um total de 32 peças, que permite produzir 16 pinças finais. Isto representa um valor, aproximadamente, de 7,35 segundos para a produção de 4 pinças finais. Na Secção 7.2.2 são explicados os métodos utilizados para a redução do tempo deste processo na implementação do sistema no cliente.

7.2.2 Tempo Real Sistema

Após a implementação do sistema no cliente, e da colocação do mesmo em funcionamento, foram analisados os tempos de ciclo de extração e colocação das peças pelo manipulador. De forma a criar uma situação idêntica à simulada, ao tempo total contabilizado na extração e colocação nas duas bases foi retirado o tempo que o manipulador espera pela abertura do molde da máquina de injeção.

A rotina que foi mais sujeita a alterações para a redução do tempo de ciclo foi a rotina de extração. Isto porque impedia que a máquina realizasse ciclos enquanto o robô estava dentro da máquina. Quanto menor o tempo da extração mais ciclos a máquina poderia efetuar. O tempo de ciclo obtido na simulação podia ser reduzido, para isso foram então aplicados alguns métodos. Inicialmente aumentou-se a velocidade nos pontos das rotinas. Quando se verificou que o aumento das velocidades de movimento não seria suficiente para a rotina de extração, foi realizada uma redução no número de movimentos da rotina, ou seja, redução do número de pontos. Os pontos retirados foram pontos que não prejudicavam a qualidade da extração nem evitavam colisões ou singularidades do manipulador.

Verificou-se uma redução no tempo de ciclo, no entanto, era pretendido uma redução maior. De forma a alcançar um menor tempo, acrescentou-se um ponto à entrada do molde, com o manipulador já em parte dentro da máquina, para a espera da abertura do molde. Assim, quando este abria o robô já se encontrava perto e pronto para entrar e extrair as peças. Este ponto foi também adicionado à saída do molde para autorizar um novo ciclo de injeção, de forma a não haver tempos desnecessários da máquina.

Com todos estes métodos aplicados conseguiu-se obter um tempo de ciclo de extração e colocação das peças nas duas bases de 26 segundos. Como já referido, este tempo não conta com o tempo de espera do manipulador pela abertura do molde, que neste caso era de 24 segundos, dando um tempo total de 50 segundos. No entanto, o tempo da máquina de injeção não se encontrava otimizado, sendo possível a sua redução por parte do cliente. O tempo obtido para comparação foi de 26 segundos e representa a extração e colocação de 32 peças, que permitem a produção de 16 pinças finas, e o que representa aproximadamente a extração e colocação para 4 pinças finais a cada 6,5 segundos. Na Figura 7.5 é possível visualizar o diagrama de ações para este tempo obtido.

Neste diagrama o tempo de ciclo encontra-se dividido pelas diferentes tarefas do robô. Na figura encontram-se representados dois ciclos. O tempo que o robô espera pela máquina de injeção é de 12 segundos. De seguida o robô realiza a extração das peças em 5 segundos e coloca-as na estrutura igualmente em 5 segundos. Por fim o manipulador demora 3 segundos a sair da estrutura e a

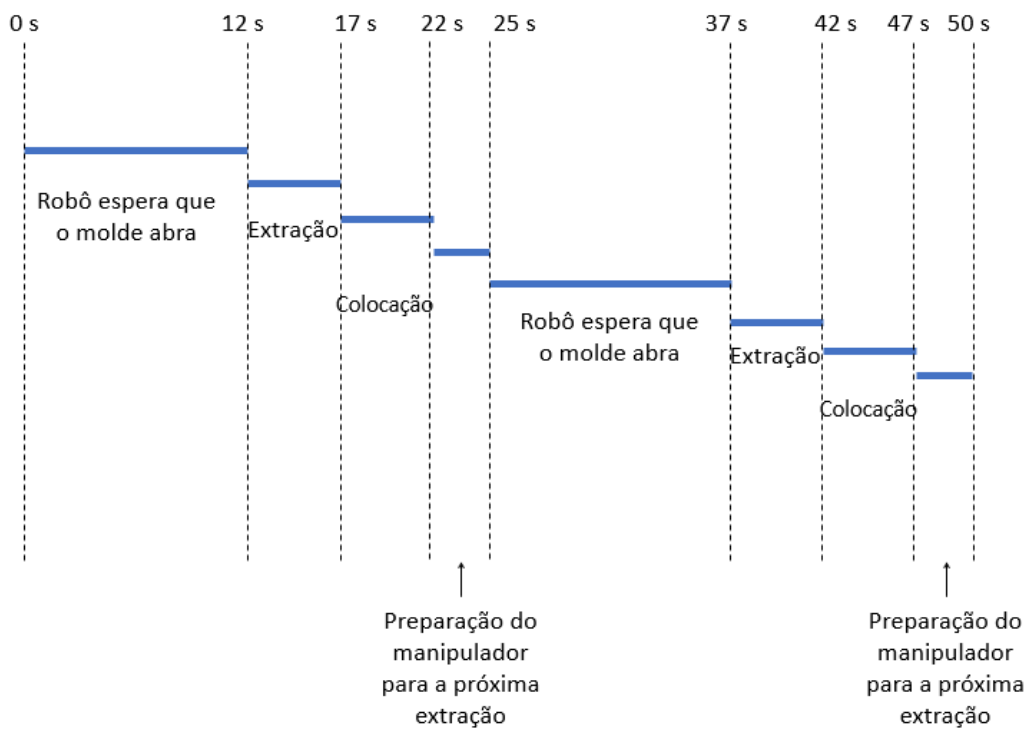


Figura 7.5: Diagrama de tempo de tarefas do manipulador.

colocar-se numa posição de espera para a abertura do molde. Nestes 3 segundos também coloca o atuador final nas condições necessárias para efetuar a extração.

7.2.3 Comparação de Tempos de Ciclo

Após a obtenção do tempo de ciclo em diferentes fases do sistema, realizou-se uma comparação de valores. O tempo de ciclo de cada teste para a extração e colocação de 4 pinças está representado na Figura 7.6. É apresentado o tempo de ciclo para 4 pinças de forma a relacionar-se com o processo anterior, em que uma injeção só produzia peças suficientes para a montagem de 4 pinças finais.

O valor de simulação é superior em 0,85 segundos a cada 4 pinças. Isto representa uma redução de 11,56 % no tempo de ciclo da simulação para o tempo de ciclo do sistema real.

Em relação ao processo anterior, em que eram produzidas 4 pinças finais a cada 16 segundos aproximadamente, agora tem-se que são extraídas e colocadas peças suficientes para produzir 4 pinças a cada 6,5 segundos. Não se pode comparar estes dois valores, pois o primeiro já engloba a parte da montagem. No entanto, a diferença entre os dois valores é de 9,5 segundos, o que representa o tempo máximo de montagem para 4 pinças finais que o robô paralelo teria de

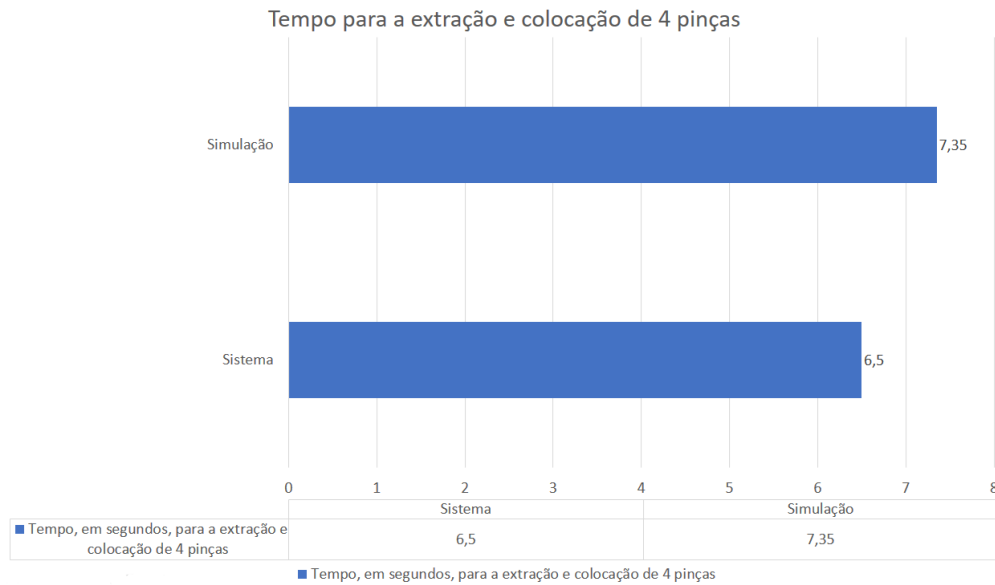


Figura 7.6: Comparação entre tempos de ciclo.

realizar para igualar o tempo do processo anterior. Pode ser considerada uma diferença considerável e se o processo de montagem operar a menos do que os 9,5 segundos, pode-se afirmar que este sistema é mais rápido que o processo anterior e não envolve mão humana.

7.3 Aplicação do Manipulador Industrial

Nesta secção são abordados os testes e resultados do funcionamento do manipulador. O funcionamento resume-se a duas tarefas realizadas pelo robô: a extração e a colocação das peças. Os testes basearam-se na realização de ciclos de funcionamento e foram retirados os resultados de eficiência dessas operações. Estes são também abordados nesta secção. No total foram realizados 225 ciclos para a tarefa de extração e 32 ciclos para a colocação. Os resultados dos últimos 32 ciclos da tarefa de extração foram utilizados como entradas para a operação de colocação das peças. Foram realizados muitos mais ciclos para a tarefa de extração pois a estrutura de montagem estava ocupada e a ser testada para poder colocar as peças.

7.3.1 Extração das Peças

Para a realização desta operação foi utilizada a rotina do ciclo de extração contendo, e respeitando, as condições de entrada e de saída da máquina de injeção.

De forma a obter resultados mais precisos foram realizados 225 ciclos de extração e retirados os resultados de cada um. Como já referido, cada ciclo da máquina de injeção produz 16 peças, 8 peças macho e 8 peças fêmea, logo o número total de peças produzidas é o produto entre o número de ciclos pelo número de produção de cada injeção, pelo que o valor foi de 3600 peças. As informações recolhidas para cada ciclo de extração foram a quantidade de peças recolhidas e no tipo de peças que falhou a extração, na peça macho ou na peça fêmea. Os resultados obtidos estão presentes na Tabela 7.1 e na Tabela 7.2.

Tabela 7.1: Resultados de extração pelo manipulador.

Acontecimento	Percentagem
16/16 peças extraídas	88,00 %
15/16 peças extraídas	11,11 %
14/16 peças extraídas	0,89 %

Tabela 7.2: Resultados de falhas de extração pelo manipulador.

Total de peças falhas na extração	Peças fêmea falhadas	Peças macho falhadas
29	29	0

Observando os valores da tabela, é possível afirmar que em 88 % dos ciclos de extração realizados o robô conseguiu extrair as peças todas produzidas. Isto equivale a 198 ciclos de extração realizados com sucesso, deixando 27 ciclos com a perda de uma ou duas peças na operação. Não existiu uma perda maior a duas peças durante os ciclos realizados. De seguida constata-se que sempre que falhou uma peça, foi uma peça fêmea.

Com estes valores apresentados, é possível calcular o número total de peças que foram extraídas num máximo de 3600. A Tabela 7.3 apresenta o valor e a sua percentagem. A percentagem de peças extraídas, face às peças totais produzidas, foi de 99,19 %. Isto indica uma boa eficácia do sistema em relação à extração das peças.

Tabela 7.3: Resultados da extração de peças totais pelo manipulador.

Peças totais produzidas	Peças extraídas	Percentagem
3600	3571	99,19 %

7.3.2 Colocação das Peças

O teste da colocação de peças foi realizado quando a estrutura ficou disponível para tal e, como já referido, os 32 testes realizados foram provenientes de 32 testes de extração realizados, representando o que iria acontecer no sistema em funcionamento. Neste teste, os critérios para a recolha de resultados foram os mesmos utilizados nos testes de extração. Os resultados são apresentados na Tabela 7.4 e na Tabela 7.5.

Tabela 7.4: Resultados de colocação pelo manipulador.

Acontecimento	Percentagem
16/16 peças colocadas	93,75 %
15/16 peças colocadas	6,25 %
14/16 peças colocadas	0,00 %

Tabela 7.5: Resultados de falhas de colocação pelo manipulador.

Total de peças falhas na colocação	Peças fêmea falhadas	Peças macho falhadas
2	0	2

Analisando os resultados, verifica-se que 2 ciclos dos 32 totais é que ocorreu uma falha na colocação de uma peça. Neste caso, sempre que existiu uma falha foi de uma peça macho. Com estes valores foi também realizada uma estatística de peças totais disponíveis para colocação e as peças totais colocadas. Como foram realizados 32 ciclos, o número de peças possíveis para colocação é de 512. Esta estatística está representada na Tabela 7.6. Verifica-se que a percentagem de peças colocadas face às peças possíveis, é de 99,61 %, sendo superior ao resultado obtido para os testes de extração. No entanto, foram realizados aproximadamente 14,2 % dos ciclos realizados para extração. Com este valor também é possível

afirmar que a tarefa de colocação das peças obteve bons resultados e eficácia no seu processo.

Tabela 7.6: Resultados da colocação de peças totais pelo manipulador.

Peças colocadas possíveis	Peças colocadas	Percentagem
512	510	99,61 %

Com os factos apresentados durante este capítulo, concluí-se que o sistema foi corretamente implementado, apresentado valores satisfatórios. Foram realizados vários testes, ao longo de diferentes fases do projeto, que tiveram como objetivo verificar o funcionamento do sistema. As tarefas realizadas pelo robô foram realizadas com sucesso e os valores obtidos demonstram a sua eficácia no sistema. Também foi considerado o tempo em que o robô realizava estas operações, tentando reduzir este ao mínimo possível, sem colocar em causa a eficácia destas.

Capítulo 8

Conclusão

Ao longo desta dissertação foram adquiridos conhecimentos sobre o desenvolvimento de aplicações industriais utilizando manipuladores industriais. Após todo o processo de análise realizado, a implementação do sistema e a sua análise de funcionamento, pode-se afirmar que foi desenvolvido com sucesso a implementação de uma célula capaz de extrair e colocar pinças Kocher para a sua produção, autonomamente. Foi também validado com sucesso o funcionamento da interface criada para uma melhoria do controlo de produção neste sistema produtivo. Tudo isto permite validar os objetivos propostos no início desta dissertação.

Antes do início do projeto foi realizado um estudo teórico sobre manipuladores industriais. Este estudo foi iniciado por uma abordagem ao contexto histórico da robótica e às progressões sofridas pelos manipuladores industriais até à atualidade. De seguida efetuou-se um estudo geral sobre os manipuladores industriais, com o objetivo de entender melhor o seu funcionamento, para mais tarde, na implementação prática, ter um conhecimento base sobre o equipamento. Também foi realizado um estudo sobre o funcionamento de células de fabrico e dos seus componentes para adquirir conhecimento que viria a ser utilizado mais tarde. Por fim, foi efetuado um estudo sobre a aplicação que é executada pelo manipulador neste projeto, uma aplicação de carga e descarga de máquinas, e foi realizada uma procura a casos de estudo de sistemas semelhantes ao que iria ser instalado. Todo este estudo prévio à implementação do sistema contribuiu para adquirir conhecimento que serviu como base no desenvolvimento do projeto, e permitiu diminuir o número de obstáculos encontrados ao longo da realização desta dissertação.

Realizada a abordagem teórica, procedeu-se à implementação do sistema. Inicialmente é descrito e estudado cada componente utilizado no sistema, com o objetivo de saber como cada equipamento se vai comportar aquando da instalação e iniciação do célula. Aqui são abordados tópicos como o manipulador indus-

trial usado, o seu atuador final para a extração das peças da máquina de injeção e o protocolo utilizado para a comunicação com esta. De seguida é descrito o procedimento utilizado na implementação do sistema. São descritas as configurações realizadas no manipulador, assim como as simulações prévias à instalação. É explicado o algoritmo desenvolvido para o manipulador, já com a flexibilidade para futuros modelos, e também é descrita a interface desenvolvida para a ligação entre o utilizador e a célula.

Por fim são apresentados os testes e resultados do sistema. Aqui concluiu-se que o manipulador realiza as tarefas pretendidas com sucesso. É também abordado o tempo de ciclo do sistema e a sua redução face ao tempo de ciclo estimado na simulação. Comparam-se estes valores com o tempo de ciclo do processo realizado anteriormente. No entanto, o tempo de ciclo deste projeto é uma parte do tempo de ciclo final do sistema. É possível constatar que o valor obtido para o tempo de ciclo nesta parte do projeto é um valor mais reduzido, que permite realizar a produção em menor tempo. Com a redução do tempo de ciclo existe uma contribuição para o aumento de produção de pinças Kocher, utilizando uma célula completamente autónoma.

8.1 Futuras Melhorias

O sistema foi desenvolvido e testado com sucesso. No entanto, existem possíveis melhorias a realizar nesta célula de fabrico. Um dos aspetos a considerar é a redução da massa do atuador final. Este pesa 19,7 kg e o manipulador industrial possui uma capacidade de carga máxima até 20 kg. A caixa e as eletroválvulas presentes na parte traseira da garra poderiam ser colocadas no robô, na terceira junta, de forma a reduzir a carga no punho. Isto permitiria ao robô um movimento mais suave, porque neste momento o centro de massa do atuador final encontra-se um pouco afastado da flange do robô provocando, por vezes, ligeiras oscilações no seu movimento.

A tarefa de extração neste sistema é deveras complexa devido à estrutura das peças. É realizada uma extração individual para 16 peças que possuem uma área reduzida para o contacto com o atuador final. Com estas peças torna-se complicado o uso de ventosas, até porque mais tarde é necessária a rotação das peças macho para poderem ser colocadas na estrutura de montagem. Com isto, uma futura melhoria para este sistema poderia surgir duma abordagem diferente ao atuador final. Também poderia ser reduzido o seu comprimento, para que a folga de entrada no molde fosse superior e permitisse um aumento de velocidade no movimento de entrada e de saída da máquina, o que poderia reduzir o tempo de ciclo.

Por fim, com a necessidade de produção de novos modelos seria necessária os ajustes dos pontos de extração e colocação das rotinas do manipulador in-

dustrial. Dever-se-ia realizar o mesmo procedimento efetuado para os testes do modelo de 13 cm e atualizar algumas configurações do robô, como por exemplo a configuração da carga, pois o atuador final seria diferente para cada modelo. Com o surgimento destas novas peças, também a interface do sistema necessita de ser atualizada para as mudanças que forem efetuadas, por exemplo, nos novos modelos só existe uma base de produção pelo que teria que se retirar a escolha de zona de produção no modo de funcionamento para a produção destas novas peças.

Referências Documentais

- [1] S. Y. Nof, *Handbook of Industrial Robotics*. Toronto: JohnWiley & Sons, Inc., 2nd ed., 1999. [citado na p. 5, 13, 16, 17, 27, 28, 29]
- [2] B. Siciliano and O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*. Berlin: Springer, 2008. [citado na p. 5, 6, 7, 9, 10, 14, 16, 17, 26, 27, 28]
- [3] M. E. Moran, “Epochs in Endourology The da Vinci Robot,” vol. 20, no. 12, pp. 986–990, 2006. [citado na p. 6]
- [4] M. E. Rosheim, “In the footsteps of Leonardo (articulated anthropomorphic robot),” *Robotics & Automation Magazine, IEEE*, vol. 4, no. 2, pp. 12–14, 1997. [citado na p. 6]
- [5] E. Moller, “Leonardo’s Mechanical Knight,” 2005. Disponível em <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/45/Leonardo-Robot3.jpg>, Acedido: 16 de Outubro 2017. [citado na p. 6]
- [6] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*. 2007. [citado na p. 7, 9, 10, 18, 21, 22, 25, 27, 30, 35, 41]
- [7] U. Robots, “UR10 Universal Robots.” Disponível em <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>, Acedido: 18 de Outubro de 2017. [citado na p. 8]
- [8] R. N. Jazar, *Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control, Second Edition*. Melbourne, Australia: Springer, 2nd ed., 2010. [citado na p. 9, 11, 14, 15]
- [9] V. Santos, “Robótica Industrial,” *Robótica Industrial*, 2002. [citado na p. 9, 20]
- [10] “Type of joints.” Disponível em <https://image.slidesharecdn.com/mechatronics4-150326002145-conversion-gate01/95/mechatronics-4-8-638.jpg?cb=1427346140>, Acedido: 20 de Outubro de 2017. [citado na p. 9]

- [11] Mathworks, “Spherical Joint.” Disponível em <https://www.mathworks.com/help/physmod/sm/mech/ref/spherical.gif>, Acedido: 20 de Outubro de 2017. [citado na p. 9]
- [12] J. N. Pires, *Automação Industrial*. Lisbon: LIDEL, 5 ed., 2012. [citado na p. 10]
- [13] M. Silva, “ROBIN : Robótica Industrial Atuadores Finais para Robôs Industriais,” pp. 1–60. [citado na p. 11, 12]
- [14] Schunk, “Parallel gripper - EGP.” Disponível em https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/egp/, Acedido: 23 de Outubro de 2017. [citado na p. 12]
- [15] Schunk, “Centric Gripper - MPZ.” Disponível em https://schunk.com/de_en/gripping-systems/series/mpz/, Acedido: 23 de Outubro de 2017. [citado na p. 12]
- [16] KUKA, “Controlador e *Teach Pendant* da Kuka.” Disponível em https://media.robots.com/robots/1494445842_1.jpg, Acedido: 12 de Outubro de 2017. [citado na p. 13]
- [17] M. Silva, “Noções Básicas de Robótica,” pp. 1–99, 2016. [citado na p. 14, 15, 16, 17]
- [18] Engineeronadisk, “Robot Types,” 2010. Disponível em http://engineeronadisk.com/V2/notes_mechatronics/engineeronadisk-189.html, Acedido: 13 de Novembro de 2017. [citado na p. 14]
- [19] FANUC, “M-2iA/3SL.” Disponível em <http://www.fanuc.eu/ru/en/robots/robot-filter-page/m2-series/m-2ia-3sl?returnurl=http%3A%2F%2Fwww.fanuc.eu%2Fru%2Fen%2Frobots%2Frobot-filter-page%23%3Ft%3D4ef489b55bda4151b0d943af7541c5dd%2Cd2f8ceaa82864554ae312b9beb052e7c>, Acedido: 13 de Novembro de 2017. [citado na p. 16]
- [20] M. Silva, “Métodos de Industriais Programação de Robôs,” pp. 1–40. [citado na p. 22]
- [21] ABB, “ABB IRB-760.” Disponível em <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-760>, Acedido: 17 de Novembro de 2017. [citado na p. 23]
- [22] FANUC, “FANUC ARC Mate-100ic-12.” Disponível em <http://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/soldadura-por-arco/arcmate-100ic-12>, Acedido: 17 de Novembro de 2017. [citado na p. 23]

- [23] KUKA, “KUKA - LBR-iiwa.” Disponível em <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/lbr-iiwa>, Acedido: 17 de Novembro de 2017. [citado na p. 23]
- [24] OMRON Adept, “OMRON Adept - QuattroTM s650H.” Disponível em <http://www.adept.com/products/robots/parallel/quattro-s650h/general>, Acedido: 17 de Novembro de 2017. [citado na p. 23]
- [25] International Federation of Robotics, “Executive summary world robotics 2017 industrial robots.” https://ifr.org/downloads/press/Executive_Summary_WR_2017_Industrial_Robots.pdf, Acedido: 18 de Dezembro de 2017. [citado na p. 25]
- [26] L. Electric, “Magnum PRO Robotic 550 Welding Gun, Thru-Arm,” 2013. http://newsroom.lincolnelectric.com/images/9026/media_gallery/Magnum_PRO_Robotic_550_Welding_Gun_Thru_Arm._resize.jpg, Acedido: 8 de Janeiro de 2018. [citado na p. 26]
- [27] ABB, “Spot Welding Robots.” Disponível em https://media.robots.com/robots/1413228813_1.jpg, Acedido: 23 de Novembro de 2017. [citado na p. 26]
- [28] M. Silva, “Aplicações Industriais da Robótica,” pp. 1–94. [citado na p. 28, 29]
- [29] Shimon Y. Nof, ed., *Springer Handbook of Automation*. Berlin: Springer, 2009. [citado na p. 30, 32]
- [30] “Dave Emmett - First PLC.” <https://www.redviking.com/wp-content/uploads/2014/09/Dave-Emmett-c-1971-low-res-capture.jpg>, Acedido: 5 de Dezembro de 2017. [citado na p. 31]
- [31] OMRON, “OMRON - CJ2M.” <https://industrial.omron.pt/pt/products/cj2m>, Acedido: 5 de Dezembro de 2017. [citado na p. 31]
- [32] OMRON, “OMRON CJ1W - OC201.” <https://www.ia.omron.com/products/family/2055/specification.html>, Acedido: 5 de Dezembro de 2017. [citado na p. 31]
- [33] F. Petruzella, *Programmable Logic Controllers*. McGraw Hill Education, fifth ed., 2017. [citado na p. 30, 34]
- [34] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, vol. 58. 2009. [citado na p. 31, 32, 33]
- [35] L. Figueiredo, “Sistemas Produtivos,” pp. 1–60. [citado na p. 36]

- [36] R. Zurawski, *Industrial communication technology handbook*. CRC Press, 2nd ed., 2005. [citado na p. 37]
- [37] EtherCAT Technology Group, “Ethercat - the ethernet fieldbus.” <https://www.ethercat.org/en/technology.html#1.1>, Acedido: 15 de Fevereiro de 2018. [citado na p. 38]
- [38] M. Silva, “Segurança na Programação de Operação de Robôs Industriais,” 2012. [citado na p. 38, 39]
- [39] FANUC, “Fanuc roboshot α - sia series.” <http://www.fanuc.co.jp/en/product/roboshot/index.html>, Acedido: 17 de Janeiro de 2018. [citado na p. 42]
- [40] D. V. Rosato, D. V. Rosato, and M. G. Rosato, “The Complete Injection Molding Process,” *Injection Molding Handbook*, pp. 1–27, 2000. [citado na p. 43]
- [41] Sepro Group, “Sepro group - multi inject.” <http://www.sepro-group.com/products/multi-inject/>, Acedido: 25 de Março de 2018. [citado na p. 43, 44]
- [42] TecnoMatic Robots, “Tecnomatic robots - side.” <http://www.tecnomaticrobots.it/en/robots/side/>, Acedido: 25 de Março de 2018. [citado na p. 43, 44]
- [43] FANUC, “Fanuc - m-20ia/20t.” <http://www.fanuc.eu/pt/pt/rob%C3%B4s/p%C3%A1gina-filtro-rob%C3%B4s/m-20-series/m-20ia-20t>, Acedido: 25 de Março de 2018. [citado na p. 45]
- [44] KUKA, “Kuka - precise sorting of clutch discs for the honing machine.” <https://www.kuka.com/en-in/industries/solutions-database/2017/08/solution-robotics-hbi-robotics>, Acedido: 26 de Março de 2018. [citado na p. 46, 47]
- [45] COVAL, “Coval - serie cvg.” <https://www.coval-inc.com/products/customized-vacuum-grippers-cvg-series-2541.htm>, Acedido: 25 de Maio de 2018. [citado na p. 47, 48]
- [46] ABB, “Abb - robotware plastics.” <http://www.abb.com/cawp/seitp202/85fef54ee5479545c12570ce0033c820.aspx>, Acedido: 26 de Março de 2018. [citado na p. 48, 49]
- [47] FANUC, “Fanuc - roboguide.” <http://www.fanuc.eu/pt/en/robots/accessories/roboguide>, Acedido: 26 de Março de 2018. [citado na p. 48, 49]
- [48] FANUC, “Software options,” [citado na p. 50]

- [49] KUKA, “Kuka - kr quantec pa.” <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-quantec-pa>, Acedido: 22 de Janeiro de 2018. [citado na p. 51]
- [50] KUKA, “Kuka kr 120 r3900 ultra k loads and unloads injection molding machines at krumpholz.” <https://www.kuka.com/en-gb/industries/solutions-database/2016/07/solution-robotics-krumpholz>, Acedido: 28 de Janeiro de 2018. [citado na p. 51, 52]
- [51] C. Woestenborghs and S. Woestenborghs, “Plastic spoons , deSter , Belgium Case study : Injection Moulding When deSter developed a new production and packaging line for Plastic spoons , deSter , Belgium,” [citado na p. 53]
- [52] ABB, “Bottom line boosted for beans.” <http://www.abb.com/cawp/seitp202/fab06af1170b9e6bc1257338004f3dec.aspx>, Acedido: 30 de Janeiro de 2018. [citado na p. 54, 55]
- [53] KUKA, “Two kuka robots support the palletizing operations of serbian sugar manufacturer sunoko.” <https://www.kuka.com/en-de/industries/solutions-database/2016/07/solution-robotics-sunoko>, Acedido: 5 de Fevereiro de 2018. [citado na p. 55, 56]
- [54] Medical Express, “Pincas kocheer.” <http://www.medicalexpress.net/catalog/product/view/id/42251>, Acedido: 04 de Julho de 2018. [citado na p. 62]
- [55] FANUC, “FANUC M20iA 20M - Datasheet,” p. 1. [citado na p. 65]
- [56] FANUC, *FANUC Line Builder M20iA*. Disponibilizado pela empresa FANUC para a RobotSol. [citado na p. 65, 66]
- [57] FANUC, *FANUC Training Manual*. 2nd ed. Disponibilizado pela empresa FANUC para a RobotSol. [citado na p. 66, 83, 86, 90]
- [58] FANUC, “FANUC M2iA 3SL - Datasheet,” p. 1. [citado na p. 71]
- [59] EUROMAP, “Electrical interface between injection moulding machine and handling device/robot.” <http://www.euromap.org/files/EU>Acedido: 28 de Março de 2018. [citado na p. 74, 75, 89]
- [60] OMRON, “Safety relay unit g9se.” <http://www.ia.omron.com/products/family/3419/specification.html>, Acedido: 16 de Julho de 2018. [citado na p. 87]

Anexos A

Variáveis do sistema

Tabela A.1: Sinais de entrada do sistema no manipulador FANUC

Sinal	Nome	Descrição
UI[1]	IMSTP	Sinal de paragem imediata do <i>software</i>
UI[2]	Hold	Sinal para a paragem externa do robô
UI[3]	SFSPD	Sinal de ativação da velocidade de segurança
UI[4]	Cycle Stop	Sinal para a paragem de ciclo
UI[5]	Fault Reset	Sinal externo de aceitação e <i>reset</i> das falhas
UI[6]	Start	Sinal para realizar o arranque do robô remotamente
UI[7]	Home	Sinal que permite mover o robô para uma posição programada como home
UI[8]	Enable	Sinal de autorização do movimento do robô
UI[9-16]	RSR1/PNS1-RSR8/PNS8	Sinais de entrada para a execução de programas remotamente
UI[17]	PNS strobe	Sinal de validação do número de programa para programas PNS
UI[18]	Prod start	Sinal de início de produção para programas PNS

Tabela A.2: Sinais de saída do sistema no manipulador FANUC

Sinal	Nome	Descrição
UO[1]	Cmd Enable	Sinal enviado quando robô cumpre as condições de arranque externo
UO[2]	System ready	Sinal de sistema preparado e servos alimentados
UO[3]	Prg running	Ativo quando um programa é executado
UO[4]	Prg paused	Ativo quando um programa é pausado
UO[5]	Motion held	Ativo quando o movimento do robô se encontra impedido pela tecla Hold no <i>Teach Pendant</i>
UO[6]	Fault	Sistema encontra-se em erro
UO[7]	At perch	Ativo quando o robô se encontra numa posição de referência predefinida
UO[8]	<i>Teach Pendant</i> enable	Ativo quando o seletor do <i>Teach Pendant</i> se encontra a ON
UO[10]	Batt alarm	Sinal de bateria fraca
UO[11-18]	Busy	Ativo quando o robô se encontra ocupado a processar um programa
UO[18]	ACK1/SNO1-ACK8/SNO8	Sinal de reconhecimento de recepção de programas RSR
UO[19]	SNACK	Sinal de reconhecimento de recepção de programas PNS

Tabela A.3: Registos do sistema no manipulador FANUC

Sinal	Nome	Descrição
R[1]	Prog Code	Número inteiro com o valor do modo de funcionamento

Tabela A.4: Registos de posição do sistema no manipulador FANUC

Sinal	Nome	Descrição
PR[1]	OFFSET_MESA	Auxiliar para a utilização no movimento de <i>offsets</i> nos programas das bases
PR[4]	OFFSET_HOME	Auxiliar para a utilização no movimento de <i>offsets</i> no programas de home
PR[6]	OFFSET_MAQUINA	Auxiliar para a utilização no movimento de <i>offsets</i> no programa de extração

Tabela A.5: Sinais de entrada no manipulador FANUC

Sinal	Nome	Descrição
DI[34]	Door_Access	Pedido de acesso
DI[49-64]/GI[1]	Prog Code	Código do programa - 16 DI representam uma GI
DI[81]	Base_1_Ready	Base 1 preparada
DI[82]	Base_2_Ready	Base 2 preparada
DI[145]	Base1 Produção	Produção na base 1
DI[146]	Base2 Produção	Produção na base 2
DI[148]	Last_Cycle_Mach	<i>Flag</i> para avisar a máquina do seu último ciclo
DI[149]	Modo_So_Maq	Modo de robô fora de serviço
DI[151]	R2_Fora_Base1	Robô paralelo não se encontra na base 1 - Space Function
DI[152]	R2_Fora_Base2	Robô paralelo não se encontra na base 2 - Space Function
DI[257]	DIM_Mould_Closed	Molde fechado - Carta física EURO-MAP
DI[258]	DIM_Mould_Open	Molde aberto - Carta física EURO-MAP
DI[259]	DIM_Ejac_Back	Extratores retraídos - Carta física EUROMAP
DI[260]	DIM_Ejac_Forw	Extratores avançados - Carta física EUROMAP
DI[261]	DIM_Auto_Mode	Máquina em modo automático - Carta física EUROMAP

Tabela A.6: Sinais de saída no manipulador FANUC

Sinal	Nome	Descrição
DO[7]	Ref Pos	Informa que o robô se encontra numa posição de referência
DO[65]	Base_1_Request	Pedido de acesso para entrar na Base 1
DO[66]	Base_2_Request	Pedido de acesso para entrar na Base 2
DO[81]	Base_1_Release	Informação de saída da base 1
DO[82]	Base_2_Release	Informação de saída da base 2
DO[145]	RDIM_Mould_Close	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI de molde fechado
DO[146]	RDIM_Mould_Open	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI de molde aberto
DO[147]	RDIM_Ejac_Back	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI de extratores retraídos
DO[148]	RDIM_Ejac_Forw	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI de extratores avançados
DO[149]	RDIM_Auto_Mode	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI de máquina em modo Auto
DO[150]	Guias_Meio_Fwd	Autorização para o avanço do 2º conjunto de guias para o robô poder colocar as peças
DO[151]	R1_Fora_Base1	Informação de que o robô não se encontra na base 1
DO[152]	R1_Fora_Base2	Informação de que o robô não se encontra na base 2
DO[156]	Fence_Open	Informação de porta frontal da máquina aberta
DO[177]	Garras_AV2	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI do cilindro 2 da garra avançados
DO[178]	Garras_RC2	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI do cilindro 2 da garra recuados
DO[179]	Garras_AV1	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI do cilindro 1 da garra avançados
DO[180]	Garras_RC1	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI do cilindro 1 da garra recuados

Tabela A.7: Sinais de saída no manipulador FANUC - Continuação

Sinal	Nome	Descrição
DO[181]	Pinças_R_Dentro	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI do cilindro rotativo rodado para dentro
DO[182]	Pinças_R_Fora	Auxiliar para envio de informação para a consola HMI do cilindro rotativo rodado para fora
DO[193]	Flag_First_Cycle	<i>Flag</i> que informa que se realiza o primeiro ciclo do sistema
DO[257]	DOM_E_Mod_Closure	Autoriza o fecho do molde - Carta física EUROMAP
DO[258]	DOM_E_Mod_Open	Autoriza a abertura do molde - Carta física EUROMAP
DO[259]	DOM_OP_Mode	Informa que o robô em modo de operação com a máquina - Carta física EUROMAP
DO[260]	DOM_E_Ejec_Back	Autoriza recuo dos extratores - Carta física EUROMAP
DO[261]	DOM_E_Ejec_Forward	Autoriza avanço dos extratores - Carta física EUROMAP
DO[262]	DOM_Robot_Inside	Informa que robô se encontra dentro da máquina - Carta física EUROMAP

Anexos B

Fluxogramas

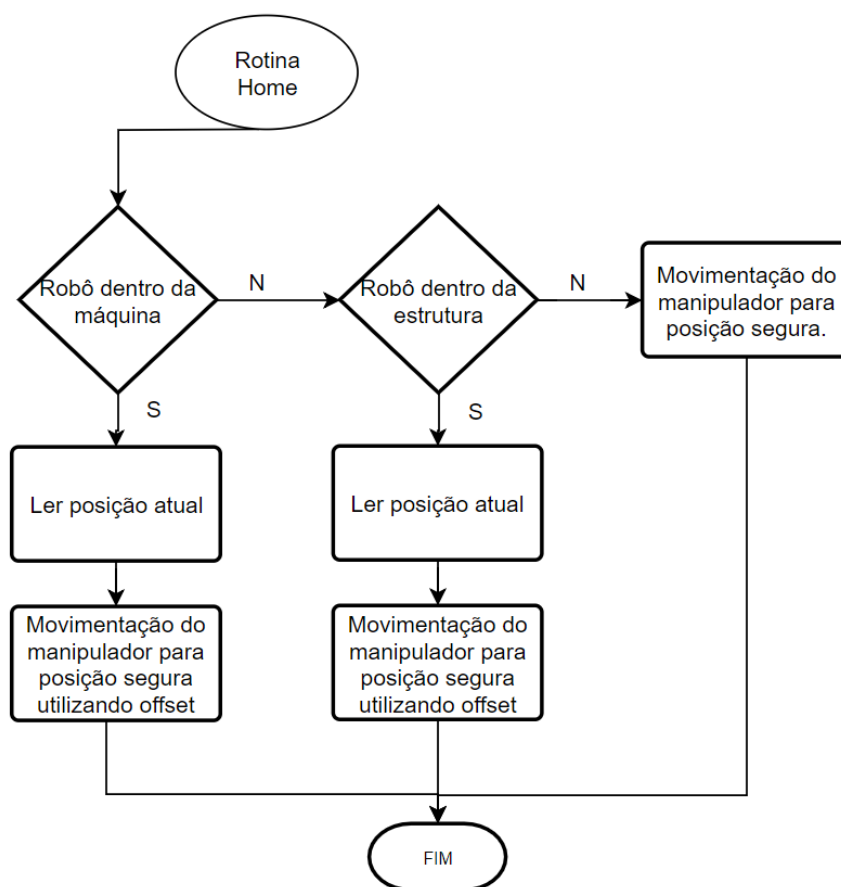


Figura B.1: Fluxograma da rotina de *Home*.

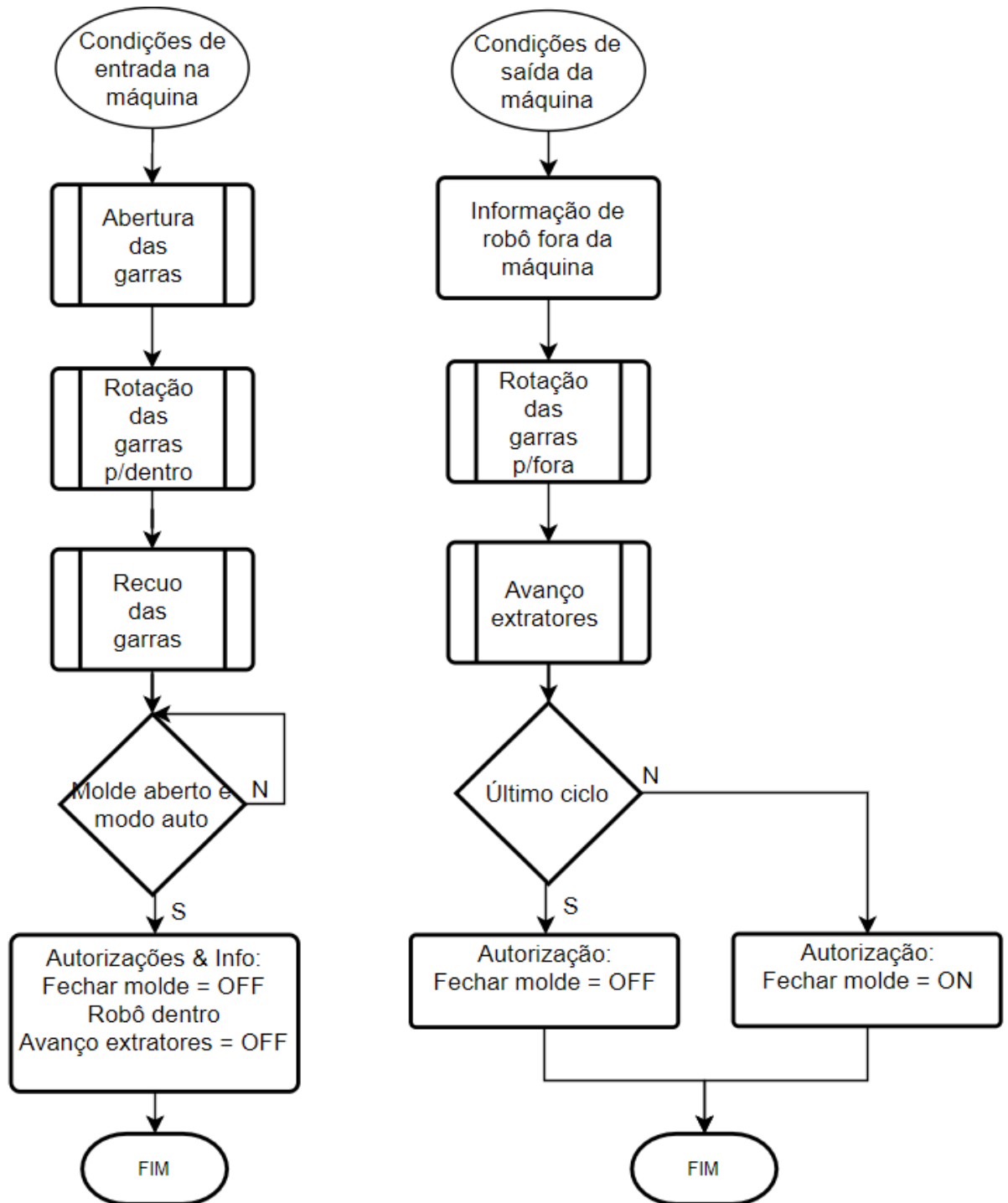


Figura B.2: Condições de entrada e saída da máquina.

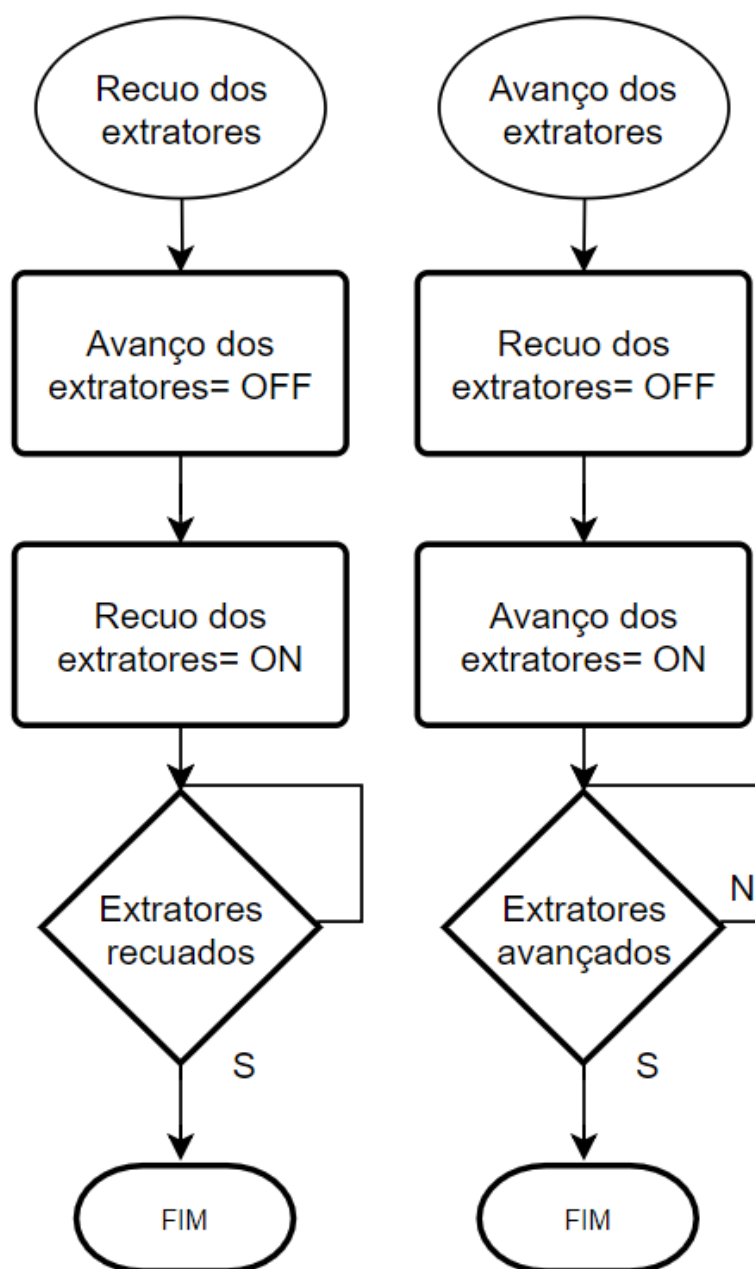


Figura B.3: Fluxograma - ordens de avanço e recuo dos extratores.

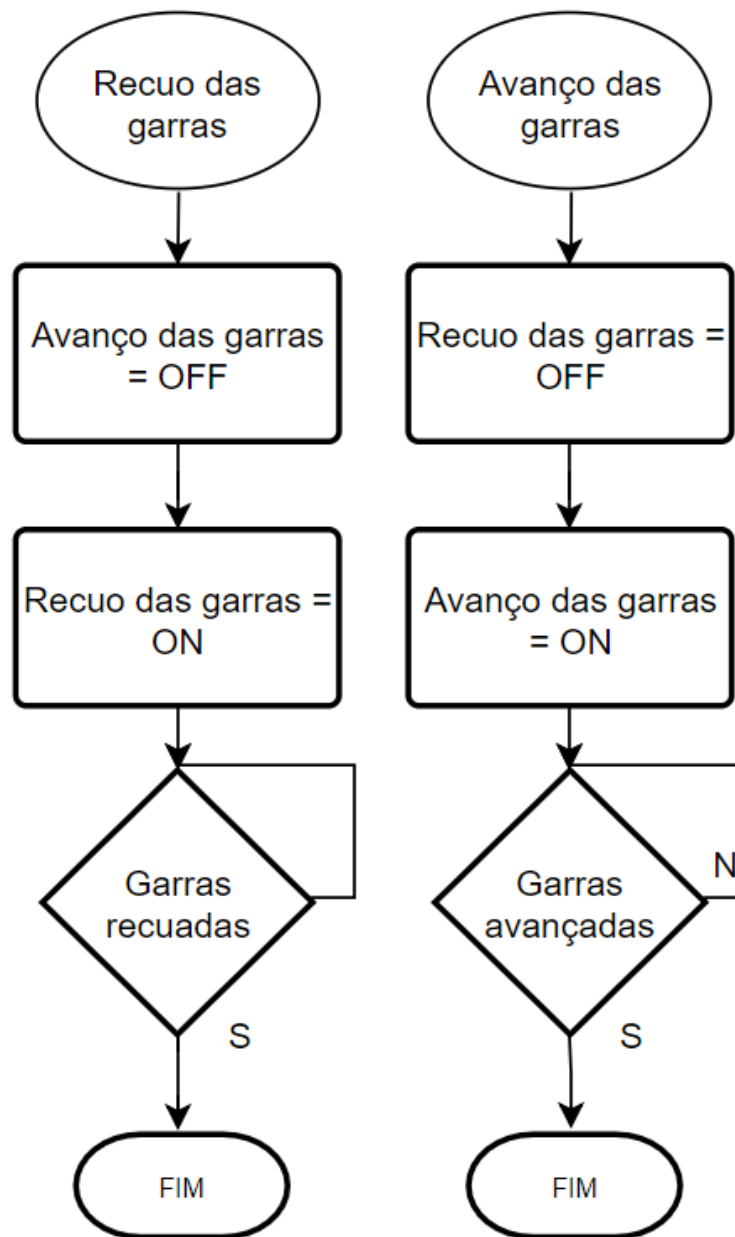


Figura B.4: Fluxograma - ordens de avanço e reco das garras de das peças macho.

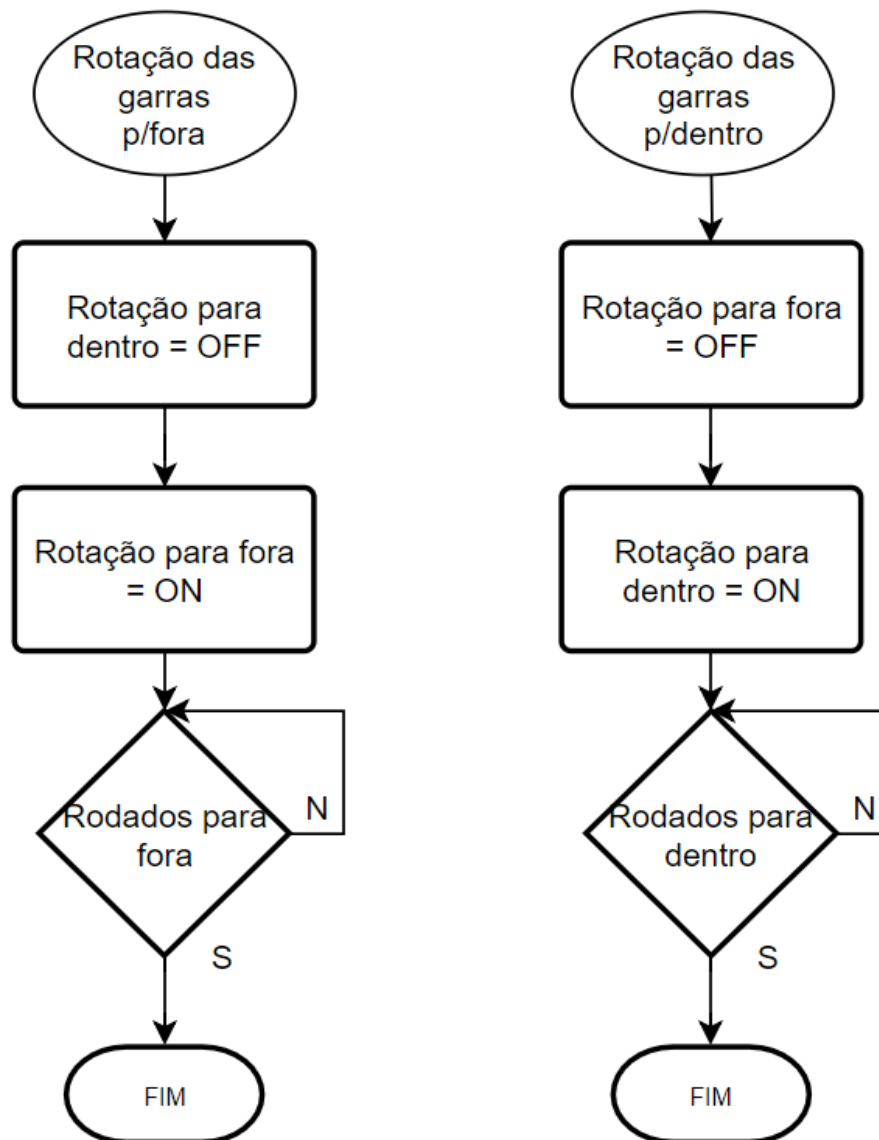


Figura B.5: Fluxograma - ordens de rotação das garras de das peças macho.

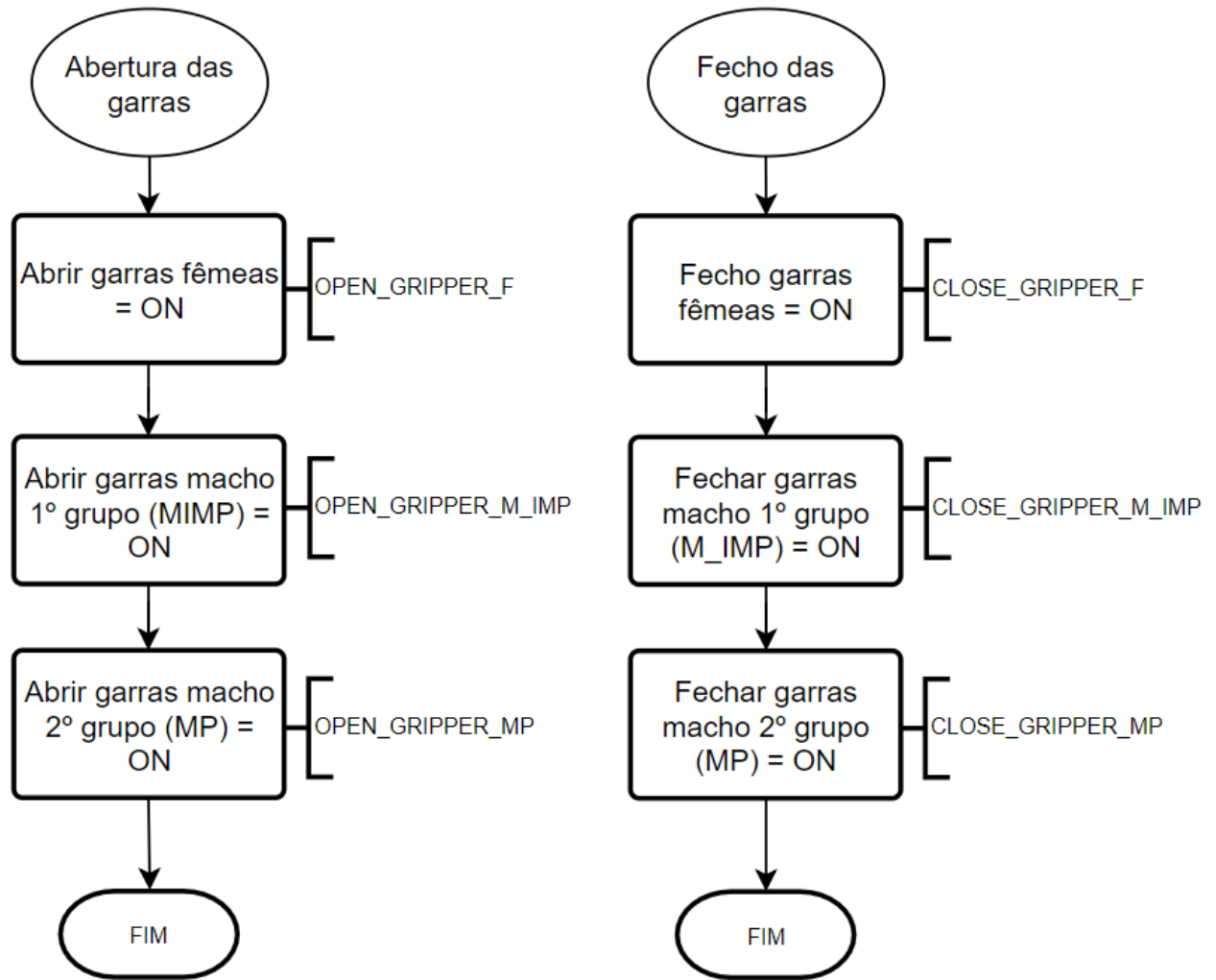


Figura B.6: Fluxograma - ordens de abertura e fecho das garras.

Anexos C

Alarmes

(Esta página foi deixada em branco intencionalmente)

Tabela C.1: Lista de alarmes do sistema.

Mensagem de Alarme	de	Resolução
Emergência externa (botoneiras) “Botoneira de emergência pressionada!” “Emergência E-STOP”	ex-	Verificar as botoneiras de emergência (consola e controlador do robô e restante célula). De seguida, é necessário pressionar o botão amarelo de rearme geral. Verificar o estado do relé de segurança, se necessário reiniciar o quadro elétrico.
“Porta da célula aberta”		Verificar se alguma porta do sistema ou a porta frontal da máquina se encontra aberta. Se sim, deve ser fechada e rearmar o sistema.
“Gaveta não se encontra fechada”		Verificar o encaixe da gaveta.
“Pressão insuficiente”	insuficiente	Verificar se a alimentação pneumática se encontra ligada. Verificar eventuais fugas.
“Problema de arranque no sistema”		<p>Se após ser pressionado o botão <i>start</i> o sistema não arrancar e ocorrer este alarme, o utilizador deve verificar o estado do sistema (na janela estados) e verificar onde este ficou parado. Se for na verificação da mesa, devem ser verificadas certas condições:</p> <ul style="list-style-type: none"> • existência de caixa para receber peças; • gaveta bem fechada; • bases bem encaixadas; • portas do sistema fechadas; • botoneiras não pressionadas e sistema rearmado; <p>Não se verificando nenhuma das opções anteriores deve pressionar o botão de <i>stop</i> mais de 4 segundos, escolher o modo de funcionamento, carregar e pressionar o botão de <i>start</i>.</p>
“Base 1 não encaixada”		Base 1 (a mais próxima da máquina de injeção de plástico) não se encontra encaixada corretamente ou de todo.
“Base 2 não encaixada”		Base 2 (a mais afastada da máquina de injeção de plástico) não se encontra encaixada corretamente ou de todo.