

## **Célula Autoportante para Extração de Peças de Plástico Moldadas por Injeção**

**JOSÉ ANTÓNIO MOREIRA NUNES**

setembro de 2018

# **Célula Autoportante para Extração de Peças de Plástico Moldadas por Injeção**

**José António Moreira Nunes**



**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: José António Moreira Nunes, Nº 1131187, 1131187@isep.ipp.pt  
Orientação científica: Manuel Fernando dos Santos Silva, mss@isep.ipp.pt  
Empresa: Robotsol - Engenharia Industrial  
Supervisão: Rui Manuel Cardoso da Silva Rodrigues, rui.rodrigues@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

27 de julho de 2018



---

# Agradecimentos

---

Agradeço ao Engenheiro Manuel Silva por toda a sua disponibilidade e orientação prestada no decorrer do desenvolvimento do projeto e da redação da Dissertação.

À Robotsol pela oportunidade de desenvolvimento do projeto em âmbito industrial e aos departamentos de automação e robótica, projeto elétrico e projeto mecânico pela forma como contribuíram para a minha integração na equipa Robotsol. Agradeço em particular aos elementos da equipa de automação onde fui integrado pelo apoio prestado e pela partilha de experiências no decorrer do período de estágio.

Aos meus colegas e amigos de curso, por todos os momentos vividos e partilhados ao longo dos cinco anos de vida académica. Aos meus colegas de estágio Ricardo, Filipe e Pedro, todos os momentos partilhados ao longo do estágio.

Um agradecimento enorme aos meus pais, que tudo fizeram para que eu pudesse concretizar o meu sonho de ser Engenheiro. Agradeço também por todos os valores que me incutiram como pessoa e como profissional, e agradeço também por todo o apoio e por toda a confiança depositada em mim, que me levaram a ser a pessoa que sou hoje. Ao meu irmão pela sua sabedoria e à minha irmã pela forma que me alegrou nos momentos menos bons. Aos dois, obrigado por estarem sempre presentes. Agradeço ao meu avô pelo orgulho que sempre demonstrou ter em mim. Quero com este agradecimento demonstrar também o quanto me orgulho da fantástica pessoa que é.

A todos, o meu muito obrigado!



---

# Resumo

---

A robótica no quotidiano apresenta um papel fundamental nas indústrias, no sentido de tornar os processos destas mais eficientes. Neste sentido, a empresa Robotsol recebeu um pedido para o desenvolvimento de uma solução robotizada para otimizar o processo de extração de peças moldadas por injeção, do interior do molde de uma máquina e consequente paletização destas. O desenvolvimento deste projeto representa o objetivo principal desta Dissertação, tendo sido desenvolvido em âmbito de estágio curricular em ambiente industrial.

O trabalho foi realizado de forma a desenvolver um sistema que cumprisse os requisitos acordados com o cliente. Para tal, foi necessário validar a estrutura autoportante da célula, esquematizar a lógica de programação, realizar a simulação do sistema através do simulador do fabricante do robô e implementar o sistema de forma a permitir efetuar um conjunto de testes iniciais, antes da integração no cliente. No momento da integração do sistema, foram feitas configurações na máquina de injeção de forma a que esta fosse capaz de realizar trabalho em conjunto com o robô. Antes de ser possível arrancar com o sistema global, foram ainda efetuados testes de trajetórias do robô e afinações da garra. Por fim, foi então possível arrancar com o sistema e foi feito o acompanhamento da produção.

No final do projeto, foi possível verificar que o robô é capaz de extrair as peças do interior do molde da máquina de injeção de forma eficiente, paletizando-as de seguida num tapete. As peças são empilhadas de forma ao operador realizar uma inspeção final antes das embalar. Todo o processo de retirar as peças moldadas de um compartimento inferior da máquina era feito por um operador, que posteriormente as organizava, empilhava e embalava. Neste momento, enquanto o robô efetua a extração e paletização das peças, o operador consegue acompanhar a produção de células produtivas adjacentes.

**Palavras-chave** Robótica Industrial, Moldagem por Injeção, Extração, Paletização, Autoportante.



---

# Abstract

---

Robotics in everyday life plays a key role in industries in making processes more efficient. In this sense, the company Robotsol received a request for the development of a robotized solution to optimize the process of extraction of injection molded parts from the interior of the mold of a machine and consequent palletization of these. The development of this project represents the main objective of this Dissertation, having been developed within the scope of curricular internship in an industrial environment.

The work was done in order to develop a system that fulfilled the requirements agreed with the client. For this, it was necessary to validate the self-supporting structure of the cell, to schematize the programming logic, make the simulation of the system through the simulator of the robot manufacturer and to implement the system in order to perform a set of initial tests, before the integration in the client. At the time of system integration, configurations were made in the injection machine so that it was able to perform work in conjunction with the robot. Before it was possible to start with the global system, tests of robot trajectories and gripper tuning were also performed. Finally, it was possible to start up with the system and the production was monitored.

At the end of the project, it was possible to verify that the robot is able to extract the parts from the interior of the mold of the injection machine in an efficient way, palletizing them on a conveyour. The parts are stacked so the operator performs a final inspection before packing them. The whole process of removing the molded parts from a lower compartment of the machine was done by an operator, who later organized, stacked and packed them. At this moment, while the robot performs the extraction and palletizing of the parts, the operator can follow the production of adjacent productive cells.

**Keywords** Industrial Robotics, Injection Molding, Extraction, Palletizing, Self-supporting.





---

# Conteúdo

---

|                                                            |          |
|------------------------------------------------------------|----------|
| Agradecimentos                                             | v        |
| Conteúdo                                                   | i        |
| Lista de Figuras                                           | v        |
| Lista de Tabelas                                           | ix       |
| Acrónimos                                                  | xi       |
| <b>1 Introdução</b>                                        | <b>1</b> |
| 1.1 Contextualização . . . . .                             | 1        |
| 1.2 Objetivos . . . . .                                    | 2        |
| 1.3 Calendarização . . . . .                               | 2        |
| 1.4 Estrutura da Dissertação . . . . .                     | 3        |
| <b>2 Estrutura Geral de um Sistema Robótico</b>            | <b>5</b> |
| 2.1 Nota Histórica . . . . .                               | 5        |
| 2.2 Estrutura Geral . . . . .                              | 7        |
| 2.2.1 Elos e Juntas . . . . .                              | 7        |
| 2.2.2 Manipulador, Punho e Atuador Final . . . . .         | 8        |
| 2.2.3 Atuadores . . . . .                                  | 9        |
| 2.2.4 Sensores . . . . .                                   | 10       |
| 2.3 Unidade de Controlo . . . . .                          | 11       |
| 2.3.1 Interface com o Utilizador . . . . .                 | 12       |
| 2.3.2 Secção de Armazenamento . . . . .                    | 12       |
| 2.3.3 Executor de Programas - <i>Interpreter</i> . . . . . | 12       |
| 2.3.4 Controlador de Movimentos . . . . .                  | 13       |
| 2.3.5 Controlador de I/O . . . . .                         | 13       |
| 2.3.6 Rede de Comunicações . . . . .                       | 13       |
| 2.4 Métodos de Programação . . . . .                       | 14       |

|          |                                                                                                 |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.1    | Programação <i>Online</i> . . . . .                                                             | 14        |
| 2.4.2    | Programação <i>Offline</i> . . . . .                                                            | 15        |
| 2.5      | Atuadores Finais . . . . .                                                                      | 16        |
| 2.5.1    | Garras . . . . .                                                                                | 16        |
| 2.5.2    | Ferramentas . . . . .                                                                           | 17        |
| 2.6      | Conceitos Robóticos . . . . .                                                                   | 18        |
| 2.6.1    | Configuração Cinemática . . . . .                                                               | 18        |
| 2.6.2    | Volume de Trabalho . . . . .                                                                    | 19        |
| 2.6.3    | Graus de Liberdade e Mobilidade . . . . .                                                       | 19        |
| 2.6.4    | Velocidade de Operação e Capacidade de Carga . . . . .                                          | 19        |
| 2.6.5    | Resolução, Precisão e Repetibilidade . . . . .                                                  | 20        |
| 2.7      | Configuração Física de um Robô . . . . .                                                        | 20        |
| 2.7.1    | Configuração $R \parallel R \parallel P$ – SCARA . . . . .                                      | 21        |
| 2.7.2    | Configuração $R \vdash R \perp P$ – Esférica . . . . .                                          | 21        |
| 2.7.3    | Configuração $R \parallel P \vdash P$ – Cilíndrica . . . . .                                    | 22        |
| 2.7.4    | Configuração $P \vdash P \vdash P$ – Cartesiana . . . . .                                       | 22        |
| 2.7.5    | Configuração $R \vdash R \perp R$ – Articulada . . . . .                                        | 23        |
| 2.8      | Sistemas de Controlo de Movimento . . . . .                                                     | 23        |
| 2.9      | Cinemática e Dinâmica de um Manipulador Robótico . . . . .                                      | 24        |
| 2.9.1    | Cinemática Direta e Cinemática Inversa . . . . .                                                | 25        |
| 2.9.2    | Dinâmica Direta e Dinâmica Inversa . . . . .                                                    | 25        |
| <b>3</b> | <b>Automação e Robótica Industrial</b>                                                          | <b>27</b> |
| 3.1      | <i>Programmable Logical Controllers</i> . . . . .                                               | 27        |
| 3.1.1    | História dos PLC . . . . .                                                                      | 27        |
| 3.1.2    | <i>Hardware</i> e <i>Software</i> dos PLC . . . . .                                             | 29        |
| 3.2      | Comunicações Industriais . . . . .                                                              | 30        |
| 3.2.1    | Protocolos Industriais . . . . .                                                                | 32        |
| 3.3      | Segurança na Robótica Industrial . . . . .                                                      | 32        |
| 3.4      | Aplicabilidade da Robótica na Indústria . . . . .                                               | 34        |
| 3.4.1    | Aplicações de Manuseamento de Materiais . . . . .                                               | 34        |
| 3.4.2    | Aplicações de Processamento . . . . .                                                           | 35        |
| 3.4.3    | Aplicações de Montagem e Inspeção . . . . .                                                     | 38        |
| <b>4</b> | <b>Indústria de Moldagem de Peças</b>                                                           | <b>41</b> |
| 4.1      | Conceitos e Equipamento Utilizado na Indústria de Moldagem de Plástico por Injeção . . . . .    | 41        |
| 4.1.1    | Máquinas <i>Single-Stage</i> vs Máquinas <i>Two-Stage</i> . . . . .                             | 42        |
| 4.1.2    | Mercado de Máquinas de Moldagem por Injeção . . . . .                                           | 44        |
| 4.1.3    | Garras Utilizadas em Aplicações de Descarga de Peças de Plástico Moldadas por Injeção . . . . . | 45        |
| 4.2      | <i>Software</i> Dedicado à Programação de Soluções de Carga e Descarga                          | 47        |

|          |                                                                                                                    |            |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.2.1    | FANUC Roboguide Handling Tool . . . . .                                                                            | 47         |
| 4.2.2    | FANUC Soft Float e ABB Soft Move . . . . .                                                                         | 48         |
| 4.3      | Interface EUROMAP . . . . .                                                                                        | 49         |
| 4.4      | Caso de Estudo - Manipulação de Peças Resultantes de Processo de Fundição . . . . .                                | 50         |
| 4.4.1    | Abordagem ao Problema e Solução . . . . .                                                                          | 50         |
| 4.4.2    | Equipamento . . . . .                                                                                              | 52         |
| 4.4.3    | Resultados e Conclusões . . . . .                                                                                  | 53         |
| 4.5      | Caso de Estudo - Utilização de Robôs Colaborativos na Produção de Moldagem por Injeção . . . . .                   | 53         |
| 4.5.1    | Abordagem ao Problema e Solução . . . . .                                                                          | 53         |
| 4.5.2    | Equipamento . . . . .                                                                                              | 55         |
| 4.5.3    | Resultados e Conclusões . . . . .                                                                                  | 56         |
| 4.6      | Caso de Estudo - Otimização do Tempo Utilizado num Processo de Manipulação de Peças Moldadas por Injeção . . . . . | 56         |
| 4.6.1    | Abordagem ao Problema e Solução . . . . .                                                                          | 57         |
| 4.6.2    | Equipamento . . . . .                                                                                              | 58         |
| 4.6.3    | Resultados e Conclusões . . . . .                                                                                  | 59         |
| <b>5</b> | <b>Aplicação de Descarga de Peças Plásticas Moldadas por Injeção</b>                                               | <b>61</b>  |
| 5.1      | Descrição do Problema . . . . .                                                                                    | 61         |
| 5.2      | Arquitetura do Sistema . . . . .                                                                                   | 62         |
| 5.2.1    | Diagrama de Blocos . . . . .                                                                                       | 62         |
| 5.2.2    | Equipamentos e Instalação . . . . .                                                                                | 64         |
| <b>6</b> | <b>Implementação Prática</b>                                                                                       | <b>73</b>  |
| 6.1      | Descrição da Implementação . . . . .                                                                               | 73         |
| 6.1.1    | Simulação . . . . .                                                                                                | 74         |
| 6.1.2    | Esquematização da Lógica do Sistema . . . . .                                                                      | 78         |
| 6.1.3    | Programação <i>Offline</i> . . . . .                                                                               | 81         |
| 6.1.4    | Programação <i>Online</i> . . . . .                                                                                | 85         |
| 6.2      | Circuito Elétrico . . . . .                                                                                        | 103        |
| 6.3      | Instalação da Solução . . . . .                                                                                    | 108        |
| <b>7</b> | <b>Testes e Resultados</b>                                                                                         | <b>113</b> |
| 7.1      | Testes Funcionais . . . . .                                                                                        | 113        |
| 7.2      | Problemas Encontrados e Resolução . . . . .                                                                        | 119        |
| 7.3      | Resultados dos Testes Efetuados . . . . .                                                                          | 122        |
| <b>8</b> | <b>Conclusão</b>                                                                                                   | <b>125</b> |
|          | <b>Referências Bibliográficas</b>                                                                                  | <b>127</b> |

|                                                                           |            |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>A Fluxogramas das Rotinas de Programação do Robô</b>                   | <b>133</b> |
| <b>B Código dos Programas e Rotinas Implementadas</b>                     | <b>139</b> |
| <b>C Sinais Digitais de Entradas e Saídas do Controlador Fanuc R-30iB</b> | <b>141</b> |
| <b>D Esquema Pneumático</b>                                               | <b>145</b> |
| <b>E Documentação de Utilização do Sistema</b>                            | <b>149</b> |

---

# Lista de Figuras

---

|      |                                                                                              |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1  | Calendarização de tarefas . . . . .                                                          | 3  |
| 2.1  | Cena da peça “Rossum’s Universal Robots” . . . . .                                           | 6  |
| 2.2  | Controlador mecânico de acionamento dos elos do robô . . . . .                               | 7  |
| 2.3  | Diagrama de juntas de manipuladores industriais . . . . .                                    | 9  |
| 2.4  | Kuka smartPAD . . . . .                                                                      | 12 |
| 2.5  | Braço robótico Fanuc Arc Mate . . . . .                                                      | 18 |
| 2.6  | Manipulador série Fanuc Mate 200iD e manipulador paralelo/delta<br>Fanuc M-2iA/3SL . . . . . | 19 |
| 2.7  | Diagrama de representação da resolução, precisão e repetibilidade . . .                      | 21 |
| 2.8  | Configuração e volume de trabalho de uma configuração SCARA . . .                            | 21 |
| 2.9  | Configuração e volume de trabalho de uma configuração esférica . . .                         | 22 |
| 2.10 | Configuração e volume de trabalho de uma configuração cilíndrica . .                         | 22 |
| 2.11 | Configuração e volume de trabalho de uma configuração cartesiana . .                         | 23 |
| 2.12 | Configuração e volume de trabalho de uma configuração articulada . .                         | 23 |
| 3.1  | Modicon 184 . . . . .                                                                        | 29 |
| 3.2  | Diagrama de <i>hardware</i> de um autômato programável . . . . .                             | 29 |
| 3.3  | Cortina de luz e vedações de segurança numa célula de soldadura . . .                        | 34 |
| 3.4  | Diagrama de soldadura por pontos . . . . .                                                   | 36 |
| 3.5  | Diagrama de controlo de processo por realimentação . . . . .                                 | 39 |
| 3.6  | Diagrama de seleção de peças . . . . .                                                       | 39 |
| 4.1  | Sequência de operações de uma máquina de moldagem por injeção de<br>uma etapa . . . . .      | 43 |
| 4.2  | Sequência de operações de uma máquina de moldagem por injeção de<br>duas etapas . . . . .    | 43 |
| 4.3  | Máquina de injeção FANUC ROBOSHOT $\alpha$ -S150ia . . . . .                                 | 44 |
| 4.4  | Máquina de injeção ENGEL Victory . . . . .                                                   | 45 |
| 4.5  | Garra de ventosas Tetrafix . . . . .                                                         | 46 |

|      |                                                                                                                                           |    |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6  | Garra mecânica Fipa 140 . . . . .                                                                                                         | 47 |
| 4.7  | Interface gráfica Fanuc Roboguide Handling Tool . . . . .                                                                                 | 48 |
| 4.8  | Pinça dupla pneumática para processo de fundição . . . . .                                                                                | 51 |
| 4.9  | Zona de inspeção visual da peça recém fundida . . . . .                                                                                   | 51 |
| 4.10 | Gama de robôs KUKA KR 60 . . . . .                                                                                                        | 52 |
| 4.11 | Solução de manipulação de peças moldadas por injeção por robô co-<br>laborativo Universal Robots UR-10 . . . . .                          | 54 |
| 4.12 | Garra da solução de manipulação de peças moldadas por injeção por<br>robô colaborativo . . . . .                                          | 55 |
| 4.13 | Manipulador robótico Universal Robots UR-10 . . . . .                                                                                     | 55 |
| 4.14 | Interação dos utilizadores com a interface de programação do robô<br>colaborativo da solução de manipulação de peças moldadas por injeção | 56 |
| 4.15 | Preparação de uma nova caixa . . . . .                                                                                                    | 58 |
| 4.16 | Paletização de peças recém moldadas . . . . .                                                                                             | 58 |
| 4.17 | Garra pneumática composta por ventosas e pinças . . . . .                                                                                 | 59 |
| 5.1  | Diagrama de blocos do sistema . . . . .                                                                                                   | 63 |
| 5.2  | Estrutura mecânica da célula auto-portante . . . . .                                                                                      | 64 |
| 5.3  | Trinco de porta Omron D4SL . . . . .                                                                                                      | 65 |
| 5.4  | Sensor magnético Omron F3S . . . . .                                                                                                      | 65 |
| 5.5  | Localização das botoneiras de emergência . . . . .                                                                                        | 66 |
| 5.6  | Relés de segurança Omron G9SE . . . . .                                                                                                   | 66 |
| 5.7  | Robô Fanuc Arc Mate 100iC . . . . .                                                                                                       | 67 |
| 5.8  | Controlador Fanuc R30iB Mate . . . . .                                                                                                    | 68 |
| 5.9  | Consola Fanuc iPendant . . . . .                                                                                                          | 68 |
| 5.10 | Sistema de troca rápida de garra WEMO WGS . . . . .                                                                                       | 69 |
| 5.11 | Garra de manipulação de peças composta por ventosas . . . . .                                                                             | 69 |
| 5.12 | Caixa de equipamento pneumático da garra . . . . .                                                                                        | 70 |
| 5.13 | Unidade de controlo de ar comprimido . . . . .                                                                                            | 70 |
| 5.14 | Tapete de paletização de peças . . . . .                                                                                                  | 71 |
| 5.15 | Caixa de armazenamento de peças de amostra . . . . .                                                                                      | 71 |
| 5.16 | Quadro elétrico e controlador do robô instalados na estrutura . . . . .                                                                   | 72 |
| 5.17 | Célula auto-portante finalizada . . . . .                                                                                                 | 72 |
| 6.1  | Modelo da estrutura autoportante da célula robotizada . . . . .                                                                           | 74 |
| 6.2  | Modelo do perfil de adaptação da garra do robô . . . . .                                                                                  | 74 |
| 6.3  | Simulação da célula robotizada - vista lateral 1 . . . . .                                                                                | 75 |
| 6.4  | Simulação da célula robotizada - vista lateral 2 . . . . .                                                                                | 75 |
| 6.5  | Simulação da célula robotizada - vista de topo . . . . .                                                                                  | 76 |
| 6.6  | Volume de trabalho da célula robotizada em duas orientações distintas                                                                     | 76 |
| 6.7  | Diferenças do volume de trabalho e alcance do robô após reposiciona-<br>mento . . . . .                                                   | 77 |

|      |                                                                                                       |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.8  | Pontos de trabalho do robô no interior da célula orientada para o lado B                              | 78  |
| 6.9  | Esquema da lógica do funcionamento de detecção da orientação da célula                                | 79  |
| 6.10 | Esquematização dos modos de funcionamento do tapete de paletização                                    | 80  |
| 6.11 | Esquema da lógica do funcionamento do tapete de paletização de peças                                  | 81  |
| 6.12 | Estrutura de programação . . . . .                                                                    | 82  |
| 6.13 | Mensagens de alarme personalizadas . . . . .                                                          | 84  |
| 6.14 | Painel de estado de alarmes e possíveis resoluções . . . . .                                          | 85  |
| 6.15 | Janela de escolha de referência . . . . .                                                             | 86  |
| 6.16 | Fluxograma do programa <i>Main</i> . . . . .                                                          | 87  |
| 6.17 | Fluxograma do programa <i>Logic_Prog</i> . . . . .                                                    | 88  |
| 6.18 | Fluxograma do programa <i>Logic_Prog</i> - secção de detecção de zona de trabalho . . . . .           | 89  |
| 6.19 | Fluxograma do programa <i>Logic_Prog</i> - secção de gestão do tapete de saída de peças . . . . .     | 93  |
| 6.20 | Posição de referência - robô fora da máquina no Lado B . . . . .                                      | 94  |
| 6.21 | Fluxograma do programa <i>Logic_Prog</i> - parte 1 da secção da gestão da interface EUROMAP . . . . . | 96  |
| 6.22 | Fluxograma do programa <i>Logic_Prog</i> - parte 2 da secção da gestão da interface EUROMAP . . . . . | 97  |
| 6.23 | Fluxograma do programa <i>T_Sample_B</i> . . . . .                                                    | 101 |
| 6.24 | Fluxograma do programa <i>T_Place_B</i> . . . . .                                                     | 103 |
| 6.25 | Mapeamento de sinais digitais no controlador Fanuc . . . . .                                          | 104 |
| 6.26 | Carta de entradas do controlador Fanuc . . . . .                                                      | 105 |
| 6.27 | Esquema elétrico das entradas digitais . . . . .                                                      | 105 |
| 6.28 | Carta de saídas do controlador Fanuc . . . . .                                                        | 106 |
| 6.29 | Esquema elétrico das saídas digitais . . . . .                                                        | 106 |
| 6.30 | Esquema da tomada Harting para o protocolo EUROMAP 67 . . . . .                                       | 107 |
| 6.31 | Tomada Harting conectada na máquina de injeção . . . . .                                              | 107 |
| 6.32 | Mapeamento dos sinais de robô (RI e RO) . . . . .                                                     | 108 |
| 6.33 | Janelas de configurações de carga . . . . .                                                           | 109 |
| 6.34 | Interruptores de fim de curso da porta lateral da máquina de injeção .                                | 110 |
| 6.35 | Conectores de sinais de fim de curso da porta lateral da máquina de injeção . . . . .                 | 110 |
| 6.36 | Sistema de coordenadas do utilizador <i>user frame[5]</i> - <i>frame lado B</i> . .                   | 111 |
| 7.1  | Menu de ativação da interface EUROMAP na máquina de injeção . .                                       | 114 |
| 7.2  | Menu de sinais da interface EUROMAP na máquina de injeção . . . .                                     | 115 |
| 7.3  | Menu de configuração dos parâmetros do conjunto de ejetores . . . .                                   | 117 |
| 7.4  | Fotos do alcance máximo do robô no interior do molde . . . . .                                        | 119 |
| 7.5  | Garra com cilindro pneumático para manipulação de peças . . . . .                                     | 120 |
| 7.6  | Análise da capacidade de carga do robô para a garra em posição recuada                                | 121 |



|     |                                                                                                             |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.7 | Análise da capacidade de carga do robô para a garra em posição avançada . . . . .                           | 122 |
| A.1 | Fluxograma do programa <i>Logic_Prog</i> - secção de bloqueio e desbloqueio das portas da célula . . . . .  | 134 |
| A.2 | Fluxograma do programa <i>Logic_Prog</i> - secção de arranque e fim de produção e peça de amostra . . . . . | 135 |
| A.3 | Fluxograma do programa <i>Loop_B</i> . . . . .                                                              | 136 |
| A.4 | Fluxograma do programa <i>T_Pick_B</i> . . . . .                                                            | 137 |
| C.1 | Esquema elétrico das cartas de sinais digitais . . . . .                                                    | 144 |
| D.1 | Circuito pneumático do sistema - 1 . . . . .                                                                | 146 |
| D.2 | Circuito pneumático do sistema - 2 . . . . .                                                                | 147 |

---

# Lista de Tabelas

---

|     |                                                                               |     |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1 | Tabela da lógica de escolha da zona de trabalho . . . . .                     | 89  |
| 6.2 | Sinais para a deteção da orientação da célula . . . . .                       | 90  |
| 6.3 | Sinais para arranque e término do ciclo de produção do robô . . . . .         | 91  |
| 6.4 | Sinais analisados na lógica de controlo do tapete de saída de peças . . . . . | 92  |
| C.1 | Sinais de entrada do controlador do robô . . . . .                            | 142 |
| C.2 | Sinais de saída do controlador do robô . . . . .                              | 143 |



---

# Acrónimos

---

| Abreviatura | Descrição                                      |
|-------------|------------------------------------------------|
| CAN         | <i>Controllor Area Network</i>                 |
| CMOS        | <i>Complementary Metal-Oxide Semiconductor</i> |
| DRAM        | <i>Dynamic Random Access Memory</i>            |
| EE          | <i>End Efector</i>                             |
| FANUC       | Fuji Automatic Numerical Control               |
| FBD         | <i>Function Block Diagram</i>                  |
| GM          | General Motors                                 |
| IEC         | International Electrotechnical Commission      |
| IL          | <i>Instruction List</i>                        |
| IP          | <i>Internet Protocol</i>                       |
| I/O         | <i>Inputs and Outputs</i>                      |
| ISEP        | Instituto Superior de Engenharia do Porto      |
| LD          | <i>Ladder Diagram</i>                          |
| MMS         | <i>Manufacturing Messaging Specification</i>   |
| OSI         | <i>Open Systems Interconnection</i>            |
| PLC         | <i>Programmable Logical Controller</i>         |
| PR          | <i>Position Register</i>                       |
| RAM         | <i>Random Access Memory</i>                    |
| RI          | <i>Robot Input</i>                             |
| RO          | <i>Robot Output</i>                            |
| SCARA       | <i>Selective Compliance Assembly Robot Arm</i> |
| SFC         | <i>Sequential Function Charts</i>              |
| ST          | <i>Structured Text</i>                         |
| UOP         | <i>User Operator Panel</i>                     |



## Capítulo 1

---

# Introdução

---

Este documento foi redigido com a intenção de descrever o trabalho desenvolvido na Robotsol em âmbito de estágio curricular e da unidade curricular Tese/Dissertação, do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Ramo de Automação e Sistemas, do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). O trabalho realizado ao longo do estágio curricular consistiu essencialmente no estudo, desenvolvimento e implementação de uma solução robotizada para a descarga de peças plásticas moldadas por injeção.

Ao longo deste capítulo será feita a contextualização do trabalho desenvolvido e serão apresentados os objetivos a alcançar no decorrer do período de estágio curricular. Por fim, é apresentada a calendarização das tarefas desenvolvidas e a forma como o documento está estruturado.

### 1.1 Contextualização

A oportunidade de realizar este projeto surgiu de uma proposta apresentada no Departamento de Engenharia Eletrotécnica do ISEP, pela empresa Robotsol. O projeto em questão surgiu de um problema exposto por um cliente, que pretendia tornar o processo produtivo de uma das suas máquinas mais eficiente. Sabendo que o foco de produção do cliente é a indústria automóvel, mais cedo ou mais tarde irá ser necessário preparar a máquina para uma nova produção. Como tal, a solução do problema deverá ter dinamismo suficiente para a constante alteração das produções, de forma a poder ser adaptada de forma eficiente e eficaz.

O facto do desenvolvimento do sistema ser feito em ambiente industrial revelou uma motivação acrescida, pois permitiu a consolidação de conceitos obtidos ao

longo do processo acadêmico, bem como assimilar novas experiências.

## 1.2 Objetivos

O estudo, desenvolvimento e implementação de uma célula autoportante para a descarga de peças de plástico moldadas por injeção representa o principal objetivo deste estágio curricular, cujo relatório é apresentado nesta Dissertação.

De forma a atingir este objetivo, verificou-se a necessidade de dividir em tarefas, sendo elas:

- análise e compreensão dos requisitos do sistema;
- pesquisa de aplicações similares já implementadas;
- realização de uma simulação do sistema a implementar, através do simulador disponibilizado pelo fabricante do robô;
- esquematização, desenvolvimento e programação da lógica do funcionamento do sistema;
- validação das estruturas mecânicas desenvolvidas pelo departamento mecânico da empresa;
- montagem dos diversos componentes do sistema;
- validação e testes nas instalações da Robotsol do sistema implementado;
- instalação e integração do sistema nas instalações do cliente;
- ajustes e testes finais do sistema global;
- acompanhamento de produção.

## 1.3 Calendarização

Na Figura 1.1 é apresentada a calendarização das principais tarefas que levaram à conclusão do projeto, bem como de outras tarefas elaboradas no decorrer do período de estágio curricular que não contribuíram de forma direta para a conclusão do projeto apresentado nesta Dissertação.

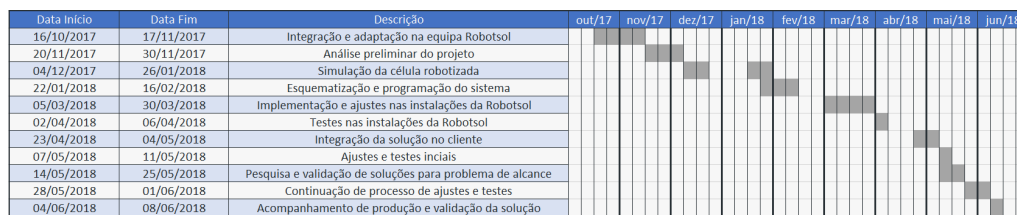


Figura 1.1: Calendarização de tarefas

## 1.4 Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação é constituída por oito capítulos. No Capítulo 1 é apresentada a introdução ao projeto, contextualizando o desenvolvimento deste. São também neste capítulo apresentados os objetivos a alcançar no decorrer do desenvolvimento do sistema, terminando com a sua calendarização.

Com o intuito de fundamentar o sistema robótico desenvolvido, no Capítulo 2 é apresentado um estudo da Estrutura Geral de um Sistema Robótico. Neste capítulo é referenciada uma breve nota histórica sobre estes sistemas para, de seguida, ser descrita a estrutura geral de um robô. São também abordados neste capítulo quais as unidades de controlo, atuadores e métodos de controlo deste tipo de sistemas. São ainda descritos vários conceitos técnicos a ter em conta num sistema robótico. Por fim, é feita uma breve referência aos conceitos de dinâmica e cinemática de um manipulador robótico.

De seguida, no Capítulo 3, são abordados os temas de automação e robótica industrial. Ao longo deste capítulo é feita referência aos controladores lógicos programáveis (PLC) e às comunicações utilizadas em sistemas industriais. É apresentada também uma breve secção acerca da segurança na robótica industrial. Para concluir, são abordados três exemplos de aplicações da robótica na indústria.

De forma a fundamentar a indústria onde se irá inserir a solução desenvolvida, no Capítulo 4 é apresentado um conjunto de conceitos inerentes à indústria de moldagem de peças. Ao longo do capítulo são apresentados diferentes equipamentos e métodos produtivos, bem como as interfaces, *softwares* e protocolos que são considerados neste tipo de indústria. Por fim, são apresentados três casos de estudo com semelhanças ao sistema desenvolvido, sendo em cada um deles feita uma análise ao problema, apresentada a solução e apresentadas as devidas conclusões.

No Capítulo 5 é apresentada a descrição do problema e a arquitetura do sistema, de forma a introduzir o Capítulo 6, onde é descrita a implementação. Ao longo deste capítulo são descritas as diversas tarefas realizadas ao longo do processo de implementação do sistema. Primeiramente, é apresentada a simulação e



esquematização da lógica do sistema, para de seguida ser apresentado o processo de programação. São também apresentadas partes do esquema elétrico de forma a fundamentar questões abordadas ao longo do capítulo para, de seguida, concluir o capítulo com a instalação.

No Capítulo 7 são retratados os vários ajustes, testes e resultados obtidos no momento da integração do sistema nas instalações do cliente. São descritos os vários problemas encontrados ao longo da integração e fundamentadas as soluções para os resolver. Por fim, é feita uma análise aos testes efetuados.

Por último, as conclusões são apresentadas no Capítulo 8, compilando os vários problemas e soluções verificados ao longo do decorrer do desenvolvimento do projeto. São também reunidos os possíveis melhoramentos ao sistema, a implementar no futuro.

## Capítulo 2

---

# Estrutura Geral de um Sistema Robótico

---

Ao longo deste capítulo serão abordados diversos conceitos inerentes à estrutura geral dos sistemas robóticos. De forma a contextualizar estes sistemas, será apresentada uma breve nota histórica e de seguida, serão abordados os restantes conceitos.

### 2.1 Nota Histórica

É da palavra checa *robota* que o termo robô surge [1, 2]. Designando trabalho escravo ou trabalho forçado, a palavra robô foi utilizada pela primeira vez em 1921 por Karel Capek, um escritor e dramaturgo checo, na sua peça “*Rossum’s Universal Robots*” (ver Figura 2.1). Caracterizando o robô como uma máquina de trabalho com aspeto humano, esta obra foi também a primeira peça de ficção científica a aparecer na televisão. Este momento ajudou a impulsionar o arranque da idealização do robô, conduzindo a outras investigações e peças de ficção científica. Muitas são as máquinas retratadas ao longo dos tempos em várias obras, mas verifica-se uma evolução irrealista aos olhos dos robôs dos dias de hoje. Esta fantasia da evolução dos robôs é já remota, onde o homem tenta reproduzir-se a si próprio através de um conjunto de mecanismos, criando uma máquina de trabalho incansável e obediente, capaz de realizar todas as tarefas que um ser humano é capaz de realizar. Com o aparecimento da peça “*Rossum’s Universal Robots*” apareceram outras peças, sendo de destacar algumas delas. É o caso da obra de 1941 “*Runaround*”, do cientista e escritor russo Isaac Asimov. Esta história destaca-se pelo facto de enunciar três leis que caracterizam a robótica, sendo elas:



Figura 2.1: Cena da peça “Rossum’s Universal Robots”[3]

- 1ª lei: um robô em momento algum poderá fazer mal a um ser humano e nem permitir que algo de mal lhe aconteça;
- 2ª lei: um robô deverá obedecer a toda e qualquer ordem do ser humano, a não ser, que lhe cause mal;
- 3ª lei: um robô deverá proteger ao máximo a sua integridade física, respeitando em todo momento as duas leis anteriores.

Com estes factos criou-se a palavra robô, mas a ideologia do ponto de vista teórico já havia sido retratada por Leonardo Da Vinci na sua compilação de anotações "*Codex Atlanticus*" [4]. Foi entre 1495 e 1497 que Leonardo Da Vinci desenhou e idealizou o projeto do primeiro robô antropomórfico articulado da história. Com uma armadura de cavaleiro, o robô de Leonardo era constituído por peças de madeira, pele e metal. O projeto consistia em pelo menos dois sistemas independentes, onde a parte inferior do robô era constituída por pernas, tornozelos, joelhos e ancas com três graus de liberdade, e a parte superior constituída por ombros, cotovelos, punhos e mãos com quatro graus de liberdade. A forma de como os braços eram orientados sugere que o robô fora desenhado para funções de manipulação e todas as juntas moviam-se em uníssono. De forma a controlar os braços, Leonardo Da Vinci idealizou um controlador mecânico (ver Figura 2.2) que consistia num conjunto de engrenagens e cabos que, ao serem acionadas por meio de uma polia central, permitiam o movimento dos braços do robô. As pernas eram também controladas por meio de cabos e a fonte de energia era possivelmente gerada a partir de uma roda hidráulica, como a de um moinho, colocada numa sala adjacente ao local designado ao robô. Este foi o primeiro projeto documentado de um robô e permitiu o início de um tema que até aos dias de hoje ainda é desafiante e revolucionário.

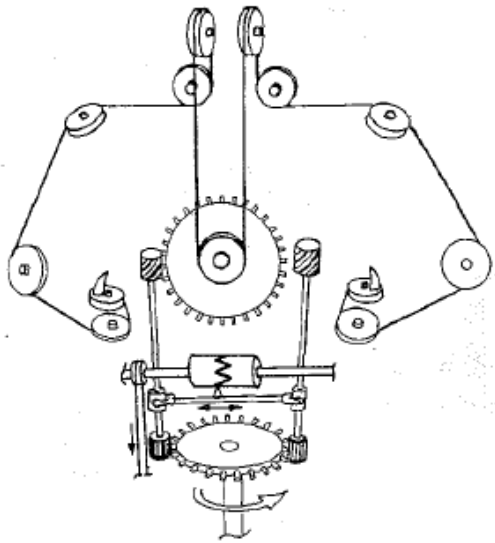


Figura 2.2: Controlador mecânico de acionamento dos elos do robô [4]

## 2.2 Estrutura Geral

### 2.2.1 Elos e Juntas

Os manipuladores robóticos são compostos cinematicamente por elos conectados por juntas, formando uma cadeia cinemática. O robô, do ponto de vista de um sistema, é baseado num conjunto de componentes, sendo eles, a estrutura mecânica, os atuadores, o atuador final, o controlador e a interface de programação [4, 5]. As diversas partes rígidas que constituem o manipulador são consideradas por elos. O braço e punho do manipulador são constituídos por elos, sendo unidos por meio de juntas. Do ponto de vista da cinemática, dois ou mais membros conectados entre si, que não realizem movimentos relativos entre estes, são considerados um único elo/ligação.

Os movimentos do robô são assegurados pelas juntas mecânicas, capacitando o sistema de produzir movimentos rotacionais e prismáticos. Estes dois movimentos diferenciam-se pela forma como o movimento entre ligações adjacentes é realizado, sendo que, geralmente, é possível diferenciar as juntas por *low pair* e por *high pair*. Juntas classificadas por *low pair* representam juntas cinemáticas em que o contacto ocorre sobre as superfícies, enquanto que juntas classificadas por *high pair* representam juntas onde o contacto ocorre apenas em determinados pontos ou ao longo de linhas.

Dentro das juntas *low pair* [6] encontram-se vários tipos de juntas, podendo ser rotacionais, prismáticas ou lineares, ortogonais, torção, revolventes, helicoidais, cilíndricas ou esféricas.

As juntas mais comuns são rotacionais, tipo R, e lineares ou prismáticas, tipo L ou P. Dependendo do tipo de junta, será verificado um movimento diferente entre elos do manipulador. Uma junta rotacional provoca uma rotação relativa entre elos adjacentes enquanto que uma junta linear ou prismática provoca um movimento linear/prismático entre elos adjacentes.

As juntas ortogonais, tipo O, são juntas que apresentam movimento translacional, em que os elos adjacentes à junta movimentam-se perpendicularmente entre si. As juntas de torção, tipo T, e as revolventes, tipo V, por sua vez, realizam movimentos rotacionais. Os movimentos diferem no ângulo formado entre os elos. Numa junta de torção, verifica-se que o eixo de rotação da junta é paralelo ao eixo dos elos que realizam movimento. Numa junta revolvente, os elos são perpendiculares entre si, sendo o eixo de rotação paralelo ao eixo de um elo e perpendicular ao eixo do elo seguinte.

As juntas helicoidais, tipo H, conjugam duas superfícies permitindo movimentos de rotação. Por meio de rotação, a superfície vai apresentar também movimento de translação, tal como um parafuso e uma porca. Idênticas às juntas helicoidais, as juntas cilíndricas, tipo C, também apresentam movimento de rotação e translação, mas os movimentos são independentes um do outro. Numa junta tipo H, para que haja movimento de translação é necessário ocorrer movimento de rotação enquanto que numa junta tipo C, os movimentos são independentes.

As juntas esféricas, tipo S, apresentam movimento de rotação em cada um dos três eixos de coordenada. Pode ser comparada a uma rótula ou a um *joystick*.

Por outro lado, dentro das juntas *high pair* [6] apenas é possível encontrar a existência de um tipo de junta, conhecido por *rolling contact*. Este tipo de junta abrange diversos tipos de geometrias, e é um tipo de movimento desejável pois pelo facto de não haver deslizamento entre peças, estas não apresentarão desgaste por atrito.

Na Figura 2.3 [7], é possível verificar cinco tipos de juntas geralmente utilizadas em manipuladores industriais.

## 2.2.2 Manipulador, Punho e Atuador Final

Composto por elos, juntas e outros componentes estruturais, o manipulador é o corpo principal do sistema robótico, tornando-se funcional no momento em que lhe é acoplado o punho e o atuador final, e quando o seu sistema de controlo é implementado.

O punho do manipulador está localizado entre o braço e o atuador final. É geralmente esférico, simplificando a análise cinemática do sistema, permitindo orientar e posicionar o atuador final conforme o necessário.

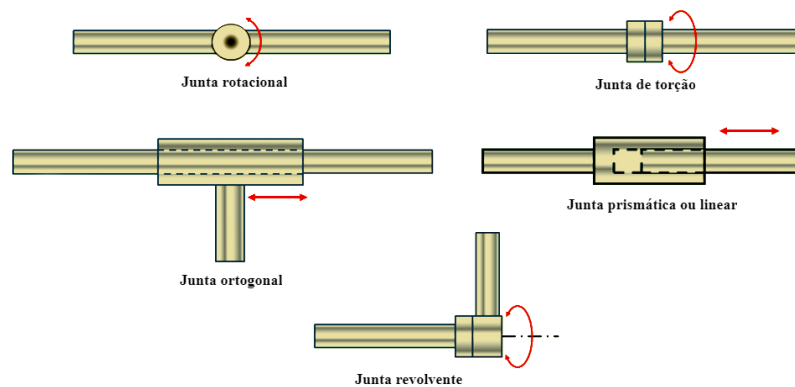


Figura 2.3: Diagrama de juntas de manipuladores industriais [7]

O atuador final é o componente que entra em contacto com o trabalho, e está localizado na extremidade do robô. A pinça ou garra é o atuador final mais simples pois realiza, geralmente, apenas funções de abertura e fecho dos dedos. O atuador final também poderá ser uma ferramenta específica à operação a realizar. Em ambos os casos, a conjugação dos diversos elos e juntas do robô apresentam funções de posicionamento do atuador final, sendo posteriormente este a realizar trabalho. Existe grande interesse no desenvolvimento de atuadores finais para o mais variado tipo de aplicações, de forma a potenciar as funcionalidades já existentes, ou a criação de novas.

### 2.2.3 Atuadores

De forma a permitir que o sistema robótico produza movimento, e consequentemente trabalho, é necessário considerar três componentes integrantes do sistema: atuadores, sensores e o controlador. Os atuadores funcionam como fonte de movimento dos elos. É através da ativação de diversos atuadores que o manipulador se vai movimentar. Estes atuadores podem ser hidráulicos, pneumáticos ou eletromagnéticos.

Um atuador hidráulico [6] é escolhido como fonte de energia quando se procura garantir um rácio energia/peso elevado e um elevado binário a baixas velocidades. O seu funcionamento consiste na pressurização de um fluido por parte de uma bomba ou motor elétrico, que percorre todo o sistema, providenciando a energia necessária. Nos dias de hoje o seu controlo tornou-se mais facilitado com a implementação de servo-válvulas e válvulas solenoide no sistema (controlo proporcional e controlo On/Off, respetivamente). Por natureza, questões de manutenção e de avarias dos sistemas hidráulicos condicionam o correto funcionamento do mesmo,

no sentido em que uma fuga de fluido comprometerá o funcionamento do sistema. Estes sistemas apresentam uma elevada precisão e repetibilidade, mas o seu custo é elevado em relação aos restantes tipos de atuadores.

Um atuador do tipo pneumático [6] é muito usual nos manipuladores mais simples. Apesar de apresentarem pouca eficiência energética, possuem um bom desempenho em movimentos ponto-a-ponto. O seu funcionamento é dependente de um sistema de ar comprimido, mas são atuadores de fácil controlo e de custo relativamente baixo. São atuadores recomendados e implementados em situações e aplicações em que os atuadores eléctricos não podem ser utilizados, devido a questões de segurança, ambientais e da aplicação em concreto.

Os atuadores eletromagnéticos [6] são o tipo mais comum de atuadores utilizados na robótica. Dependendo da dimensão do manipulador, encontram-se vários tipos de motores eléctricos capazes de transformar energia e “alimentar” o robô. É possível verificar a utilização de motores de passo em manipuladores robóticos de pequena dimensão e que não exijam rigor de movimentos, como é o caso de dispensadores de bancada. Nestes casos, o controlo de posição e velocidade é feito em malha aberta, e é através do algoritmo de controlo que é garantido o funcionamento desejado do atuador. Existem também atuadores baseados em motores de corrente contínua (DC) de íman permanente. São caracterizados pelo seu baixo custo e pelos diversos tipos e configurações de motores de íman permanente existentes, permitindo uma aplicabilidade elevada.

Do ponto de vista industrial, os motores *brushless* são a escolha para a grande parte das aplicações de robótica. Estes motores apresentam um bom desempenho a baixo custo, e o facto de não possuírem escovas dispensa uma manutenção mais regular. Apresentam tipicamente rendimentos na ordem dos 85%-90% [8]. O controlo deste tipo de motores é mais complexo comparativamente com os motores DC de escovas.

## 2.2.4 Sensores

Os sensores são responsáveis pela recolha de dados inerentes ao sistema robótico. Estes terão de ser capazes de analisar dados das posições das juntas, acelerações, velocidades e forças do sistema. Estes componentes representam um papel fulcral no que diz respeito ao controlo do sistema, pois o controlador necessita destes dados para efetuar um controlo eficaz do sistema robótico. Na robótica industrial verifica-se a existência de dois tipos de sensores: internos e externos [9].

Os sensores internos fazem parte do sistema robótico com o propósito de integrar o sistema de realimentação do mesmo, ou seja, são responsáveis por fornecer

ao sistema de controlo informação sobre a posição e velocidade das várias juntas do robô. Estes sensores geralmente são codificadores óticos e potenciômetros.

Os sensores externos são integrados no meio que envolve o manipulador. Em várias situações são utilizados componentes geralmente mais simples, tais como interruptores, que fornecem ao sistema informações sobre o funcionamento dos equipamentos adjacentes. Dependendo da situação, poderá ser necessário recorrer a outro tipo de sensores, tais como: sensores táteis, sensores de proximidade, sensores óticos e sistemas de visão de máquina.

- sensores táteis - são sensores capazes de determinar o contacto entre si mesmo e um determinado objeto. Poderão ser úteis para o controlo da força que o atuador final faz sobre um determinado objeto, por exemplo;
- sensores de proximidade - são sensores que indicam a que distância o sensor está de um certo objeto;
- sensores óticos - este tipo de sensor é capaz de detetar a presença e/ou ausência de um objeto na sua proximidade;
- sistemas de visão de máquina - são sistemas de sensores utilizados na identificação de unidades fabricadas, orientação, medições e deteção de defeitos. Geralmente são utilizadas câmaras para a obtenção de imagens que posteriormente são processadas;
- outros tipos de sensores - dependendo da aplicação, poderá ser necessário recorrer a sensores mais específicos, como é o caso de sensores de pressão para sistemas hidráulicos. É possível verificar a existência de outros sensores, tais como: termómetros, pressostatos, caudalímetros, voltímetros, amperímetros, entre outros.

## 2.3 Unidade de Controlo

O controlador do robô é a unidade principal de processamento de informação deste sistema. De forma geral, o controlador na sua função baseia-se em três etapas:

- informação, onde terá de recolher e processar informação referente ao sistema, proveniente dos diversos sensores;
- decisão, onde terá de planear o conjunto de trajetórias e coordenar tarefas que levarão o manipulador a realizar movimento;
- comunicação, onde terá de organizar a informação entre o robô e o ambiente onde está instalado.



O controlador[10] é constituído por uma interface com o utilizador (ver Figura 2.4), uma secção de armazenamento de variáveis de controlo, um executor de programas e por um conjunto de outros controladores e unidades de rede de comunicações.



Figura 2.4: Kuka smartPAD[11]

### 2.3.1 Interface com o Utilizador

Através da interface, o utilizador pode criar programas, mover os vários eixos do manipulador, gravar posições reais para a implementação futura e configurar vários parâmetros e definições do manipulador.

### 2.3.2 Secção de Armazenamento

A secção de armazenamento de variáveis de controlo permite que sejam guardados em memória os diversos dados que constituem um programa. Normalmente são utilizadas memórias de estado sólido de acesso aleatório dinâmico (DRAM) ou memórias de acesso aleatório (RAM) de semicondutor de metal-óxido complementar, ou então, poderá ser utilizado um disco rígido. É possível aceder a esta secção de forma remota, de forma a possibilitar a integração do robô com outros equipamentos.

### 2.3.3 Executor de Programas - *Interpreter*

O executor de programas, ou *interpreter*, tem como função executar os programas criados pelo utilizador. Para tal, terá de interpretar a informação inserida pelo utilizador e convertê-la de forma a ser enviada para o controlador de movimentos, para que este possa controlar os eixos do manipulador tal como desejado.

### 2.3.4 Controlador de Movimentos

O controlador de movimentos é responsável por receber a informação enviada pelo executor de programas, convertendo essa informação em movimento. Este controlador é sub-dividido em três módulos de controlo, sendo eles, o módulo de planeamento de trajetórias, o módulo de interpolação de trajetórias e o módulo de controlo de servo-motores. É também capaz de comunicar com o sistema de sensores, de forma a analisar e condicionar as suas decisões de movimento. É através destes subsistemas que vai ser possível obter movimento a partir da informação introduzida pelo utilizador.

### 2.3.5 Controlador de I/O

O controlador de entradas e saídas (E/S ou do inglês Input/Output (I/O)) é responsável por controlar os diversos periféricos que constituem o sistema do manipulador robótico, controlando e monitorizando por via de sinais de I/O. Vai ser capaz de controlar o atuador final e comunicar com os vários sistemas evolutivos, de forma a sincronizar o ciclo de trabalho do manipulador com a célula de fabrico onde está instalado. É capaz de gerir sinais de I/O analógicos e digitais, podendo também gerir grupos de I/O (conjunto de vários sinais de tipos diferentes).

Sendo o controlador um sistema versátil, pode funcionar de duas formas distintas:

- o controlador faz toda a gestão do sistema robótico, interligando o controlador do robô e todos os seus periféricos. Nesta configuração, o controlador do robô é visto como *master* e o controlador programável do restante sistema, aguarda a receção de dados por parte do controlador do robô. Após esta receção, o controlador programável encaminha os diversos dados para os diversos periféricos e fica à espera do *feedback* destes para os reencaminhar para o robô;
- num outro caso, controlador programável do sistema faz a interligação a mais do que um robô, ficando estes em modo *slave*. Com isto, o controlador programável envia comandos aos vários manipuladores com o intuito de seleccionar ou executar programas, por exemplo.

### 2.3.6 Rede de Comunicações

A rede de comunicações da unidade de controlo é encarregue de controlar e gerir todas as comunicações de um sistema robótico, tais como, ligações a periféricos, controladores ou computadores. A informação comunicada através

da rede inclui sinais de I/O, informações de alarme e informações de estado dos diversos equipamentos do sistema. Os programas do robô e as variáveis de controlo são também transmitidas através desta rede de comunicação. De forma a ser possível efetuar comunicações entre controladores, a rede de comunicações recorre a vários protocolos de comunicação, com o intuito de gerir o intercâmbio de informação entre equipamentos. Os diversos protocolos utilizados nos sistemas industriais são abordados na secção 3.2.

Segundo estes princípios e de forma geral, a unidade de controlo deverá executar o sistema operativo do robô, que proporciona a interface do sistema com o utilizador e deverá executar o *software* de planeamento de trajetórias. Para tal, deve ser capaz de fazer toda a gestão de troca de informação entre os diversos equipamentos que constituem o sistema, garantindo que a informação chega aos diversos destinatários de forma apropriada.

## 2.4 Métodos de Programação

Com o intuito de implementação de um sistema robótico, é necessário recorrer a alguns métodos de programação para que seja possível programar os sistemas de acordo com os requisitos. No caso da programação de um sistema robótico, pretende-se que a configuração e programação do sistema seja feita o mais rapidamente possível e que a programação do sistema resulte numa solução que cumpra os requisitos do projeto. Para tal, é importante que existam ferramentas que facilitem e poupem tempo na programação destes sistemas, de forma a tornar esta tarefa mais eficiente. Existem contudo certas especificações que estas ferramentas deverão de possuir, com o propósito de auxiliar ao máximo a pessoa encarregue por estas programações. Uma ferramenta, de forma ideal, deverá de permitir a especificação de todas as operações que o robô irá realizar, de forma intuitiva e que se assemelhe ao máximo ao que sucede no mundo real [12]. Em regra geral, os métodos de programação de robôs respondem aos problemas de uma forma suficientemente simples e com soluções orientadas ao problema. Dependendo do projeto a executar, poderão ser encontrados entraves no que toca à programação de um dado sistema, no sentido da impossibilidade de existir um contacto direto com o sistema. Como tal, existem dois métodos de programação distintos: a programação *online* e a programação *offline*.

### 2.4.1 Programação *Online*

Na programação *online* o programador tem contacto direto com o sistema. Tem a possibilidade de interagir com o sistema e utilizar as suas funcionalidades em tempo real. Na programação de sistema robóticos, recorrendo a este tipo de

programação, é possível definir trajetórias de movimento através do robô. Esta definição de trajetórias envolvendo o robô é conhecida por *leadthrough programming* [10] e consiste na pessoa encarregue da programação do robô, movimentar o manipulador e o robô até um conjunto de posições que se pretende memorizar, de forma a criar um programa. Isto pode ser feito de forma manual, posicionando o manipulador num conjunto de pontos que se pretende armazenar. Este método é útil quando se pretende a definição de uma trajetória complexa, tal como acontece nas aplicações de pintura. A outra forma de programação *online* é a forma automática, onde o programador, através de um *teach-pendant*, conduz o manipulador e guarda as posições que pretende. É possível também associar velocidades e tipos de movimentos entre pontos. É muito útil em aplicações de *pick and place*. Apesar de ser um método intuitivo de programação poderá apresentar problemas no que toca à paragem de uma linha de produção de que o robô faça parte, por exemplo [10, 12].

### 2.4.2 Programação *Offline*

No método de programação *offline* não é necessário recorrer ao robô durante a tarefa de programação. Esta tarefa é geralmente efetuada recorrendo a ferramentas dedicadas à programação de robôs para uma determinada aplicação, tal como aplicações de soldadura ou de pintura, que usualmente são mais complexas e exigem um maior número de horas de programação [12]. É possível também recorrer à programação textual do robô, utilizando linguagens de programação dedicadas, mas existe sempre um problema no que toca ao conhecer com precisão as coordenadas dos pontos a atingir. Poderá ser feita uma programação que envolva os dois métodos, em que primeiro é feito um programa estruturalmente bem organizado (método *offline*) e posteriormente, recorrendo ao robô, completar os pontos previamente declarados com as posições reais (método *online*) [12]. Contudo, ao existirem ferramentas dedicadas para a programação e simulação de células robotizadas, a tarefa de programação *offline* é facilitada. Através destas ferramentas é possível modelar toda uma célula de fabrico e posteriormente definir as trajetórias que o robô vai realizar nesta célula. É muito útil como método de teste, verificação e deteção de erros em programações realizadas *offline*. Estas ferramentas permitem que seja realizado um grande volume de trabalho com grande precisão, sem recorrer ao robô. O método de programação *offline* apresenta diversas vantagens, tais como:

1. a facilidade do estudo de diversas soluções para um determinado problema;
2. o isolamento do programador de zonas de funcionamento dos sistemas robóticos, aumentando a segurança deste;

3. simplificação de tarefas muito complexas, ao proporcionar uma maior percepção do funcionamento de um sistema complexo;
4. a integração com sistemas computer-aided design (CAD)/computer-aided manufacturing (CAM);
5. verificação e simulação dos sistemas antes da sua implementação, garantindo a ausência de colisões durante o ciclo de movimentos do robô.

## 2.5 Atuadores Finais

Com a necessidade de interagir com determinadas peças no decorrer de uma certa atividade, o robô necessita de ter acoplado no seu punho um componente que lhe dê a capacidade de realizar as tarefas a que é destinado. O atuador final é este componente e é desenvolvido e implementado de acordo com a aplicação a que o sistema robótico se destina. O atuador final poderá adicionar capacidades de agarrar ou manipular objetos, por exemplo, ou poderá ter acoplada uma ferramenta específica e movimentar apenas esta. Com isto se conclui que cada tipo de aplicação vai exigir um tipo de atuador final diferente, de forma a ser possível executar essa função.

### 2.5.1 Garras

As garras ou pinças (*grippers* em inglês) são atuadores finais desenvolvidos com o propósito de manipulação de objetos [9]. São particularmente úteis para aplicações de trabalho que consistem em mover peças de um ponto para outro, como o carregamento/descarregamento de materiais de uma máquina ou a extração de uma peça acabada no final de uma célula de fabrico. Geralmente, as garras também permitem a utilização de ferramentas sem que estas estejam diretamente implementadas no manipulador, sendo a garra a segurar a ferramenta em questão. As garras podem ser de diversos tipos, diferindo consoante a finalidade a que se destinam, podendo ser:

- garras mecânicas;
- garras magnéticas;
- garras de agulhas;
- garras de dedos articulados;
- garras de sucção.

### 2.5.2 Ferramentas

Quando surge a necessidade do sistema robótico executar alguma operação na célula de fabrico, as ferramentas tornam-se um grande aliado ao robô [13]. Geralmente é possível verificar a utilização de ferramentas em operações mecânicas, operações de inserção e montagem, operações de soldadura, operações de pintura e operações de corte.

Em operações mecânicas, é usual verificar a utilização de ferramentas para funções de rebarbagem, polimento e furação, e como tal é normal serem utilizadas máquinas rotativas para a execução destas funções. Normalmente, este tipo de ferramenta funciona a ar comprimido.

Quando uma operação de montagem requer um maior nível de precisão, é necessário recorrer a sistemas de inserção mais especializados. Estes sistemas permitem compensar eventuais desvios e/ou desalinhamentos, corrigindo o movimento do braço robótico e fazendo com que o desvio seja compensado. Geralmente, este tipo de ferramentas de compensação são constituídas por elementos de visão artificial e sensores de vários tipos, para que o sistema obtenha através destes dados inerentes à função de montagem, que após processados, permitam atuar de forma a compensar o erro.

As operações de soldadura são muito frequentes no meio industrial, pois um sistema robótico é capaz de executar esta operação com elevada precisão e repetibilidade. Nas operações de soldadura destacam-se a soldadura por arco elétrico e a soldadura por pontos. Na soldadura por arco elétrico o robô é equipado com uma tocha de soldadura e o sistema que alimenta a tocha (gás, energia elétrica e eletrodo) pode passar por dentro do braço do robô, como verificado na Figura 2.5. Na soldadura por pontos é necessário acoplar uma pinça de soldadura ao robô. A pinça consiste em dois eletrodos que ao estarem em contacto com dois materiais metálicos vão criar a fusão destes, num único ponto. É necessária a alimentação elétrica das pinças para se executar o processo de soldadura e, em certos casos, os cabos passam pelo interior do braço do robô.

A indústria automóvel e outras similares requerem sistemas capazes de executar trabalhos de pintura da forma mais rápida e com a melhor qualidade possível. Os sistemas robóticos de pintura respondem aos requisitos, pois permitem padrões de trabalho constantes e permitem também a relocalização de operadores para funções que constituam um menor risco à sua saúde. Estes sistemas consistem numa pistola de pintura ou num atomizador de pintura instalados no braço robótico, sendo este programado para realizar a tarefa de pintura de forma autónoma. Devido ao ambiente onde estes sistemas são instalados, é necessária uma maior preocupação no que diz respeito ao isolamento do manipulador, pois certas partes do robô ao entrarem em contacto com as partículas de tinta, provenientes do processo de pintura, podem ficar danificadas. Como tal, é necessária



Figura 2.5: Braço robótico Fanuc Arc Mate [14]

a utilização de mangas de proteção no braço robótico, de forma a protegê-lo da tinta.

As operações de corte são também operações que se caracterizam pela precisão, e os sistemas robóticos aliados a ferramentas de corte propiciam excelentes condições para a realização deste tipo de operações. Existem diversas ferramentas de corte, destacando-se as de corte por laser e as de corte por jato de água.

## 2.6 Conceitos Robóticos

De modo a que seja possível estudar e implementar um sistema robótico, é necessário considerar vários conceitos inerentes a estes sistemas. Conceitos como configuração cinemática, volume de trabalho, resolução, precisão e repetibilidade estão inevitavelmente ligados aos sistemas robóticos, caracterizando e classificando os aspetos destes sistemas.

### 2.6.1 Configuração Cinemática

A configuração de um robô representa a estrutura cinemática deste [5], podendo o manipulador possuir uma estrutura em série ou em malha aberta, ou uma estrutura paralela, delta ou em malha fechada (ver Figura 2.6). Um manipulador com geometria série verifica-se quando os elos do manipulador são ligados em série, enquanto que um manipulador com geometria delta possui os seus elos ligados em paralelo.



Figura 2.6: Da esquerda para a direita: manipulador série Fanuc Mate 200iD [15], manipulador paralelo/delta Fanuc M-2iA/3SL [16]

Um manipulador poderá possuir vários tipos de juntas, conectando os vários elos do manipulador [17]. Os elos, são estruturas mecânicas sólidas que por intermédio de juntas, se conectam a outros elos, à exceção de dois, o elo da base do manipulador e o elo mais afastado da base, que se conecta a um atuador final.

### 2.6.2 Volume de Trabalho

O volume de trabalho representa o conjunto de todos os pontos que podem ser alcançados pelo sistema robótico, ou seja, é o espaço que o atuador final consegue alcançar. O volume de trabalho vai depender do tipo de geometria do manipulador, devido às limitações mecânicas inerentes de cada geometria, e dos limites de movimentos das juntas.

### 2.6.3 Graus de Liberdade e Mobilidade

Os graus de liberdade e os graus de mobilidade ajudam a descrever os diversos movimentos realizados pelo manipulador. Ao número total de movimentos independentes que um manipulador é capaz de realizar dá-se o nome de graus de liberdade enquanto que os graus de mobilidade são representados pelo número de juntas do sistema.

### 2.6.4 Velocidade de Operação e Capacidade de Carga

Dois conceitos inerentes a um manipulador robótico que vão ter grande impacto na sua escolha são a velocidade de operação e a capacidade de carga que este apresenta. A velocidade de operação de um manipulador [18] deverá ser adequada à tarefa que este vai executar. Na escolha de um manipulador, será necessário considerar o peso do objeto a manipular e a precisão com que este será



posicionado, de forma a ser possível escolher um robô capaz de atingir velocidades de operação que garantam estes requisitos. A distância que se pretende atingir numa determinada operação também terá impacto na escolha do manipulador, pois velocidades de operação maiores são mais indicadas para movimentos mais longos.

Por outro lado, a capacidade de carga especifica quais as condições limite em que o manipulador poderá funcionar corretamente. Este conceito pode ser apresentado por capacidade de carga máxima e nominal, sendo definidos da seguinte forma:

- capacidade de carga máxima - carga máxima que o manipulador suporta à velocidade máxima, sem perder precisão;
- capacidade de carga nominal - carga máxima que o manipulador suporta a velocidade reduzida, sem perder precisão;

### 2.6.5 Resolução, Precisão e Repetibilidade

Existem três grandes conceitos [19] que ajudam a definir um robô, representando as suas características e capacidades em termos de posição. A resolução, neste caso de um manipulador, representa o incremento mínimo de movimento que o manipulador é capaz de realizar. Esta resolução é influenciada pelo sistema mecânico e pelo sistema de controlo.

A precisão de um manipulador robótico representa a capacidade da extremidade do manipulador se posicionar o mais perto possível do ponto desejado. Este parâmetro é medido pela distância entre a posição desejada/programada e a posição realmente alcançada pelo manipulador.

A repetibilidade é um termo estatístico associado à precisão, que representa a diferença de posição entre deslocações para um mesmo ponto. Com isto, define a capacidade do manipulador se posicionar repetidamente na mesma posição. A carga exercida no atuador final e/ou o desgaste/desajuste do sistema mecânico, por exemplo, vão degradar a repetibilidade do manipulador [10, 19].

A figura seguinte representa os três conceitos supracitados.

## 2.7 Configuração Física de um Robô

É possível verificar a existência de várias configurações diferentes de um manipulador visto que cada junta pode ser rotacional ou prismática, e os eixos de duas juntas adjacentes podem ser paralelos ( $\parallel$ ), ortogonais ( $\perp$ ) ou perpendiculares ( $\perp$ ) [5]. De entre as possíveis configurações de um manipulador, deve-se dar

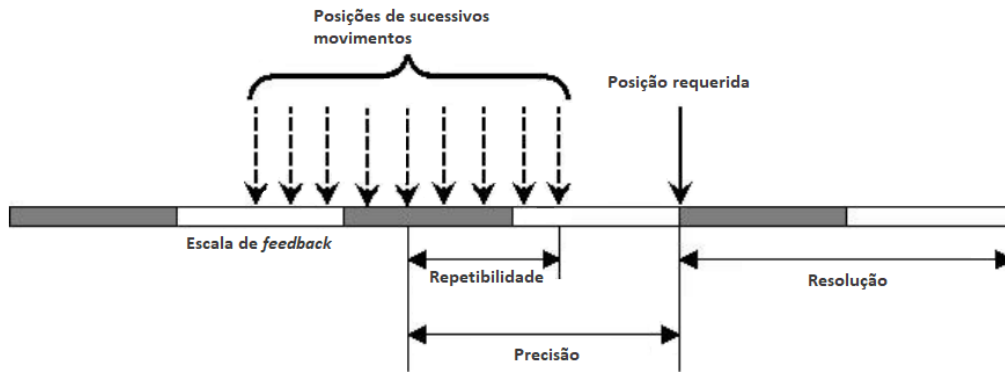


Figura 2.7: Diagrama de representação da resolução, precisão e repetibilidade [19]

especial atenção a cinco configurações [20], sendo elas: *Selective Compliance Assembly Robot Arm* (SCARA) ( $R \parallel R \parallel P$ ), esférica ( $R \perp R \perp P$ ), cilíndrica ( $R \parallel P \perp P$ ), cartesiana ( $P \perp P \perp P$ ) e articulada ( $R \perp R \perp R$ ).

### 2.7.1 Configuração $R \parallel R \parallel P$ – SCARA

SCARA é uma configuração que conjuga eixos de movimento rotativo num plano horizontal, com movimento linear vertical (ver Figura 2.8). É uma configuração que permite grandes velocidades de movimento para um posicionamento preciso, proporcionando movimentos isentos de vibrações, sendo por estas razões uma escolha frequente para aplicações de montagem [10]. A figura seguinte representa a configuração e o volume de trabalho de uma configuração SCARA.

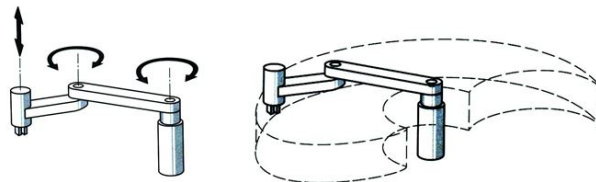


Figura 2.8: Configuração scara de um manipulador (esquerda) e volume de trabalho de uma configuração SCARA (direita) [20]

### 2.7.2 Configuração $R \perp R \perp P$ – Esférica

Esta configuração resulta da conjugação de dois eixos de movimento rotacional num plano horizontal e vertical, com um movimento linear [1] (ver Figura 2.9). O termo esférico é proveniente do facto da posição do atuador final ser definida através de coordenadas esféricas [1, 5]. Este tipo de configuração é muito útil para aplicações de paletização e carga e descarga de maquinaria [10].

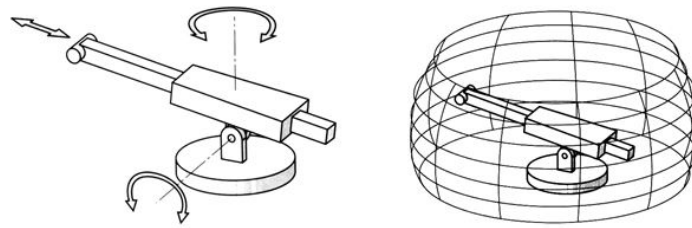


Figura 2.9: Configuração esférica de um manipulador(esquerda) e volume de trabalho de uma configuração esférica (direita) [17]

### 2.7.3 Configuração $R \parallel P \vdash P$ – Cilíndrica

Esta configuração resulta da conjugação de dois eixos ortogonais de movimento linear com um eixo de movimento rotacional [1] (ver Figura 2.10). Tal como na configuração esférica, o nome desta configuração advém das coordenadas da posição do atuador final serem cilíndricas [5]. Em termos de aplicabilidade, este tipo de configuração é utilizada no mesmo tipo de aplicações que a configuração esférica.

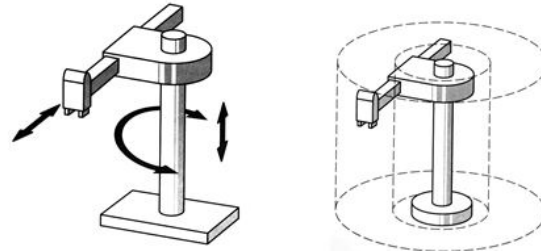


Figura 2.10: Configuração cilíndrica de um manipulador (esquerda) e volume de trabalho de uma configuração cilíndrica (direita) [20]

### 2.7.4 Configuração $P \vdash P \vdash P$ – Cartesiana

Esta configuração é descrita por conjugar três eixos ortogonais de movimento linear [1, 10] (ver Figura 2.11). Estruturalmente, este tipo de configuração é geralmente encontrada em robôs tipo pórtico, ou *gantry*. Esta configuração apresenta movimento retilíneo nos eixos  $x$ ,  $y$  e  $z$ . São sistemas robóticos simples e existe grande diversidade no que toca a componentes desenvolvidos pelos fabricantes, desde eixos, *drivers*, sistemas de controlo, etc. [10].

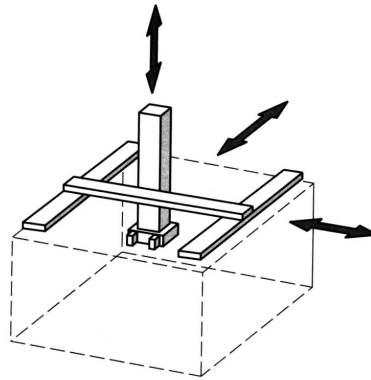


Figura 2.11: Configuração e volume de trabalho de uma configuração cartesiana de um manipulador[20]

### 2.7.5 Configuração $R \vdash R \perp R$ - Articulada

A configuração articulada é constituída por três juntas rotacionais e representa a configuração mais aproximada de um braço humano, sendo também designada por configuração antropomórfica [20](ver Figura 2.12). Por essa razão, é muito aplicada nos manipuladores.

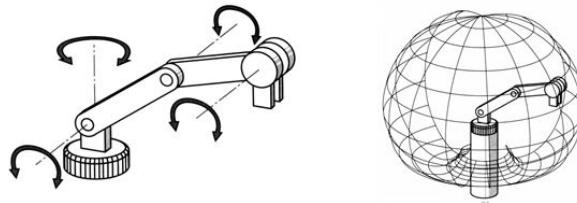


Figura 2.12: Configuração articulada de um manipulador (esquerda) e volume de trabalho de uma configuração articulada (direita) [10]

## 2.8 Sistemas de Controlo de Movimento

Com o intuito de se realizar um ciclo de movimento, é necessário considerar um sistema de controlo capaz de atuar sobre as juntas do manipulador, de forma a que este realize o movimento pretendido. Existem quatro tipos de sistemas de controlo que diferem na complexidade com que definem os ciclos de movimento. Controlo de movimento de sequência fixa, ponto a ponto, trajetória contínua e controlo inteligente são os quatro tipos de controlo de movimentos de um manipulador, sendo escolhidos dependendo da aplicação a que o manipulador se destina [9].

- controle de sequência fixa - tipo de sistema de controle mais elementar, permitindo atuar sobre as juntas de uma forma simples. Considera um sistema de realimentação para confirmar que determinado movimento numa junta foi completo. Visto não possuir um servo-motor, não permite um posicionamento muito preciso da junta e também não permite o ajuste de velocidade;
- ponto a ponto - tipo de sistema de controle mais sofisticado, capaz de armazenar diversos parâmetros que definem um determinado ciclo de movimentos. Neste tipo de sistema de controle os diversos pontos que constituem um determinado ciclo de movimentos são armazenados individualmente em memória, juntamente com os parâmetros que os caracterizam, tais como a velocidade. O sistema de realimentação é utilizado para confirmar se cada uma das juntas atinge a posição previamente programada. O deslocamento é feito entre quaisquer dois pontos presentes no volume de trabalho, sendo que a trajetória e a velocidade são constantes ao longo de um movimento entre pontos;
- trajetória contínua - tipo de controle que permite a implementação de trajetórias totalmente ou parcialmente contínuas, possibilitando um maior controle dos eixos. Pode ser equiparado ao sistema de controle ponto a ponto, mas este sistema de controle possui maior capacidade de armazenamento de informação, memorizando um maior número de posições, o que implica um ciclo de movimentos mais suave. O sistema de controle por trajetória contínua utiliza interpolações matemáticas para o cálculo de trajetórias, coisa que no controle ponto a ponto não acontece;
- controle inteligente - tipo de controle dinâmico, capaz de interagir com o ambiente que o rodeia. Permite o ajuste em tempo real dependendo do estado em que se encontra o sistema onde está instalado. É através da leitura de sensores que as decisões vão ser tomadas. Sistemas que recorram à visão artificial são um bom exemplo de um sistema de controle inteligente.

## 2.9 Cinemática e Dinâmica de um Manipulador Robótico

Recorrendo à definição da palavra, cinemática é um ramo da mecânica responsável por definir o movimento de objetos sem considerar as forças relativas a este movimento. Como tal, um manipulador é capaz de se movimentar e de se posicionar, e a cinemática ajuda a definir esta movimentação e posicionamento através da cinemática direta e da cinemática inversa [6].

Por outro lado, a dinâmica permite relacionar as forças geradas na movimentação de um robô, em que por meio de um conjunto de equações é possível

calcular diversos parâmetros inerentes a uma dada trajetória de um manipulador [10].

### 2.9.1 Cinemática Direta e Cinemática Inversa

O problema da cinemática direta consiste em encontrar a posição e orientação do atuador final em relação à base do manipulador, através das coordenadas das juntas e dos parâmetros dos elos.

Por outro lado, o problema da cinemática inversa é ser capaz de descobrir as coordenadas das juntas para o atuador final ser capaz de alcançar um dado ponto, através de um conjunto de parâmetros relativos às posições e orientações dos elos do manipulador [5, 6]. Para que seja encontrada uma solução viável através da cinemática inversa, é necessário que a posição e orientação do atuador final estejam dentro do espaço de trabalho do manipulador. Pode acontecer que sejam encontradas mais do que uma solução para uma mesma localização e como tal, poderá ser necessário complementar a solução com métodos numéricos ou escolher uma solução de entre as encontradas que garanta uma configuração isenta de colisões [5, 6].

### 2.9.2 Dinâmica Direta e Dinâmica Inversa

O problema da dinâmica direta passa por determinar as acelerações, posições e velocidades das juntas do robô, a partir de binários/forças especificadas [6].

Por outro lado, a dinâmica inversa, deverá determinar através de processos matemáticos os binários/forças das juntas de um robô, através da trajetória efetuada pelo mesmo (acelerações, posições e velocidades) [6].

Em suma, neste capítulo foram apresentados os vários conceitos inerentes à estrutura geral dos sistemas robóticos. Foram abordados também os métodos de programação, atuadores finais e as várias configurações físicas que um manipulador robótico pode apresentar. De uma forma breve, foram referidos os sistemas de controlo de movimento um manipulador e também foram apresentados os conceitos de cinemática e dinâmica.



## Capítulo 3

---

# Automação e Robótica Industrial

---

Tal como indica o título, neste capítulo serão apresentados conceitos inerentes aos autómatos programáveis e serão apresentados vários tipos de aplicações industriais que recorrem à automação e à robótica.

### 3.1 *Programmable Logical Controllers*

*Programmable Logical Controllers* (PLC) ou autómatos programáveis, são as unidades centrais de controlo dos mais diversos tipos de sistemas industriais automatizados [21]. Os autómatos podem ser vistos como computadores desenhados especificamente para funcionarem nas mais adversas condições, garantindo elevados níveis de fiabilidade. Os PLC são constituídos por dois sub-sistemas: o sub-sistema da unidade de controlo e o sub-sistema de interfaces I/O. O microcontrolador do PLC utiliza a memória para armazenar as diversas instruções e implementar funções que desencadeiam o funcionamento de máquinas e processos [22], e é através do sistema de interfaces I/O que vai ser possível obter os sinais inerentes ao funcionamento do sistema. É também através da interface de saídas que o autómato vai ser capaz de atuar sobre o sistema.

#### 3.1.1 História dos PLC

Os autómatos programáveis, ou PLC, revolucionaram a automação industrial, no sentido em que vieram proporcionar novas funcionalidades e otimizar outras de difícil implementação. Até ao aparecimento dos PLC, o controlo dos sistemas automatizados era feito com recurso a relés. Este tipo de sistema era funcional, mas com o avanço tecnológico e com o desenvolvimento e evolução das indústrias,



estes sistemas tenderiam a demonstrar diversos problemas. Com a necessidade de inclusão de mais uma linha fabril, por exemplo, mais relés seriam necessários para efetuar o controlo do sistema, chegando a situações tão complexas que seriam necessários relés de controlo para controlar os relés de potência [21]. Questões de manutenção eram muito importantes para garantir a fiabilidade do sistema, pois caso um relé deixasse de funcionar corretamente, o funcionamento do sistema poderia estar comprometido. Por estas razões, procurou-se uma nova técnica de controlo capaz de solucionar os problemas da anterior e que apresentasse novas funcionalidades. Empresas como a General Motors (GM) ficaram a conhecer o conceito de controlo computadorizado. A GM pretendia alterar um sistema de produção controlado por relés e, como tal, apresentou os requisitos [21] que a nova versão do sistema de controlo deveria apresentar, sendo eles:

1. um sistema de estado sólido flexível como um computador, mas com um preço equivalente a um sistema controlado por relés;
2. o sistema deveria apresentar uma manutenção simples e uma programação integrável com a já implementada no sistema de controlo por relés, através da lógica *ladder*;
3. o sistema deveria ser modular e capaz de ser melhorado consoante as necessidades;
4. o sistema deveria resistir às diversas condições adversas que os ambientes industriais apresentam.

Esta nova versão de sistema de controlo permitiu dar o arranque para o desenvolvimento dos PLC tal como estes são nos dias de hoje, mas no início do desenvolvimento destes, os investigadores depararam-se com diversos problemas. Dick Morley, um engenheiro elétrico conhecido por ser o "pai dos PLC, foi o fundador e presidente da Bedford Associates que mais tarde criou a Modicon [23]. Este enunciou que o desenvolvimento destes sistemas de controlo não foi fácil. Em termos de memória, a primeira máquina apenas apresentava 125 palavras (*words*) de memória e a velocidade com que esta processava a informação também não era a mais favorável. Com estas características, rapidamente se esgotava a memória disponível e a velocidade com que a máquina processava uma função em nada se equiparava aos relés [21]. Morley já era experiente em criar sistemas de controlo baseados em relés e, como tal, possuía uma boa base para iniciar o desenvolvimento do primeiro autómato programável. Após o desenvolvimento de vários protótipos, Morley criou a Modicon, empresa dedicada ao desenvolvimento e venda de autómatos programáveis, sendo o primeiro PLC vendido o Modicon 084, pois era também o 84º protótipo funcional desenvolvido por Dick Morley. O Modicon 084 foi o autómato apresentado à GM para responder às necessidades da

empresa e também começou a ser vendido a outras empresas com relativo sucesso, mas foi com o Modicon 184, ilustrado na Figura 3.1, que as vendas começaram a aparecer com maior impacto. Ao passo que as vendas iam aumentando, também o conhecimento e experiência aumentava, permitindo que a empresa continuasse a evoluir e a desenvolver novos PLC [21].



Figura 3.1: Modicon 184 [21]

### 3.1.2 Hardware e Software dos PLC

Tal como acontece na maioria dos equipamentos eletrônicos que existem nos dias de hoje, tal como computadores e telemóveis, estes podem ser representados como a síntese de dois sistemas globais: o *hardware* e o *software*. A existência destes dois grupos não faz sentido se estes não funcionarem mutuamente e em simultâneo. Tipicamente, um PLC é um sistema composto por várias unidades funcionais, tais como a unidade do processador, a memória, a fonte de alimentação, a interface de I/O, a interface de comunicações e a interface de programação. Como é possível observar na Figura 3.2, estes blocos constituem a unidade de *hardware* de um autómato [22].

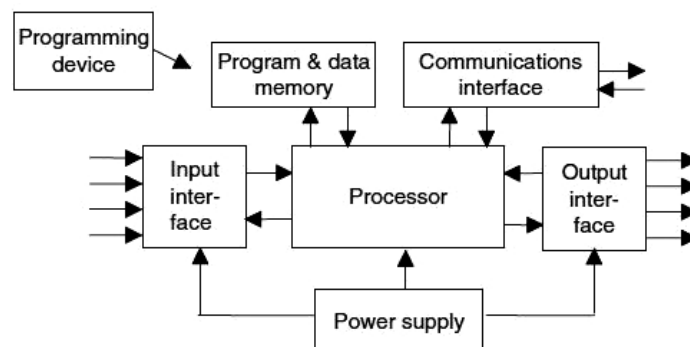


Figura 3.2: Diagrama de *hardware* de um autómato programável [22]

É através do *software* de um autômato que um programador vai ser capaz de criar toda a lógica necessária para fazer com que uma máquina/processo execute um determinado funcionamento. É com a programação do autômato que é possível "decidir" de que forma os sinais provenientes do sistema vão ser tratados e de que forma se vai atuar sobre o sistema. É com o *software* que também vai ser possível criar interfaces gráficas que permitam o utilizador usufruir do sistema. Numa fase inicial, cada fabricante implementava uma versão diferente da programação em *ladder*, e com o aumento dos fabricantes deste tipo de equipamentos, foi necessário definir uma norma internacional para este tipo de linguagem de programação. A norma IEC 61131 rege todos os conceitos, definições e requisitos inerentes ao funcionamento de um PLC. Esta norma representa o *standard* global da programação industrial, definindo de que forma pessoas diferentes devem programar este tipo de sistemas [24]. A norma pode ser dividida em oito partes [22, 24] sendo elas:

- parte 1: definição geral dos conceitos e terminologia dos PLC;
- parte 2: requisitos e testes dos equipamentos eletrônicos e mecânicos que constituem o PLC;
- parte 3: definição das linguagens de programação (*ladder* (LD), blocos de funções (FBD), texto estruturado (ST), lista de instruções (IL) e gráficos de funções sequenciais (SFC));
- parte 4: orientação técnica sobre informações gerais, seleção, instalação e manutenção de PLC;
- parte 5: definição do tipo de sistema de comunicação a ser usado nas comunicações entre autômatos programáveis e outros sistemas: Especificação de Mensagens de Fabricação (do inglês *Manufacturing Messaging Specification* (MMS));
- parte 6: definição dos requisitos funcionais do PLC e seus periféricos;
- parte 7: definição básica dos elementos de lógica de controlo difusa, utilizada na programação dos autômatos programáveis;
- parte 8: guias de auxílio para a implementação das linguagens de programação descritas na parte 3.

## 3.2 Comunicações Industriais

Com o avanço tecnológico, os sistemas industriais cada vez se apresentam mais complexos e com mais funcionalidades. Como tal, um sistema industrial é

geralmente constituído por um elevado número de equipamentos, sendo necessário fazer a integração de todos estes com o sistema global. Para que se integrem os diversos equipamentos num sistema é necessário recorrer-se a técnicas de comunicação dedicadas a este tipo de aplicações.

As comunicações industriais são uma tecnologia onde se verificou uma grande evolução ao longo dos anos, tanto por razões de evolução natural dos mercados como pela razão de ser necessário desenvolver novas funcionalidades, de forma a solucionar eventuais problemas. A nível industrial, verificou-se que para responder ao problema dos sistemas possuírem cada vez mais equipamentos foi necessário desenvolver e implementar uma tecnologia que fosse capaz de gerir todas as ligações entre equipamentos. É neste momento que a tecnologia *Fieldbus* é implementada em sistemas industriais [25].

Sabendo que existe um elevado número de aplicações industriais que requerem a implementação de uma rede de comunicações complexa, foi necessário definir um modelo de referência internacional, que defina os níveis e características deste tipo de redes de comunicação. O modelo de interconexão de sistemas abertos (do inglês *Open Systems Interconnection* (OSI)) é o modelo internacional para as redes de comunicações, constituído por sete camadas que definem e descrevem as características que uma rede de comunicação deverá de seguir. Estas são as sete camadas que constituem o modelo OSI [26]:

1. Camada Física - nesta camada são descritas todas as características elétricas e funcionais de uma rede, definindo as características da transmissão da rede, conectores e interfaces, codificação e modulação de sinais;
2. Camada de Dados - nesta camada são descritos os métodos de troca de dados entre redes e os métodos de controlo de erros a considerar nestas trocas de dados;
3. Camada de Rede - nesta camada são descritas as técnicas de encaminhamento/fragmentação de pacotes, necessárias para o estabelecimento, manutenção e encerramento de ligações/troca de dados;
4. Camada de Transporte - esta camada descreve técnicas que permitem que os dados transferidos entre sistemas sejam corretamente interpretados, de forma transparente e eficiente. Disponibilizam também controlo extremo-a-extremo e mecanismos de controlo de erro e de fluxo;
5. Camada de Sessão - esta é a primeira camada orientada ao utilizador. Descreve o controlo sobre as aplicações, aplicando técnicas de sincronismo e de estruturação;
6. Camada de Apresentação - esta camada é responsável por encriptar e comprimir os dados recebidos através da camada de aplicação. É também

responsável por assegurar a compatibilidade entre camadas de aplicação de sistemas diferentes;

7. Camada de Aplicação - esta camada descreve a interface entre o protocolo de comunicação e a aplicação que enviou/receberá os dados através da rede. Descreve também as características de uma determinada aplicação, necessárias para assegurar uma comunicação fiável entre aplicações e uma correta interface para o utilizador.

### 3.2.1 Protocolos Industriais

Um protocolo é um conjunto de regras que dois ou mais dispositivos devem seguir para que consigam comunicar entre si [27]. Um protocolo define de que forma os dados a enviar numa rede devem ser "arranjados" e codificados de forma a que a sua transmissão seja possível. Nos dias de hoje, estes protocolos seguem o modelo OSI, de forma a que seja possível serem utilizados em qualquer dispositivo, independentemente do fabricante. Estes protocolos são implementados tanto em sistemas industriais como em sistemas de uso genérico, como na rede de internet residencial. Contudo, alguns dos protocolos apenas são implementados em sistemas industriais pelo facto de apresentarem características que apenas são favoráveis a estes sistemas. A nível industrial é possível verificar a implementação dos seguintes protocolos:

- EtherNet/IP;
- Profibus - *Process FieldBus*;
- *Controller Area Network* (CAN);
- DeviceNet;
- Modbus.

## 3.3 Segurança na Robótica Industrial

Qualquer que seja o sistema a implementar num ambiente industrial, deverá apresentar níveis de segurança elevados, de forma a assegurar um ambiente seguro para as pessoas que o frequentam. Todos os tipos de sistemas industriais são potencialmente perigosos e, como tal, devem ser aplicadas técnicas e abordagens de segurança na interação com estes, de forma a reduzir ao máximo os acidentes. Na maior parte das vezes os acidentes ocorrem no momento em que uma pessoa está em contacto direto com uma determinada máquina ou robô. Nas situações de manutenção/programação de um sistema robótico é quando se

verifica a maior ocorrência de acidentes. Contudo, os acidentes industriais podem ser desencadeados por diversas razões, sendo elas [28]:

- entrada não autorizada de pessoas na zona de trabalho;
- erros na programação e manutenção;
- avarias de natureza elétrica, pneumática ou hidráulica;
- falhas do sistema de controlo ou *software*.

Num sistema robótico industrial, nunca se deve assumir que o ambiente em questão é seguro, independentemente do robô estar parado no momento. Também não se deve assumir que se um determinado robô está no momento a executar um funcionamento cíclico e/ou repetitivo, que este funcionamento irá ser executado por tempo indeterminado. Tal poderá não acontecer. Estas duas regras são fundamentais para diminuir a ocorrência de acidentes na interação com estes sistemas industriais.

Contudo, é necessário que os sistemas sejam dimensionados e implementados de forma correta e que possuam periféricos que aumentem o nível de segurança de um sistema. Como tal, é possível verificar a aplicação de medidas de proteção ativas e medidas de proteção passivas nestes sistemas.

As medidas de proteção passivas passam por dar formação às pessoas cujas funções estão diretamente ligadas ao funcionamento de um sistema robótico industrial e atribuição de responsabilidades no decorrer da operação dos sistemas. As medidas de proteção passivas podem passar também por delimitar e sinalizar as zonas de perigo de um sistema robótico. Existem contudo outras medidas a ter em atenção para reduzir ao máximo os acidentes causados, tais como:

- correta instalação da célula de trabalho, limitando o espaço desta ao mínimo necessário;
- limpeza da célula de trabalho e do meio envolvente;
- sistemas de extração de fumo e poeiras, dependendo da aplicação;
- proteção dos cabos e periféricos da maquinaria, de forma a evitar danos;
- operar um robô manualmente apenas nas situações de programação ou de erro.

As medidas de proteção ativas, por outro lado, existem para reduzir o índice de acidentes quando as medidas passivas não foram respeitadas. Estas medidas requerem um estudo e um projeto, sendo que são implementadas através de sensores e outros periféricos. Um circuito de paragem de emergência ou um sistema de

controle de acesso à área de trabalho de um robô são medidas de proteção ativas. A instalação de uma vedação como forma de delimitar a área de trabalho de um robô é também uma medida de proteção ativa. As vedações podem ser físicas, barreiras luminosas, *scanners* ou cortinas de luz (ver Figura 3.3), e ao estarem ligadas diretamente ao sistema de segurança do sistema industrial permitem que no momento em que alguma pessoa entre numa zona restrita, seja gerado um sinal que desencadeie a paragem do funcionamento do sistema, salvaguardando a pessoa e os equipamentos.

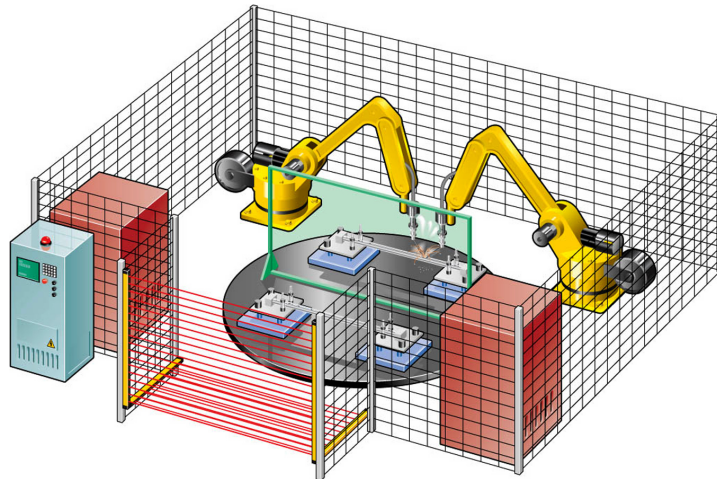


Figura 3.3: Cortina de luz e vedações de segurança numa célula de soldadura [29]

### 3.4 Aplicabilidade da Robótica na Indústria

Uma das primeiras aplicações de um sistema robótico no meio industrial data de 1961, numa aplicação de fundição, onde o robô era responsável por retirar as peças fundidas da máquina de fundição [6]. A partir deste momento foram desenvolvidos meios para se adaptarem os robôs às mais diversas aplicações industriais, de forma a potenciar os processos produtivos destas. Em ambiente industrial, os robôs são utilizados num vasto número de aplicações. As aplicações onde os robôs são geralmente utilizados podem ser classificadas por: manuseamento de materiais, operações de processamento e montagem e inspeção [9].

#### 3.4.1 Aplicações de Manuseamento de Materiais

Nas aplicações de manuseamento de materiais o robô tem como função mover materiais e/ou peças de um lugar para outro. Para que consiga manusear os diversos materiais e/ou peças, terá acoplado um atuador final que permita estas

funcionalidades. Geralmente, são utilizadas garras projetadas para o tipo de material ou peça a manipular.

Este tipo de aplicações verificam-se em dois casos diferentes: transferência de materiais e carga/descarga de maquinaria [9]. Nas aplicações onde ocorre a transferência de materiais, o seu principal propósito é fazer o *pick and place* de um determinado objeto, de um local inicial para um local final. Existem contudo situações simples onde apenas se pretende transferir um objeto acabado de processar para um tapete ou situações mais complexas, como é o caso de aplicações de paletização, onde se pretende que caixas e/ou objetos sejam organizados e armazenados em paletes, de uma forma eficiente.

No caso das aplicações de carga e descarga de máquinas, é possível verificar três situações diferentes das funções do robô, sendo elas:

- carga - o robô apenas é responsável por carregar a máquina com materiais ou peças, de forma a que estas sofram algum tipo de processo operativo;
- descarga - o robô apenas é responsável por retirar as partes finalizadas de uma dada máquina, após terem sido alvo de um processo operativo;
- carga e descarga - o robô terá de carregar a máquina, aguardar que o processo produtivo termine e posteriormente descarregar a máquina.

Dentro das aplicações industriais, pode-se verificar situações de carga e descarga de máquinas em aplicações de injeção de plásticos, fundição de metais, maquinação de peças metálicas, entre outras.

### 3.4.2 Aplicações de Processamento

Nas aplicações de processamento, o robô realiza algum tipo de operação sobre a peça, na célula de trabalho onde está localizado. Mais uma vez, dependendo da operação a realizar, o manipulador possuirá um atuador final, ou eventualmente um conjunto de atuadores finais, capaz de realizar uma dada operação. Caso exista a necessidade de ser realizado um conjunto de operações, será necessário um dispositivo de troca rápida de atuador, para que sejam realizadas diversas operações dentro do ciclo de trabalho. Processos de soldadura, pintura e maquinação são os melhores exemplos de operações realizadas por robôs.

Os processos industriais que envolvam processos de soldadura são caracterizados pela sua dificuldade de execução, sendo necessário mão de obra especializada e com grande experiência, de forma a garantir um trabalho de soldadura sem imperfeições [6]. Como tal, os robôs são considerados como boas soluções para substituir a mão de obra humana por diversos motivos, tais como:



- ciclos de trabalho ininterruptos e com níveis de repetibilidade e posicionamento elevados, coisa que o ser humano não consegue garantir;
- a velocidade com que o processo é executado também é um fator positivo para a utilização de robôs neste tipo de aplicação;
- a substituição das pessoas por robôs neste tipo de aplicações é vantajosa no que diz respeito a salvaguardar a saúde dos operadores de soldadura, pois é possível substituir as pessoas por robôs em ambientes sobrecarregados de poluição química e radiações não ionizadas [30].

Tal como referido na secção 2.5.2, existem dois tipos de soldadura, a soldadura por pontos e a soldadura por arco elétrico. A soldadura por pontos consiste na fusão de duas placas metálicas em pontos específicos. Para tal, o robô terá de possuir acoplado uma pinça de soldadura, constituída por dois eléktodos de cobre. Estes eléktodos vão desencadear a fusão das placas metálicas por via de corrente eléctrica, no momento em que os eléktodos seguram as placas num ponto específico, tal como se vê na Figura 3.4. Este tipo de aplicação é vulgarmente realizada

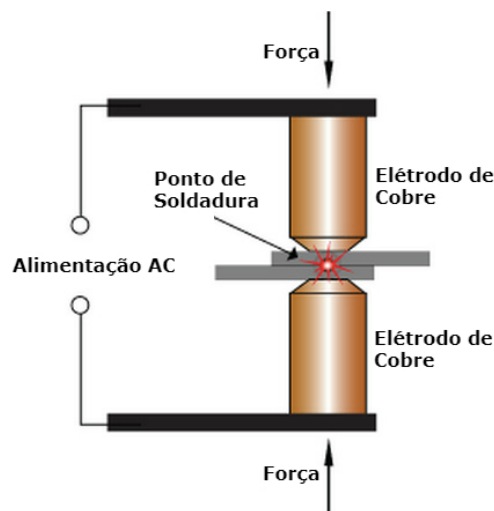


Figura 3.4: Diagrama de soldadura por pontos [31]

por sistemas robotizados pois estes são capazes de manipular e posicionar com precisão pinças de grandes dimensões, tal como se verifica em linhas de soldadura por pontos no ramo da indústria automóvel.

Ao contrário da soldadura por pontos, a soldadura por arco elétrico consiste numa soldadura contínua. A soldadura resultante deste processo é mais resistente e por essa razão é utilizada em peças que requerem a estanquicidade. Um operador, para realizar uma soldadura deste género, terá de ficar exposto às condições inerentes deste processo, tais como fumos, radiações e altas temperaturas. A

razão da soldadura por arco elétrico ser contínua também vai exigir do operador níveis de precisão elevados, o que poderá ser difícil de garantir ao longo de um turno de trabalho. Por estas razões, a soldadura por arco elétrico passou por um processo de automatização, permitindo isolar os operadores destes processos [32]. Para situações onde é necessário realizar um trabalho de soldadura repetitivo, foram desenvolvidas células de soldadura automatizadas que realizam a soldadura por arco elétrico de forma contínua e repetitiva, garantindo eficiência e precisão do trabalho realizado [9]. A inclusão de robôs neste tipo de aplicações permitiu elevar os níveis de precisão deste processo industrial, contudo a programação destes sistemas é geralmente dispendiosa [9] e, como tal, o desenvolvimento de uma célula de soldadura robotizada só se justifica se existir um projeto de grandes dimensões, a nível de unidades a processar.

É possível verificar a utilização de sistemas robóticos em aplicações de pintura por razões idênticas às enunciadas nas aplicações de soldadura. Os ambientes inerentes a estes processos não são os mais propícios para as pessoas, no sentido em que nos processos de pintura existem partículas de tinta em suspensão no ar, podendo comprometer a saúde dos operários, bem como originar situações de fogos momentâneos, por via da inflamação destas partículas [32]. Com a substituição das pessoas por robôs para a realização destes processos é possível salvaguardar os operários destas situações. Os robôs utilizados em aplicações de pintura são geralmente utilizados nas indústrias automóvel e indústrias de cerâmica sanitária [9], para realizarem funções de pintura em carroçarias de automóveis e pulverização de revestimentos em peças sanitárias de cerâmica. Neste tipo de aplicações é expectável que o robô execute movimentos similares aos movimentos humanos, e como tal, o robô a utilizar deverá ser capaz de executar trajetórias contínuas, com o propósito do movimento realizado ser o mais suave possível. Por estas razões, é vantajoso aplicar o método de programação *leadthrough*. A utilização de robôs em aplicações de pintura apresenta níveis de eficiência elevados relativamente à pintura por mão de obra humana, pois o robô consegue garantir uma maior uniformidade na aplicação da tinta, utilizando menos tinta para completar o processo.

Existem contudo outros tipos de aplicações industriais onde é possível verificar a crescente utilização de sistemas automatizados e/ou robóticos, tais como:

- processos de maquinação;
- processos de lixamento ou escovagem;
- processos de corte por jato de água ou laser;
- processos de rebitagem.

Neste tipo de processos, a nível robótico vai diferir o tipo de atuador final a utilizar, de forma a poder ser realizado o processo em questão. A razão pela qual se tende cada vez mais a recorrer a soluções automatizadas vai de encontro às razões já enunciadas nas aplicações de soldadura e de pintura.

### 3.4.3 Aplicações de Montagem e Inspeção

É possível conjugar as aplicações de montagem e inspeção como uma junção de aplicações de manuseamento e aplicações de processamento, pois nas aplicações de montagem e inspeção, os robôs tanto podem manipular objetos como utilizar ferramentas [9]. Tanto os processos de montagem, como os de inspeção, são processos que exigem muito dos operários que realizam estas funções, pois estas aplicações apresentam geralmente ciclos de trabalho muito repetitivos e entediantes, e como tal os sistemas automatizados/robóticos são grandes candidatos a executar estas funções.

As aplicações de montagem consistem em juntar dois ou mais sub-elementos de forma a gerar um novo elemento. Estes sub-elementos podem ser montados de diversas formas, seja por união, seja por fixação [32]. As aplicações de montagem podem ser realizadas por sistemas automatizados ou por sistema robóticos, pois vai depender do tipo de produto/material a processar. Em casos de produção em massa, não é conveniente recorrer a aplicações robotizadas pois estas não conseguem atingir velocidades de produção que tornem o processo rentável. Como tal, nestes casos recorre-se a sistemas automatizados, capazes de realizar o mesmo processo de forma repetitiva a uma elevada velocidade. Esta analogia só pode ser aplicada em casos em que o produto a processar seja de baixa complexidade. Em casos onde seja necessário algum ajuste na montagem das peças e/ou em casos onde a complexidade da montagem do produto seja elevada, geralmente são desenvolvidos sistemas robotizados capazes de efetuar estas montagens. Contudo, poderá ser necessário recorrer a linhas de montagem onde a parte mais complexa do processo de montagem seja feita por um operador e a restante montagem seja feita por um sistema automatizado/robotizado. Através deste tipo de células é possível reduzir os tempos de ciclo de montagem de um determinado conjunto de peças [9]. Geralmente, neste tipo de aplicações é possível observar a utilização de robôs de configuração SCARA, cartesiana, articulada e delta [6]. O atuador final a utilizar vai depender, mais uma vez, do tipo de elementos a montar/manipular.

A inspeção do trabalho realizado por um dado sistema é uma necessidade inerente ao correto funcionamento deste, de forma a garantir que o processo foi executado como expectável. Como tal, foram desenvolvidas técnicas de inspeção a aplicar aos mais diversos sistemas industriais, podendo ser identificada a sua utilização em situações onde se pretende assegurar que um processo já foi terminado, em situações onde se pretende assegurar que um conjunto de elementos

foi montado da forma correta e/ou em situações onde se pretende identificar falhas/defeitos em materiais. Em termos de automação é possível inspecionar um determinado processo de diversas formas, dependendo da aplicação/processo a inspecionar. De forma a tornar este processo o mais fiável possível, o sistema de inspeção deverá estar totalmente integrado no sistema produtivo, podendo executar a inspeção de duas formas possíveis:

1. controlo de processo por realimentação - através desta forma de inspeção, o sistema obtém informação a partir do processo produtivo de forma a poder reencaminhar esta informação ao ciclo produtivo seguinte, permitindo efetuar ajustes e compensações no sistema, tal como se verifica na Figura 3.5;
2. seleção de peças/elementos - após ser efetuado o processo de fabrico, o sistema de inspeção analisa as peças originárias deste processo separando as peças em conformidade das peças defeituosas (ver Figura 3.6). Contudo, existem mais do que dois níveis de qualidade das peças processadas, podendo estas estar em conformidade ou defeituosas, mas uma determinada peça com defeito poderá ser reprocessada e ficar em conformidade ou poderá já ser considerada sucata.

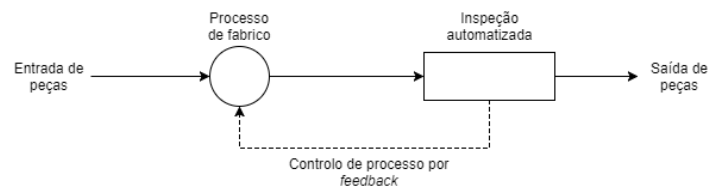


Figura 3.5: Diagrama de controlo de processo por realimentação [9]

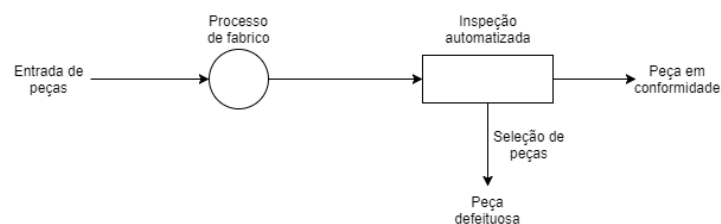


Figura 3.6: Diagrama de seleção de peças [9]

Um sistema robotizado poderá executar funções de inspeção de duas formas possíveis [9]:

- o robô transporta uma determinada peça a inspecionar até uma máquina específica para concretizar esta inspeção. Dependendo do resultado da inspeção, o robô deverá retirar a peça da zona de inspeção e colocar a peça

recém inspecionada num recipiente/tapete destinado ao estado da peça em questão;

- o robô possui uma ferramenta de inspeção acoplada ao seu punho. De forma a executar o processo de inspeção, a peça/elemento a inspecionar deverá estar presente na célula de trabalho, posicionada e orientada corretamente, onde posteriormente o robô poderá executar o processo de inspeção.

Neste capítulo, apresentou-se uma definição para os autómatos programáveis, contextualizando estes através de uma breve nota histórica. Abordou-se a arquitetura dos PLC e os sistemas de comunicação que permitem que estes se interliguem com outros equipamentos. Foi também feita referência à segurança na robótica e na indústria geral. Por fim, foram referidas as razões pela qual se recorre à robótica para otimizar e potenciar os diversos processos industriais, explicando as diversas funções desempenhadas por um robô, quando inserido numa determinada aplicação.

## Capítulo 4

---

# Indústria de Moldagem de Peças

---

Ao longo deste capítulo, serão apresentados alguns conceitos e equipamentos da indústria de moldagem de peças de plástico por injeção. Por fim, serão apresentados três casos de estudo que relatam soluções da indústria de moldagem de peças quer por injeção, quer por fundição.

Inicialmente será feita referência às máquinas e robôs que geralmente compõem estes sistemas, apresentando alguns exemplos de fabricantes e modelos de máquinas e robôs vocacionados para a indústria de moldagem de plástico por injeção. Serão apresentadas duas soluções de *software* cujas funcionalidades auxiliam ao processo de programação dos robôs para este tipo de aplicações.

Por fim, serão apresentadas algumas soluções da indústria da moldagem e fundição que recorrem a sistemas robóticos para efetuar a carga e descarga das máquinas responsáveis pelos processos. Desta forma, serão apresentados e analisados os problemas dos diversos processos, qual a abordagem e solução apresentada e, por fim, que conclusões e resultados se obtêm da solução implementada.

### 4.1 Conceitos e Equipamento Utilizado na Indústria de Moldagem de Plástico por Injeção

A moldagem de plástico por injeção é um dos métodos mais utilizados na indústria do processamento de plásticos. Conjugando a investigação e descoberta de novos materiais com o desenvolvimento tecnológico das máquinas de injeção, permitiu-se criar diferentes tipos de processos de moldagem por injeção. Estes processos diferem essencialmente no formato e quantidades de peças produzidas e no tipo de polímero usado na produção das peças. Outro fator a realçar é a

eficiência do processo, representado pelos tempos de ciclo e pela economia de matéria prima, no decorrer de um processo de moldagem por injeção [33].

A máquina de moldagem por injeção é responsável por transformar um determinado tipo de matéria prima numa peça e geralmente é possível verificar dois tipos de máquinas de moldagem por injeção: máquinas de uma etapa e máquinas de duas etapas (do inglês *single-stage* e *two-stage*). Contudo, existem outros tipos de máquinas com três ou mais etapas de produção. Outras características a ter em conta numa máquina de injeção são a sua capacidade, pressão e velocidade de injeção e força de aperto e abertura do molde. Será necessário analisar todas estas características no momento de escolha da máquina para que esta se adeque ao tipo de produção a que se destina. As garras por sua vez vão ser responsáveis por descarregar as peças moldadas pelas máquinas de injeção, devendo de ser escolhidas mediante a peça ou conjunto de peças a manipular e suas características.

#### 4.1.1 Máquinas *Single-Stage* vs Máquinas *Two-Stage*

O funcionamento das máquinas de injeção de uma etapa, ou *Single-Stage* consiste em fundir o plástico através de condução térmica através das paredes do tambor da máquina de injeção, e pelo atrito criado pela rotação do fuso, um parafuso sem fim (Figura 4.1 A) que existe no interior do tambor. À medida que o parafuso gira, o plástico fundido vai avançando, até que chega à câmara de injeção. Um extrusor presente nesta câmara faz com que o plástico fundido seja expelido para o interior de um molde fechado (como esquematizado na Figura 4.1 B), preenchendo a(s) cavidade(s) do molde, que vão dar forma à(s) peça(s). Quando o molde estiver preenchido com plástico (como se pode ver na Figura 4.1 C), o parafuso para de girar. Estando o plástico solidificado o suficiente para que no momento em que o molde abra preserve a sua forma, o molde pode abrir e o parafuso gira no sentido inverso ao anterior, de forma a preparar um novo ciclo de injeção.

Nas máquinas de injeção de duas etapas, ou *Two-Stage*, verificam-se dois processos distintos no decorrer da operação de moldagem por injeção: a plasticização e a injeção. Para tal, este tipo de máquina pode ser analisado como a junção de duas partes distintas, sendo elas a câmara de plasticização, onde existe um parafuso sem fim como nas máquinas *Single-Stage*, e uma câmara de injeção, separada da anterior por meio de uma válvula. Na câmara de plasticização, o parafuso roda de forma a fazer chegar a matéria prima fundida à câmara de injeção, tal como nas máquinas anteriores. Atingido o nível estipulado de plástico fundido na câmara de injeção, uma válvula corta o canal entre as duas câmaras. Este corte pode ser efetuado pelo avanço do parafuso, bloqueando o canal entre a câmara de plasticização e a câmara de injeção, ficando apenas disponível um

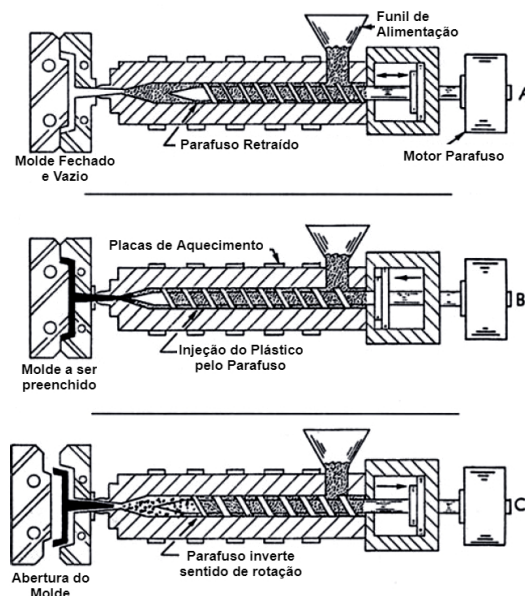


Figura 4.1: Sequência de operações de uma máquina de moldagem por injeção de uma etapa [33]

caminho para onde o plástico fundido poderá ir: o molde. É neste momento que se verifica a segunda etapa de moldagem por injeção. Um êmbolo empurra o plástico presente na câmara de injeção pelo único canal disponível, até este chegar ao molde. Finalizada a etapa de injeção, o canal entre as duas etapas é reaberto (com a abertura da válvula ou recuo do parafuso), permitindo que a câmara de injeção seja novamente alimentada com plástico derretido. A Figura esquematiza uma máquina de injeção de duas etapas, mostrando-se a verde a câmara de plasticização e a azul a câmara de injeção.

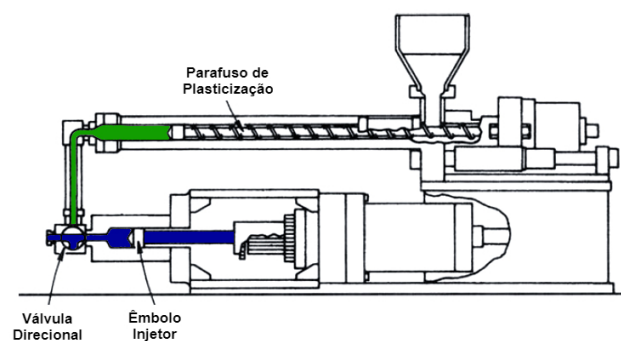


Figura 4.2: Sequência de operações de uma máquina de moldagem por injeção de duas etapas [33]



As vantagens da utilização de máquinas de injeção de uma etapa face à utilização de máquinas de duas etapas verificam-se no custo da máquina, na capacidade de auto-limpeza do parafuso e no sistema de injeção responsivo, capaz de se adaptar facilmente a novas produções. Por outro lado, as máquinas de injeção de duas etapas também apresentam vantagens face às máquinas *Single-Stage*, na medida em que garantem uma qualidade de fundição do plástico mais consistente, apresentam maiores pressões de injeção, permitem um controlo mais preciso da quantidade de material a injetar e são capazes de produzir mais facilmente peças de espessura reduzida.

#### 4.1.2 Mercado de Máquinas de Moldagem por Injeção

Tal como acontece com todo o tipo de equipamentos, alguns fabricantes conseguem se destacar dos demais pelo tipo de equipamento e serviço que disponibilizam. No mercado das máquinas de moldagem por injeção, tal também acontece. É possível verificar a existência de vários fabricantes de outros equipamentos industriais que também disponibilizam máquinas de moldagem por injeção, tal como a FANUC. A série de máquinas elétricas e hidráulicas de moldagem por injeção de alta precisão ROBOSHOT é um dos exemplos de equipamentos disponibilizados para este tipo de indústria. Segundo o fabricante, esta série de equipamentos destaca-se por ser capaz de realizar tarefas com alta precisão e excelente repetibilidade, aliadas a uma interface de programação avançada e baixos custos de manutenção [34]. Contudo, os equipamentos que integram a série FANUC ROBOSHOT (ver Figura 4.3) têm diferentes características, de forma a responder às necessidades de produção de peças dos vários tipos de indústrias a que se destinam, sendo elas: indústria automóvel, indústria elétrica e eletrónica, indústria de equipamento médico e indústria de equipamento ótico. Inerente a todos os equipamentos desta série, o fabricante garante poupanças energéticas na ordem dos 10% a 15% nas máquinas elétricas e de 50% a 70% nas máquinas atuadas hidraulicamente, face aos equipamentos dos concorrentes diretos [34].



Figura 4.3: Máquina de injeção FANUC ROBOSHOT  $\alpha$ -S150ia [34]

A ENGEL [35] é outro fabricante que se destaca na produção de máquinas de moldagem por injeção. Ludwig Engel fundou a empresa em 1945 e três anos mais tarde patenteou a sua primeira máquina de moldagem de plásticos, que conduziu ao lançamento da primeira máquina de moldagem por injeção no ano de 1952. Nos dias de hoje, o fabricante disponibiliza um elevado número de máquinas de características diferentes, de forma a corresponder às exigências das diversas indústrias de produção de peças de plástico moldadas por injeção. A máquina ENGEL Victory [36] é descrita pelo fabricante como uma máquina versátil, capaz de corresponder aos requisitos básicos de uma aplicação de moldagem por injeção. Esta máquina (como se pode ver na Figura 4.4) é dotada da tecnologia *tie-bar-less* [37] que significa que não possui veios a guiar o curso do molde. Esta característica permite uma área superior para a colocação do molde, em relação às máquinas convencionais com veios, o que permite maiores níveis produtivos em máquinas de dimensões reduzidas.



Figura 4.4: Máquina de injeção ENGEL Victory [36]

#### 4.1.3 Garras Utilizadas em Aplicações de Descarga de Peças de Plástico Moldadas por Injeção

O estudo e dimensionamento da garra que irá realizar a descarga de peças moldadas por injeção apresenta muita importância na qualidade e eficácia da ferramenta final que irá manipular as peças recém moldadas. Será necessário considerar vários fatores no momento de estudo e desenvolvimento de uma garra para este tipo de aplicação. O material da peça moldada e a temperatura a que esta se encontra no momento em que é acabada de ser moldada são dois fatores bastante importantes para o desenvolvimento de uma garra. Dependendo do material e da temperatura, a peça irá apresentar um nível de fragilidade e, como tal, poderá ser necessário utilizar uma garra que ao manipular a peça não a danifique. O formato da peça é também muito importante, pois é necessário analisar a peça para determinar qual o formato mais favorável para a manipular.

A maioria das garras projetadas para este tipo de aplicação são constituídas

por sistemas de vácuo, com ventosas, e sistemas mecânicos, com pinças e dedos atuados elétrica ou pneumáticamente.

Uma garra constituída por ventosas apresenta um funcionamento bastante simples. Uma ou mais ventosas dispostas na garra de forma estratégica vão entrar em contacto com uma superfície plana e não perfurada da peça. Com um sistema de vácuo, constituído normalmente por um gerador de vácuo por efeito de *venturi*, será criado vácuo no momento em que as ventosas estão em contacto com a face da peça, permitindo que esta seja sugada e possa ser manipulada pela garra. Assim que seja pretendido largar a peça, basta apenas interromper o vácuo entre as ventosas e a peça. Este tipo de sistema possui algumas vantagens, mas não se adequa a todos os tipos de peça, tais como peças com orifícios ou peças muito maleáveis. A Figura 4.5 representa uma garra constituída por ventosas, desenvolvida para a indústria de peças de plástico moldadas por injeção [38].



Figura 4.5: Garra de ventosas Tetrafix [38]

Por outro lado, uma garra constituída por pinças e dedos (ver Figura 4.6) funcionará de forma diferente. As pinças e/ou dedos serão também projetados em função da peça a manipular, podendo apresentar o negativo da peça ou o negativo de uma parte desta. As pinças e/ou dedos podem ser atuados de forma elétrica ou de forma pneumática, sendo esta última a mais comum. O funcionamento deste tipo de garras consiste no alinhamento das pinças/dedos com a parte mais favorável da peça, para que de seguida seja fechada a pinça e a peça fique presa nesta, ficando pronta a manipular. Para largar a peça, basta abrir a pinça e/ou conjunto de dedos, e a peça será largada. Este tipo de garra é vantajoso para peças rígidas de pequena dimensão. Por outro lado, este tipo de garra não é adequado para peças que estejam frágeis no momento imediatamente ao processo de moldagem devido à sua temperatura, pois podem sofrer deformações no local de contacto com a pinça/dedos.



Figura 4.6: Garra mecânica Fipa 140 [39]

## 4.2 Software Dedicado à Programação de Soluções de Carga e Descarga

Com o intuito de diminuir os tempos de programação e otimizar o funcionamento de um sistema, os fabricantes de robôs possuem um leque de programas dedicados à programação de robôs. Estes programas diferem no tipo de funcionalidades adicionadas ao robô, dependendo do tipo de funções que este irá desempenhar. Ao longo desta secção, serão apresentados três programas destinados à programação de robôs cujas funções se centram na interface entre o robô e uma ou mais máquinas, como se verifica nas aplicações de carga e descarga.

### 4.2.1 FANUC Roboguide Handling Tool

O *software* Roboguide Handling Tool da FANUC é a interface base de programação disponibilizada pelo fabricante. Conjugando o *software* com o robô e respetivo controlador, é possível que uma aplicação seja definida e simulada, configurada, programada e testada, antes de ser implementada. O *software* possui funcionalidades necessárias para que seja possível efetuar uma simulação do sistema idealizado, disponibilizando uma biblioteca de objetos que permitem aumentar o nível de realismo da simulação. É também possível importar outros objetos nos mais diversos formatos CAD.

Em termos de configuração e programação, este *software* possui ferramentas que simplificam o processo de configuração do sistema, permitindo gerir todas as informações e detalhes inerentes ao funcionamento da aplicação, como por exemplo, sinais I/O, configurações de rede e informações de carga (do inglês *payload*). De forma a ser possível criar um ciclo de trabalho, é necessário definir um conjunto de instruções que quando interligadas e executadas numa sequência, façam com que o robô se encarregue de uma determinada tarefa. O Handling

Tool permite que estas instruções sejam desenvolvidas em modo *offline* sobre a simulação do sistema real, que de seguida, podem ser testadas. Através do teste *offline* da programação, é possível verificar qual o comportamento do sistema a implementar, permitindo validar alguns detalhes, como alcance e tempo de ciclo. A Figura 4.7 apresenta a interface gráfica do simulador.

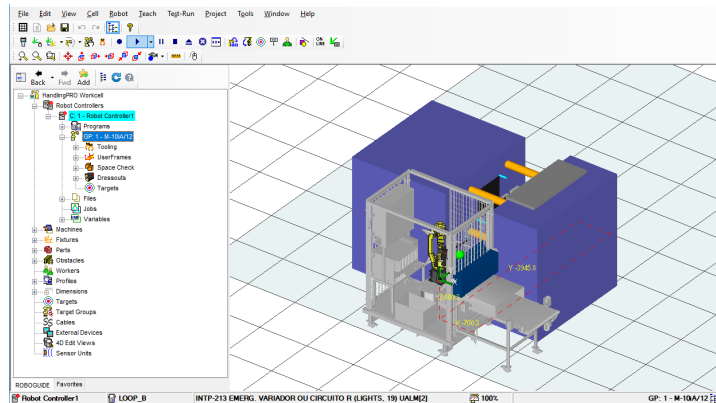


Figura 4.7: Interface gráfica Fanuc Roboguide Handling Tool

## 4.2.2 FANUC Soft Float e ABB Soft Move

De forma a otimizar o processo de programação, os fabricantes disponibilizam programas vocacionados a um determinado tipo de tarefa, ou programas que simplificam algum tipo de funcionamento, que seria moroso de programar, como é o caso das aplicações de descarga de máquinas de injeção, onde o robô em certo momento entra em contacto com a máquina, aquando da ejeção da peça, ficando sujeito a uma possível colisão com os ejetores da peça recém-injetada. A título de exemplo, a FANUC disponibiliza o Soft Float [40], tal como a ABB disponibiliza o Soft Move [41], ferramentas que permitem gerir de uma forma mais eficiente este tipo de situações. Os programas FANUC Soft Float e ABB Soft Move são dois opcionais aos *software* de programação dos robôs de cada um dos fabricantes. Estes opcionais apesar de serem de fabricantes diferentes, apresentam semelhanças nas suas funcionalidades. Estes programas permitem programar um robô para reagir de certa forma a uma força externa, exercida nos eixos do robô. Esta funcionalidade é útil na programação de robôs destinados a aplicações de carga e descarga de máquinas, como é o caso da descarga de peças moldadas, onde o robô tem de retirar um determinado número de peças do interior de uma máquina, que podendo ter ejetores de peças, irá exercer uma força externa na garra do robô.

A utilização destes opcionais permite que o robô acompanhe o movimento dos ejetores da máquina de injeção, no momento em que estes empurram as peças contra a garra. Esta funcionalidade é muito útil pois permite reduzir o tempo

de programação e torna o processo de interação entre o robô e a máquina mais eficiente [41, 40].

Em aplicações de montagem de peças, este tipo de funcionalidade também é útil, pois em casos onde o processo de montagem envolve um alinhamento de peças, o robô será capaz de recriar um movimento idêntico ao de um ser humano, ao forçar e rodar as duas peças até que estas encaixem. Contudo, estes programas possuem também outras funcionalidades como flutuação livre, em que os eixos do robô ficam destravados e podem ser movimentados manualmente, compensação gravitacional, onde os eixos do robô mesmo que destravados se mantêm estáveis sem "cair" com o peso dos elos e juntas do robô, e movimento de mola, funcionalidade que permite que o robô realize um movimento de avanço e recuo ao ser exercida uma força externa em algum ou alguns eixos do robô.

### 4.3 Interface EUROMAP

A Associação Europeia de Fabricantes de Máquinas para Processamento de Plásticos e Borrachas (EUROMAP) [42] representa os fabricantes da indústria da moldagem de peças de plástico por injeção. A EUROMAP disponibiliza informação e assistência para todos os fabricantes desta indústria, estabelecendo standards técnicos e de qualidade, bem como, apoio e desenvolvimento da atividade económica desta indústria. Em termos técnicos, esta associação disponibiliza um conjunto de protocolos de interface e normas de segurança, para os vários equipamentos que irão ser utilizados nesta indústria, como é o caso das máquinas de injeção de plástico. A interface de uma máquina de moldagem por injeção é representada pelo protocolo EUROMAP 67 [43]. Este protocolo enuncia a interface elétrica entre a máquina de injeção e um robô (ou outro equipamento que executará trabalho ao par desta). Este protocolo consiste num conjunto de sinais elétricos entre a máquina de injeção e o robô, sendo divididos em dois conjuntos: sinais enviados pela máquina de injeção para o robô e sinais enviados pelo robô para a máquina de injeção. Os sinais enviados pela máquina para o robô servem para transmitir informação ao controlador do robô dos vários estados do ciclo de funcionamento da máquina, tais como a posição do molde e a posição dos ejetores. São também transmitidos um conjunto de sinais de segurança e outros sinais de estado de funcionamento geral da máquina. Os sinais enviados pelo robô para a máquina de injeção servem para permitir ou bloquear alguns estados do ciclo de funcionamento da máquina. Sinais como permitir abrir/fechar o molde e permitir avançar/recuar os ejetores vão ser processados pelo controlador da máquina de injeção, durante o seu ciclo de funcionamento normal. Considerando o exemplo seguinte de um ciclo normal de funcionamento de uma máquina de injeção com um robô: se em dado momento no ciclo normal de trabalho da máquina de injeção esta pretenda realizar a abertura do molde, caso não receba o sinal por parte

do robô que permita realizar a abertura do molde, a máquina ficará parada à espera desse sinal, até que possa abrir o molde e prosseguir ciclo de funcionamento. O protocolo EUROMAP 64 [44] define quais os sinais de segurança que devem acompanhar uma máquina de injeção, enquanto o protocolo EUROMAP 63 [45] apresenta as considerações gerais de funcionamento deste tipo de máquina.

## 4.4 Caso de Estudo - Manipulação de Peças Resultantes de Processo de Fundição

A empresa de fundição alemã Eisenmann Druckguss [46] estava a produzir uma flange para o sistema de direção assistida de um automóvel. Visto fazer parte do sistema de direção do automóvel, é considerada um componente de segurança da viatura, e como tal, o processo de fabrico desta peça é muito específico. Neste caso, praticamente não existe tolerância no que toca à repetibilidade da produção da peça, visto que, numa fase do processo onde é necessário introduzir um eixo na matriz, apenas existe uma margem de 0,02 mm para o fazer [47].

### 4.4.1 Abordagem ao Problema e Solução

Sabendo que seria necessário garantir elevados níveis de precisão na produção da flange, foi equacionada a utilização de um robô de seis eixos ou a utilização de uma unidade linear para a manipulação das peças no decorrer do processo. A empresa, visto já ter na altura cinco outros robôs, já tinha conhecimento das vantagens da utilização de um robô face a uma unidade linear. Como tal, decidiu por um robô, neste caso um KUKA KR 60 [48]. Do ponto de vista da empresa, a utilização do robô é mais flexível do que uma solução de unidade linear, visto que será mais fácil adaptar o robô a uma futura nova peça. Contudo, uma solução robotizada é mais dispendiosa do que uma baseada num sistema linear. O sistema idealizado funciona da seguinte forma:

- os eixos chegam à célula do robô, onde já estão separados e posicionados de forma ao robô ser capaz de os manipular;
- o robô manipula as peças através da garra dupla pneumática, tal como pode ser visto na Figura 4.8. Inicialmente, com um dos lados da garra, o robô pega em seis eixos, um de cada vez, posicionando-os de seguida na matriz do molde. Os eixos são colocados todos ao mesmo tempo no molde;
- estando esta peça fundida, o robô irá transportá-la até uma estação de arrefecimento, passando por uma zona de inspeção automatizada, que verifica a qualidade da peça fundida (ver Figura 4.9).

- posto isto, a peça é deixada sobre um suporte que mergulha a peça em bruto num líquido de arrefecimento. Isto é feito para que a garra do robô esteja o menor tempo possível em contacto com altas temperaturas;
- enquanto a peça anterior está a ser arrefecida, o robô prepara a máquina com um novo conjunto de eixos. De seguida é dado início a um novo ciclo de fundição;
- mais uma vez, de forma a aproveitar o tempo em que a fundição está a ser feita, o robô irá buscar a peça em bruto que deixou anteriormente na estação de arrefecimento. A peça é então posicionada numa prensa para que separe as seis flanges resultantes deste processo.



(a) Pinça posicionadora dos eixos no molde



(b) Pinça manipuladora da peça depois de fundida

Figura 4.8: Pinça dupla pneumática para processo de fundição [47]



Figura 4.9: Zona de inspeção visual da peça recém fundida [47]

Este foi o ciclo de trabalho idealizado para responder aos pedidos do cliente. O controlo da célula é totalmente efetuado pelo controlador do robô. Este terá



a responsabilidade de comunicar com os controladores da máquina de fundição, da unidade de arrefecimento e da prensa de separação. Como tal, o conjunto robô/controlador efetuará toda a gestão do sistema, ou seja, terá funções de *Master*.

#### 4.4.2 Equipamento

O robô KUKA KR 60 é vocacionado para cargas de médias dimensões. Tem uma capacidade de carga de 60 kg, na sua versão padrão, e um alcance que pode atingir 2429 mm, dependendo da versão. Independentemente da versão do robô KUKA KR 60 escolhida, a repetibilidade será sempre inferior a  $\pm 0,06$  mm. A figura seguinte apresenta vários robôs que fazem parte da gama KUKA KR 60.



Figura 4.10: Gama de robôs KUKA KR 60 [48]

O *firmware* da consola do robô é baseado no Microsoft Windows, sendo que a interface gerada por esta será intuitiva e familiar para o utilizador. Em relação à garra, o facto da mesma ser dupla permite que se aproveite ao máximo o tempo em que um grupo de eixos está a ser fundido, permitindo a realização de outras tarefas. O facto de cada um dos lados ter funções diferentes também garante níveis de desgaste diferentes, visto que, o lado da garra responsável por colocar os eixos das flanges no molde não vai posteriormente retirar a peça em bruto fundida, não desgastando esta face da garra pelas altas temperaturas verificadas no momento da extração da peça fundida. Isto vai garantir que a garra apresentará sempre o mesmo desempenho na inserção dos eixos no molde, processo mais meticuloso que a posterior extração. O facto do sistema contar com uma estação de arrefecimento das peças extraídas, vai permitir salvaguardar o robô das altas temperaturas da peça em bruto. O robô só irá estar em contacto com a peça a elevadas temperaturas no movimento entre a máquina de fundição e a estação de arrefecimento. Quando chega a esta última, a peça é pousada e a estação fica encarregue por mergulhar a peça no líquido de arrefecimento. Caso contrário, o calor iria ser transmitido da garra para o braço do robô, que iria contribuir para o desgaste deste.

#### 4.4.3 Resultados e Conclusões

Dos resultados da implementação desta aplicação, é de realçar o facto de a solução apresentar um aumento de 40% na produtividade e uma poupança de cerca de 250000 euros anuais. A aplicação representa uma impressionante relação custo-eficácia. É de considerar também a repetibilidade apresentada pelo robô, capaz de responder às exigências da produção. A partir do momento da instalação da solução, foi possível reduzir o número de pessoas necessárias para operar a célula, sendo apenas necessário um operador, onde antes eram necessários três operadores por turno, para a mesma produção. Em conclusão, a implementação desta solução robotizada permitiu responder às exigências de uma produção muito específica e com um controlo de qualidade exigente, otimizando a produção de forma a se verificar uma redução nos custos da mesma.

### 4.5 Caso de Estudo - Utilização de Robôs Colaborativos na Produção de Moldagem por Injeção

A Dynamic Group [49] é uma empresa fundada em 1977 e é especializada em processos de produção de componentes plásticos, através de moldagem por injeção. Numa produção em específico [50], verificou a dificuldade em reunir operadores para a realizarem. Como tal, surgiu a necessidade de otimizar o processo de forma a requerer o menor número possível de operadores nesta produção. Este tipo de produção requer alguma delicadeza, devido à sensibilidade que a peça apresenta ao longo do processo produtivo. Com a falta de pessoas para realizar a produção, acelerou-se o ritmo da produção, o que era complicado para os operadores e que resultou na produção de peças defeituosas.

#### 4.5.1 Abordagem ao Problema e Solução

A solução desenvolvida deveria de ser capaz de responder a um processo produtivo composto por duas aplicações de moldagem por injeção. A aplicação de moldagem por injeção consiste, numa primeira fase, no posicionamento de uma moldura que segurará as peças a moldar. De seguida, as peças passarão por um processo de corte controlado por um operador. A segunda aplicação consiste na paletização destas peças numa caixa de plástico. Devido aos elevados níveis de controlo de qualidade, foram equacionadas várias soluções robotizadas para responder ao problema, tendo sido escolhida uma solução composta por robôs colaborativos. Foram utilizados dois robôs colaborativos da Universal Robots UR10 [51] (ver Figura 4.11). A solução responde ao problema da primeira aplicação da seguinte forma:

- o robô começa por recolher e posicionar uma moldura que tem a função de segurar as peças a moldar no interior da máquina de injeção;
- de seguida, transporta as unidades moldadas para uma segunda zona de trabalho, onde um acessório de corte controlado por um operador desbasta a peça em bruto;
- após a peça posicionada no acessório de corte, o robô carrega num botão para iniciar um novo ciclo de trabalho.

A segunda aplicação, funciona da seguinte maneira:

- um robô cartesiano, já existente na aplicação, solta uma peça moldada numa esteira, onde o robô colaborativo está colocado;
- o robô colaborativo recolhe uma peça dessa esteira, posicionando-a num acessório de desprendimento, para soltar uma parte da peça moldada;
- por fim, o robô paletiza a peça numa zona à frente do operador para que seja realizada a inspeção dessa peça.

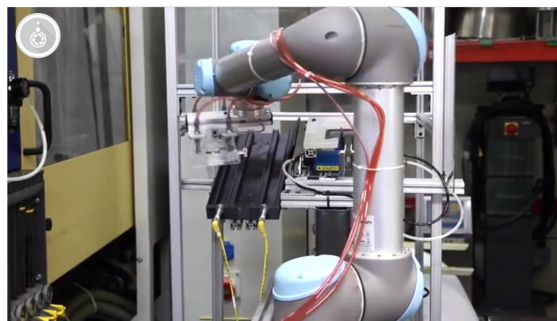


Figura 4.11: Solução de manipulação de peças moldadas por injeção por robô colaborativo Universal Robots UR-10 [50]

Devido ao tipo de peças a manipular, as garras dos robôs são constituídas por grupos de ventosas (tal como se pode verificar na Figura 4.12), que através de vácuo são capazes de manipular as delicadas peças, sem as deformar.

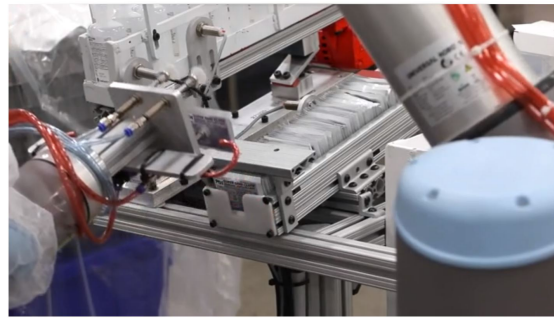


Figura 4.12: Garra da solução de manipulação de peças moldadas por injeção por robô colaborativo [50]

#### 4.5.2 Equipamento

O manipulador robótico UR-10 da Universal Robots (ver Figura 4.13) é um robô colaborativo capaz de manipular cargas úteis até 10 kg. Ao ter um alcance de 1300 mm, é ideal para aplicações de manipulação, paletização e montagem, numa zona de trabalho onde a distância entre as áreas operacionais seja considerável.

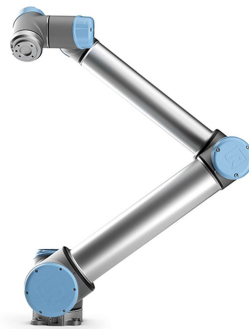


Figura 4.13: Manipulador robótico Universal Robots UR-10 [51]

Os robôs colaborativos da Universal Robots, têm a particularidade da sua programação ser de fácil execução. Estes robôs contam com uma consola de 12 polegadas com um *software* intuitivo, que permite uma rápida programação do robô. Os robôs colaborativos são também projetados para imitar os movimentos de um braço humano, sendo que, um operador que aprenda a utilizar o robô facilmente o programa, pois basta ir realizando o movimento do braço do robô e marcando os pontos, para que este descreva uma trajetória ao longo desses pontos guardados. Em relação à segurança, este tipo de robô é considerado colaborativo por permitir o seu funcionamento de forma segura ao lado de uma pessoa. Como tal, possui um grupo de funções e características que garantem a segurança de quem está ao seu redor durante o seu funcionamento.

### 4.5.3 Resultados e Conclusões

Com a implementação desta solução, a Dynamic Group verificou grandes melhorias no que toca ao aumento de produção. A produção de peças defeituosas sofreu uma redução de cerca de 100%, resultando num aumento de produção de cerca de 400%. O problema de falta de pessoas para realizar a tarefa foi colmatado, sendo que após a implementação da solução, foi possível realocar os operadores para tarefas menos cansativas e repetitivas. A empresa valorizou o facto da programação e ajuste do sistema serem intuitivos e eficientes. A flexibilidade do sistema foi muito valorizada, pois permitirá ajustar o sistema para novas produções sem existir a necessidade de entregar a programação a terceiros. A utilização de robôs colaborativos na solução, por si só, já é um fator de diferenciação para as demais soluções pois a utilização deste tipo de robô assegura a segurança dos utilizadores que interagem com estes (tal como se vê na Figura 4.14). Também não existe a necessidade de vedar a célula com dispositivos de segurança. Em termos de investimento, a Dynamic Group garante que obteve o retorno do investimento em menos de dois meses [50], considerando a escolha desta solução um sucesso.



Figura 4.14: Interação dos utilizadores com a interface de programação do robô colaborativo da solução de manipulação de peças moldadas por injeção [50]

## 4.6 Caso de Estudo - Otimização do Tempo Utilizado num Processo de Manipulação de Peças Moldadas por Injeção

O processo de manipulação de peças de plástico moldadas por injeção, é frequentemente realizado por robôs cartesianos ou robôs de seis eixos. Normalmente,

o robô aguarda o sinal da máquina que a peça está pronta, faz o movimento até ao interior do molde de onde retira a peça, através de um conjunto de ventosas ativadas por vácuo. De seguida move a peça até um tapete ou caixa de armazenamento, ficando depois à espera da próxima peça. Apesar de executar este processo eficazmente, a ABB verificou que poderia utilizar o tempo em que uma nova peça está a ser moldada para o robô realizar outras tarefas, tornando o processo ainda mais rentável e eficiente.

#### 4.6.1 Abordagem ao Problema e Solução

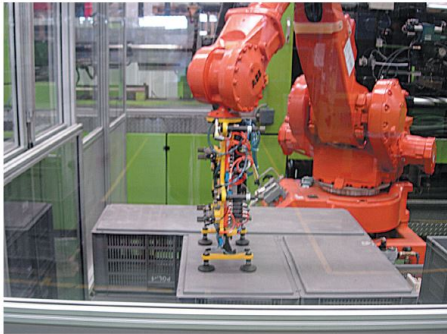
Após uma análise dos tempos de atividade e inatividade de um robô durante um processo de manipulação de peças moldadas, a ABB verificou que era possível rentabilizar o processo ao colocar o robô a realizar outras tarefas, no intervalo de tempo em que não está a realizar a tarefa principal do processo, neste caso, retirar a peça do interior do molde e colocá-la no tapete de saída. Como em qualquer aplicação industrial, o objetivo passa sempre por tornar o processo o mais rentável possível, e como tal, ao ser possível aproveitar o tempo em que o robô está parado para realizar uma tarefa, o processo torna-se mais eficiente.

Neste caso em particular [52], o processo consiste em produzir um conjunto de peças através de moldagem por injeção:

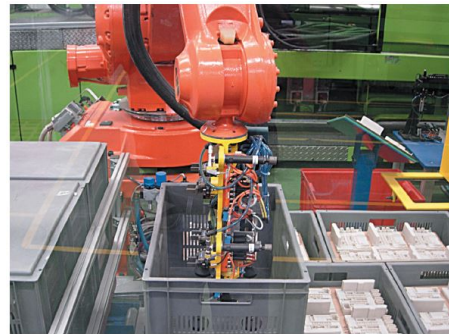
- o molde em questão possui quadro cavidades e é necessário introduzir um parafuso em cada uma delas, antes de ocorrer o processo de injeção. Como tal, o robô deverá introduzir um parafuso em cada uma das cavidades;
- enquanto aguarda que a peça seja moldada, o robô pega numa caixa de plástico vazia de uma paleta previamente colocada na célula para dar início ao processo de paletização, tal como se pode observar na Figura 4.15;
- de seguida, assim que as peças forem moldadas, o robô retira as peças do interior da máquina de injeção e coloca-as no interior da caixa de plástico. O robô deverá paletizar estas peças, criando uma matriz de seis peças por cada camada, com uma placa de separação entre camadas (ver Figura 4.16);
- este processo é realizado enquanto um novo conjunto de peças são moldadas;
- o robô está também responsável por pegar numa nova caixa assim que a atual esteja cheia.

Em cerca de setenta e cinco minutos, o robô é capaz de preencher uma paleta com as peças corretamente paletizadas no interior das caixas de plástico. Neste momento, já uma nova paleta com caixas vazias está preparada para o robô continuar a produção.



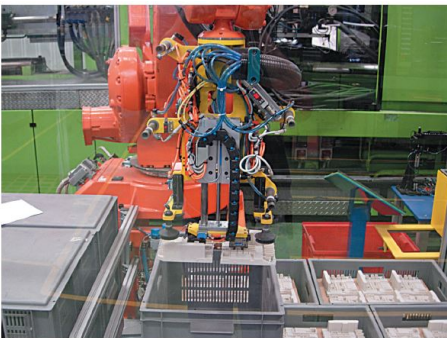


(a) Robô retira uma caixa vazia da paleta

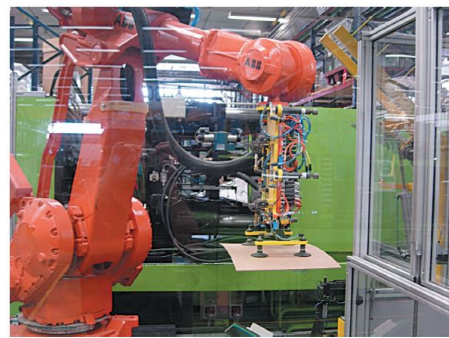


(b) Robô roda a caixa e coloca-a na zona de paletização

Figura 4.15: Preparação de uma nova caixa



(a) Robô a paletizar as peças recém moldadas no interior da caixa de plástico



(b) Colocação de uma folha de cartão para a separação das camadas paletizadas

Figura 4.16: Paletização de peças recém moldadas

#### 4.6.2 Equipamento

Esta aplicação de manipulação de peças moldadas por injeção conta com um robô de seis eixos ABB IRB 4400 [53]. Este robô poderá apresentar um alcance de 1,96 metros e 60 kg de capacidade de carga ou 2,53 metros de alcance com uma capacidade de carga de 10 kg, dependendo do modelo. Em relação à garra, esta é constituída por um conjunto de atuadores pneumáticos, instalados em dois planos distintos, como se pode observar na Figura 4.17. Dois pares de ventosas, atuadas por vácuo, vão ser responsáveis por manipular as caixas e por manipular a folha de separação de camadas de peças. Para manipular as peças moldadas, um conjunto de quatro pinças é responsável por retirar as peças do interior do molde e colocá-las no interior da caixa de plástico. A garra possui também um cilindro pneumático, que avança o conjunto de pinças no momento de colocar as peças no interior da caixa.

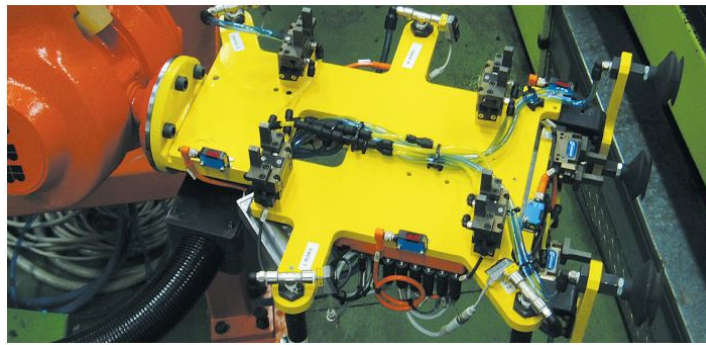


Figura 4.17: Garra pneumática composta por ventosas e pinças [52]

### 4.6.3 Resultados e Conclusões

A otimização deste processo passa por aproveitar o tempo em que o robô aguarda que um ciclo de moldagem seja efetuado. Como tal, esta é a tarefa principal do processo, mas é necessário um conjunto de outras tarefas para que a tarefa principal seja executada. A tarefa de preparar uma nova caixa para colocar as peças é facilmente executada pelo robô. Poderia ser feita por um operador ou por um dispensador automático, mas chegou-se à conclusão que incluir um conjunto de ventosas na garra do robô e dispor uma paleta preparada com caixas vazias bastava para realizar a tarefa. Como em outras aplicações do género, o robô tem de preparar o molde para um novo ciclo, neste caso, colocando um conjunto de parafusos no interior do molde. O facto de ser o robô a paletizar as peças é vantajoso no sentido de não necessitar de um operador e de efetuar este processo enquanto um novo conjunto de peças está a ser moldado. Esta ideologia poderá ser aplicada em aplicações idênticas, onde o robô fica parado durante alguns instantes de tempo, de forma a otimizar o processo de fabrico.





## Capítulo 5

---

# Aplicação de Descarga de Peças Plásticas Moldadas por Injeção

---

Antes de ser abordada a implementação prática do sistema, o problema do mesmo será descrito neste capítulo, bem como a arquitetura deste. Será apresentado o diagrama de blocos do sistema, de forma a esquematizar de que forma os diversos sub-sistemas se interligam. Por fim, serão apresentados os diversos equipamentos que fazem parte do sistema e de que forma estes foram instalados.

### 5.1 Descrição do Problema

A Robotsol, empresa sediada na cidade da Maia e com foco em desenvolver soluções de engenharia industrial, recebeu um pedido para a resolução de um problema de uma empresa de moldagem de plásticos. Este cliente verificou que tinha a necessidade de encontrar uma forma de automatizar o processo de descarga de peças acabadas de produzir de uma das suas máquinas de moldagem por injeção, que não possui nenhum método automatizado e eficiente para o fazer. A máquina, após moldar as peças, limitava-se a ejetar as peças para uma caixa localizada na sua parte inferior. Neste processo, seria necessário que um operador retirasse as peças depositadas na caixa, as verificasse e empilhasse manualmente, para que de seguida as pudesse armazenar numa caixa de cartão.

A solução a desenvolver contará com um robô de seis eixos que deverá ser capaz de retirar as peças do interior da máquina de injeção logo após esta acabar de produzir as peças. De seguida, deverá paletizar as peças, num tapete, em lotes que permitam uma rápida verificação de qualidade e um eficaz armazenamento das mesmas. Para tal, a célula robotizada terá de se interligar ao sistema de

controle da máquina de injeção através do protocolo de interface EUROMAP, de forma a que possam operar em conjunto de forma eficaz e segura.

Contudo, o cliente possui outras máquinas que também não possuem nenhum método automatizado para a descarga das peças. Desta maneira, a solução deverá ser dinâmica, de forma a que em qualquer momento se possa adaptar a uma outra máquina de injeção para efetuar a descarga das peças moldadas. Deve-se ter em conta que as máquinas não são todas iguais e que a solução de descarga deverá ser capaz de ser instalada de ambos os lados de uma determinada máquina de injeção, devido a limitações de espaço entre linhas de produção. Por estas razões, a estrutura mecânica que constituirá a célula deverá possuir características que permitam que o transporte entre máquinas e a instalação junto das mesmas seja fácil. A solução deverá contar com uma interface de botões que permita a interação do utilizador com o sistema. Estes botões deverão permitir arrancar e parar o sistema, bem como rearmar o sistema de segurança, trancar/destrancar as portas e "solicitar" uma peça de amostra. O fator segurança da solução é de elevada importância, pois não só deverá ser assegurada na interação com a célula robotizada mas também na interação com o conjunto célula/máquina de injeção.

## 5.2 Arquitetura do Sistema

### 5.2.1 Diagrama de Blocos

A solução a desenvolver terá de interligar um conjunto de equipamentos e interfaces de forma a responder aos requisitos do problema. Analisando a Figura 5.1, é possível concluir que a solução pode ser dividida num conjunto de blocos que representam a interligação entre os diversos sub-sistemas que constituem o sistema global.

A unidade de controlo é o ponto central e o cérebro do sistema. Será responsável por receber a informação, processá-la e tomar decisões sobre o sistema, sob a forma de movimento do robô e atuação de equipamentos. O controlador do robô será a unidade lógica de controlo que ficará encarregue destas funções. Terá também de efetuar toda a gestão dos movimentos do robô, bem como gerir a interface Euromap [43] da máquina de injeção.

O bloco de entradas (*inputs*) representa a entrada de informação que a unidade de controlo recebe dos diversos equipamentos constituintes do sistema. O sistema possuirá vários tipos de entradas de informação diferentes, podendo ser divididas entre interfaces com o utilizador e sinais da célula. O utilizador poderá interagir com o sistema através da consola do robô e/ou através da interface de botões de controlo da célula. Por outro lado, os sinais da célula poderão ser sinais de equipamentos de segurança, como botoneiras, trincos de segurança de portas

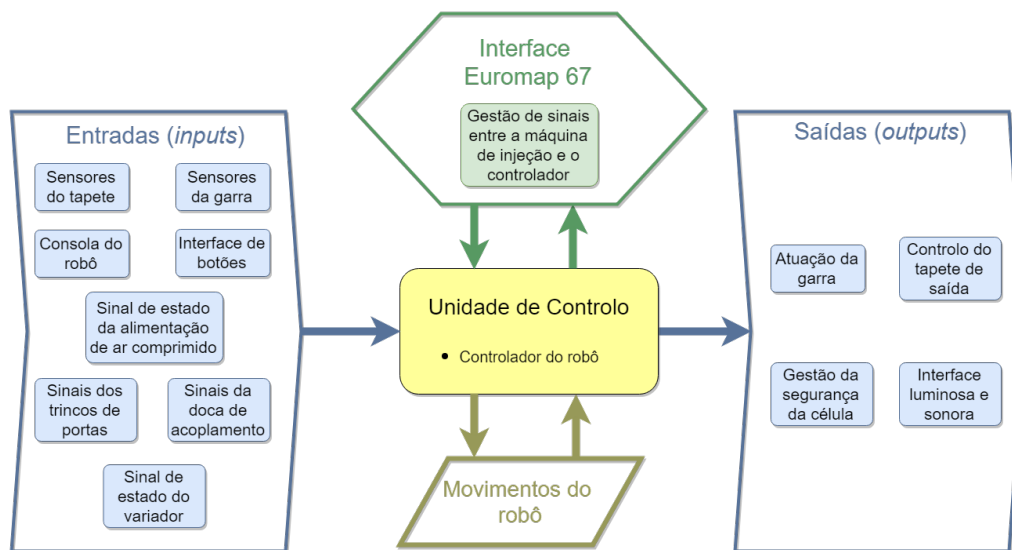


Figura 5.1: Diagrama de blocos do sistema

e sensores de acoplamento. Poderão ser também sinais digitais de sensores de deteção de peças no tapete, sensores de pressão de ar e de vácuo (conjunto pneumático da garra) e sinais de estado de outros equipamentos do sistema, como é o caso do variador de frequência do motor do tapete de saída. Esta informação será recebida através da carta de entrada de sinais digitais do controlador do robô.

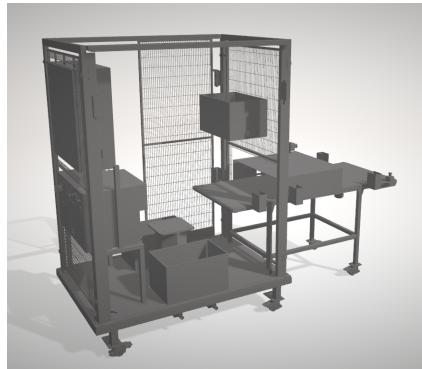
Consequentemente, o bloco de saídas (*outputs*) representa o envio de informação por parte da unidade de controlo para os demais sub-sistemas. A unidade de controlo irá atuar os diferentes equipamentos através de sinais digitais, como é o caso do sistema pneumático da garra do robô e o motor (variador de frequência) do tapete de saída. Equipamentos como os trincos das portas das células serão também controlados pelo controlador do robô, bem como as interfaces luminosa e sonora (botões, torre luminosa e bezouro de alarme). Esta informação será enviada através da carta de saídas digitais do controlador do robô.

O bloco de interface Euromap descreve o conjunto de sinais digitais necessários para que a máquina de injeção possa funcionar em conjunto com outro sistema, neste caso, com um robô. Estes sinais são divididos em duas partes: sinais enviados da máquina de injeção para o robô e sinais enviados pelo robô para a máquina de injeção. Estes sinais farão com que o robô e a máquina de injeção possam trabalhar em conjunto, de forma segura e eficiente.

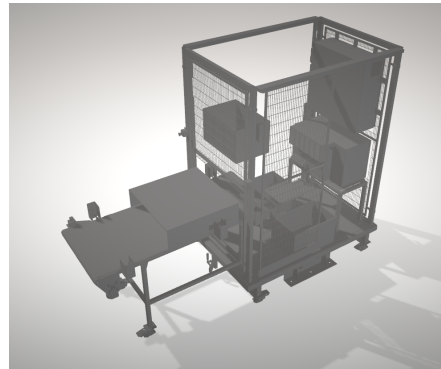
Por fim, o bloco de movimentos do robô descreve a interligação entre o robô e o seu controlador. É através desta interligação que vai ser possível o robô realizar movimentos. Os programas desenvolvidos estão armazenados no controlador do robô, que vai ser responsável por calcular o conjunto de trajetórias necessárias para que o robô execute os movimentos pretendidos.

### 5.2.2 Equipamentos e Instalação

É a estrutura mecânica da célula que suporta todos os equipamentos do sistema, devido às suas características auto-portantes. O controlador do robô e o próprio robô, quadro elétrico, tapete de saída e a caixa de peças de amostra estão instalados na estrutura da célula, sendo partes constituintes desta. A Figura 5.2 apresenta a estrutura mecânica idealizada.



(a) vista 1



(b) vista 2

Figura 5.2: Estrutura mecânica da célula auto-portante

A estrutura mecânica da célula apresenta um formato simétrico, onde o robô é instalado num pedestal centrado nesta. Possui duas portas de correr amovíveis, que são colocadas no lado oposto ao qual a máquina de injeção está acoplada. Esta particularidade permite o dinamismo requerido pelo cliente, no que toca ao posicionamento da célula face às máquinas de injeção. As portas são bloqueadas através de um par de trincos de segurança (em cada um dos lados da estrutura) D4SL da Omron [54], que permitem saber se as portas estão corretamente colocadas na estrutura e também permitem bloqueá-las (ver Figura 5.3). Estas duas características são bastante importantes para este sistema, pois com o *feedback* dos trincos é possível saber em que lado da estrutura estão colocadas as portas e se estas estão bem colocadas, de forma a serem bloqueadas. Caso estas estejam fora de posição ou mal colocadas na estrutura, não será recebido o sinal de portas por parte dos trincos. Aliados aos trincos de segurança, a zona onde encaixa a doca de acoplamento na estrutura possui um sensor magnético F3S-TGR da Omron [55], como se pode ver na Figura 5.4. Este sensor vai permitir saber se a célula está corretamente acoplada a uma máquina ou não. Será também bastante útil para o controlador do robô decidir para que lado é que o robô deverá realizar trabalho, pois em conjugação com o *feedback* dos trincos das portas, será possível detetar em que lado da célula se encontra a máquina de injeção. Este funcionamento será apresentado na secção 6.1.2.



Figura 5.3: Trinco de porta Omron D4SL



Figura 5.4: Sensor magnético Omron F3S

De forma a possibilitar ao operador parar o sistema em caso de emergência, existe na estrutura da célula um conjunto de botoneiras de emergências, localizadas nos pilares frontais e na parte final do tapete, como se pode ver na Figura 5.5. A gestão destes equipamentos de segurança é efetuada por um conjunto de relés de segurança G9SE-401 da Omron [56] (ver Figura 5.6). Este modelo em questão possui quatro contactos de segurança, que serão utilizados para controlar o circuito de botoneiras de emergência da célula, bem como o circuito de portas. Estes relés possuem uma saída auxiliar, que é atuada quando o relé está em segurança.



Figura 5.5: Localização das botoneiras de emergência



Figura 5.6: Relés de segurança Omron G9SE

Contudo, outro conjunto de equipamentos será instalado na estrutura, sendo eles:

- robô e pedestal;
- controlador do robô;
- consola de programação;
- garra e módulo de troca rápida de garra
- equipamento pneumático

- circuito de controlo de ar comprimido
- tapete de saída de peças;
- caixa de peças de amostra;
- quadro elétrico;

O robô escolhido para integrar este sistema é um Fanuc Arc Mate 100iC [57] (ver Figura 5.7). Apesar de ser um robô idealizado para trabalhos de soldadura, este robô de seis eixos caracteriza-se por ser económico, versátil no que toca a opções de montagem e pela poupança de espaço, devido às suas dimensões. Possui uma capacidade de carga de 12 kg e um alcance de 1420 mm. Estas foram algumas das características que levaram à escolha deste robô.



Figura 5.7: Robô Fanuc Arc Mate 100iC [57]

O controlador que acompanha o robô e a restante célula é um Fanuc R30iB Mate [58]. Este controlador (ver Figura 5.8) é descrito pelo fabricante como potente e autónomo. É de dimensões reduzidas, o que o torna vantajoso para a célula desenvolvida. Este tipo de controlador da Fanuc não possui um computador industrial, pelo que, ao ser baseado no seu sistema operativo proprietário permite-lhe um arranque mais rápido e uma maior segurança a nível de ataques ao *software*. É possível adicionar módulos de entradas e saídas a estes controladores, o que os torna flexíveis a nível de programação. Será através destes módulos que se irá efetuar a troca de informação de sensores, atuadores e outros equipamentos com o controlador.





Figura 5.8: Controlador Fanuc R30iB Mate [58]

Acompanhando o robô e o controlador, a consola Fanuc iPendant [59] representa a interface entre o utilizador e o sistema robótico. É através da interface gráfica da consola, como se pode ver na Figura 5.9, que será possível programar e controlar o robô e, nesta solução, o restante sistema. É através da consola que se irão criar todos os programas que envolvam a lógica de funcionamento da célula e da interface entre a célula e a máquina de injeção.



Figura 5.9: Consola Fanuc iPendant [59]

Com a necessidade do sistema ser adaptável rapidamente a novas produções, a garra que o robô vai utilizar para manipular as peças poderá ser ajustada e/ou, eventualmente, trocada. Para tal, ao invés do *gripper* ser acoplado diretamente na flange do robô, foi instalado um sistema de troca rápida de garras. Como se pode ver na Figura 5.10, o sistema WGS da WEMO [60] consiste em duas peças que se encaixam mutuamente, e que para serem separadas basta apenas empurrar uma patilha. Uma das partes ficará fixada na flange do robô, enquanto a outra parte estará fixada à garra. Com este sistema, rapidamente se pode trocar a garra que está acoplada ao robô.

A garra que irá manipular as peças é desenvolvida pelo cliente. Na primeira produção a que a célula estará alocada, a garra é constituída por um conjunto de ventosas, de dois tamanhos diferentes. Estas estão presas por meio de um



Figura 5.10: Sistema de troca rápida de garra WEMO WGS [60]

amortecedor a uma placa de alumínio que, por sua vez, é aparafusada a um perfil de alumínio. A Figura 5.11 mostra a garra final que irá manipular as peças.



Figura 5.11: Garra de manipulação de peças composta por ventosas

A garra será atuada pneumaticamente. Para tal, um conjunto de geradores de vácuo por efeito de Venturi e sensores de vácuo (vacuostatos) serão necessários para efetuar a atuação da garra. Os geradores de vácuo utilizados são os VN-07-L-T3-PQ2-RO1-B da Festo [61]. O sistema pneumático possui um vacuostato por cada Venturi, de forma a assegurar a ocorrência de vácuo em cada um dos Venturis utilizados. O vacuostato utilizado é o SPAE-V1R da Festo [62], que permite que seja configurada qual a pressão mínima a que o sensor deve ativar um sinal digital. Com isto, quando a pressão do vácuo for inferior à configurada, o sensor envia um sinal digital ao controlador do robô, o que permite saber se existe ocorrência de vácuo num determinado conjunto de ventosas. A pedido do cliente, foram incluídas duas eletroválvulas monoestáveis VUVG-BK14-M52 da Festo [63], como forma de reserva para uma futura utilização. Todo este equipamento estará instalado numa caixa acoplada ao eixo 3 do robô, como se pode verificar na Figura 5.12.

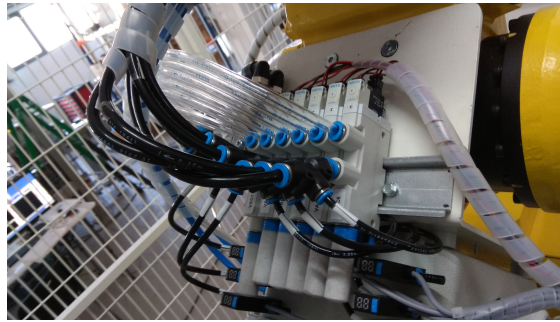


Figura 5.12: Caixa de equipamento pneumático da garra

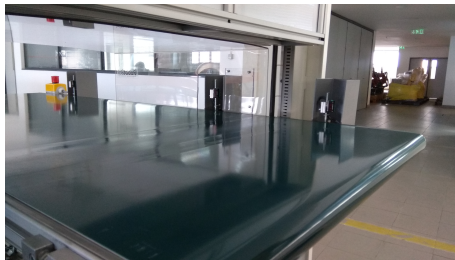
Para efetuar a alimentação do sistema pneumático, será necessário controlar a entrada de ar comprimido na célula de forma a garantir a existência de ar a uma pressão correta. Para tal, é utilizado um pressóstato SPAN-P10R da Festo [64], que monitoriza a pressão do ar comprimido na entrada do sistema. Este pressóstato permite que seja definido um valor de pressão mínima, pelo que se o valor de pressão do ar comprimido na entrada do sistema for inferior a esse valor, o pressóstato envia um sinal de alarme à unidade de controlo, neste caso, o controlador do robô. Através deste sinal de alarme, o sistema será capaz de saber se existe ar comprimido suficiente para que a garra do robô execute o trabalho pretendido. Contudo, para que seja possível mover a célula e/ou efetuar manutenções, poderá ser necessário cortar o fornecimento de ar ao sistema. Com isto, foi instalado um dispositivo manual de corte de ar que permite interromper o fornecimento de ar comprimido à célula. Existe também um dispositivo automático de corte de ar que, ao estar conectado ao sistema de emergências do sistema, só permite a passagem de ar quando o sistema não se encontra em emergência. A Figura 5.13 apresenta os equipamentos que compõem a unidade de controlo de ar comprimido. O esquema pneumático do sistema pode ser consultado no Anexo D.



Figura 5.13: Unidade de controlo de ar comprimido

A paletização das peças retiradas da máquina de injeção será feita num tapete controlado pelo controlador do robô. Este tapete é acionado por meio de

um motor SEW WA10 [65] que, por sua vez, é controlado por um variador de frequência da Omron, modelo MX2 [66]. O tapete possui também três sensores de detecção de peça, acoplados na lateral do tapete. Estes sensores permitem ser ajustados, quer em posicionamento, quer em distância de detecção de peças. Os sensores utilizados são os sensores da gama ML100 da Pepperl+Fuchs [67]. A Figura 5.14 apresenta o tapete de saída colocado na estrutura.



(a) Sensores de detecção de peças



(b) Motor do tapete de saída de peças

Figura 5.14: Tapete de paletização de peças

De forma a que seja possível separar as peças de amostra das peças da produção normal, foi instalada na estrutura uma caixa onde estas peças serão armazenadas. A caixa ficará localizada por cima do ponto onde as peças serão colocadas no tapete. A Figura 5.15 mostra o local onde a caixa está instalada na célula.



Figura 5.15: Caixa de armazenamento de peças de amostra

O quadro elétrico do sistema está instalado na estrutura, juntamente com o controlador do robô, na parte oposta ao tapete de saída de peças (ver Figura 5.16). O quadro elétrico possui os vários dispositivos de proteção elétrica e do sistema de segurança da célula. Possui também um conjunto de relés de interface, que permitirá efetuar, com segurança, a troca de sinais entre o controlador e a máquina de injeção (protocolo Euromap). Outros equipamentos, como o variador de frequência, estão instalados no quadro elétrico, mas é na porta deste que se encontram os botões que constituem a interface de controlo da célula.



Figura 5.16: Quadro elétrico e controlador do robô instalados na estrutura

Com a conjugação de todos estes equipamentos, instalados na estrutura mecânica, a célula auto-portante ganha forma. A Figura 5.17 apresenta a célula finalizada.



(a) Vista 1



(b) Vista 2

Figura 5.17: Célula auto-portante finalizada

Analisando a informação apresentada ao longo deste capítulo, foi dado a conhecer o problema que descreve a aplicação de descarga de peças desenvolvida, tendo sido explicados os diferentes requisitos e particularidades do sistema. De seguida, na secção 5.2 foi abordada a arquitetura do sistema, tendo sido descrito o diagrama de blocos e os diversos equipamentos que fazem parte da solução implementada.

## Capítulo 6

---

# Implementação Prática

---

Estabelecida a arquitetura do sistema e escolhidos os equipamentos que farão parte deste, foi possível avançar para a sua implementação. Ao longo deste capítulo serão abordadas todas as etapas que conduziram ao desenvolvimento e implementação da aplicação de descarga de peças plásticas moldadas por injeção.

### 6.1 Descrição da Implementação

Conhecidos os requisitos do sistema, identificaram-se quais os pontos fundamentais para o desenvolvimento deste. Realizar uma simulação através do programa de simulação do robô representou o arranque da implementação do sistema, servindo para validar conceitos de *layout* e de dimensões da célula. Com os requisitos do sistema foi possível definir a lógica do sistema a implementar, como por exemplo, a lógica de detecção de orientação da célula e a lógica da gestão do tapete de paletização de peças. Com as diversas lógicas definidas, estavam reunidas condições para iniciar o processo de programação, processo este realizado em duas fases distintas: programação *offline* e programação *online*. Em simultâneo, foi idealizado, ajustado e implementado o circuito elétrico da aplicação. Por fim, já numa fase final, a aplicação foi instalada nas instalações do cliente, onde foram realizados trabalhos de programação e ajuste de pontos do robô, bem como a afinação dos parâmetros produtivos da máquina de injeção, para que fosse possível realizar trabalho juntamente com o robô. Com isto, foi possível acompanhar o processo produtivo do conjunto célula robótica-máquina de injeção e validar o funcionamento do sistema.



### 6.1.1 Simulação

Realizar uma simulação do sistema a implementar representa o primeiro passo para validar questões mecânicas e funcionais idealizadas. Esta simulação foi realizada através do Fanuc Roboguide HandlingPRO, visto ser o programa disponibilizado pelo fabricante do robô. Com a simulação foi possível apurar se o *layout* pensado para o projeto é o mais eficiente, se os componentes e equipamentos mecânicos desenvolvidos se integram de forma expectável na célula e se, neste caso, o robô escolhido é o mais indicado para o sistema. Neste projeto, a simulação teve um papel importante na validação da estrutura autoportante desenvolvida, no sentido em que foi possível em simulação verificar quais as limitações de trajetórias que o robô iria enfrentar na realidade. A Figura 6.1 apresenta o modelo da estrutura autoportante da célula, que foi utilizado na simulação.

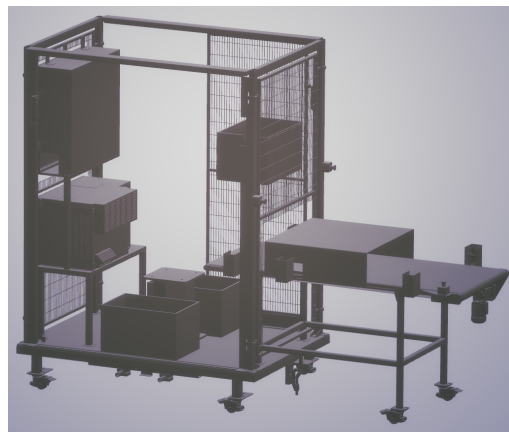


Figura 6.1: Modelo da estrutura autoportante da célula robotizada

A garra do robô é também um dos elementos desenvolvidos a validar através da simulação, sendo que nesta situação a garra foi desenvolvida pelo cliente. Contudo, houve a necessidade de criar um perfil de adaptação da garra, para que esta pudesse ser acoplada ao robô. A Figura 6.2 apresenta o modelo de perfil de adaptação da garra do cliente.

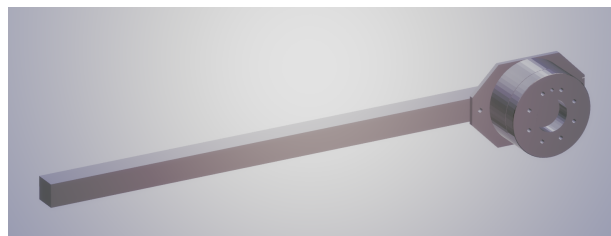


Figura 6.2: Modelo do perfil de adaptação da garra do robô

Com o modelo da estrutura importado na simulação e com o robô corretamente posicionado na célula, foi esboçada a máquina de injeção do cliente, através de blocos (este esboço foi realizado com as medidas reais da máquina de injeção), para que fosse possível verificar o alcance do robô com a garra acoplada. Importados todos os elementos na simulação, foi possível verificar então se o robô instalado no centro da célula possuía alcance para realizar as tarefas a que se destina. As Figuras 6.3, 6.4 e 6.5 apresentam diferentes vistas da simulação realizada.

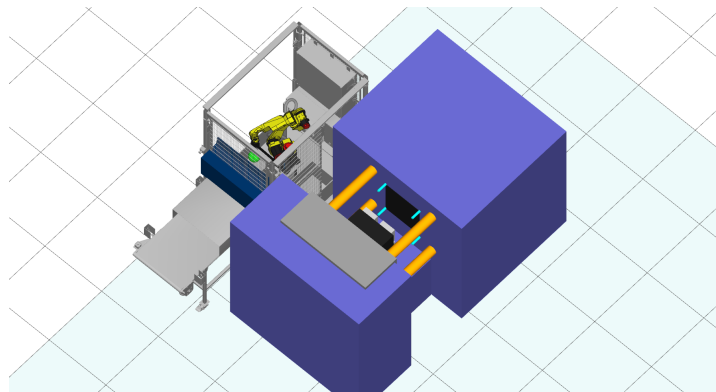


Figura 6.3: Simulação da célula robotizada - vista lateral 1

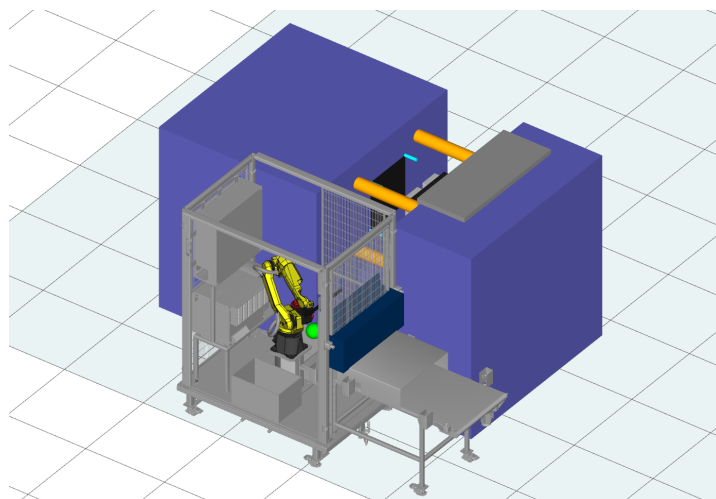


Figura 6.4: Simulação da célula robotizada - vista lateral 2



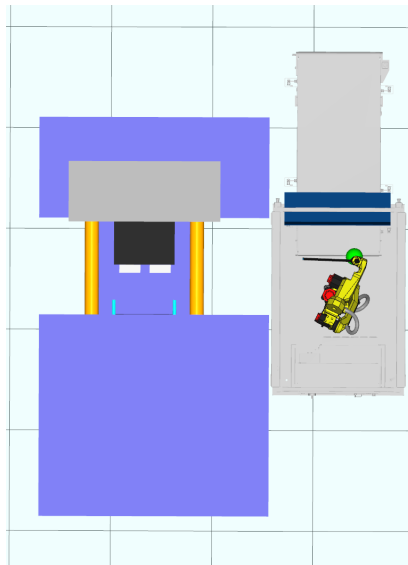
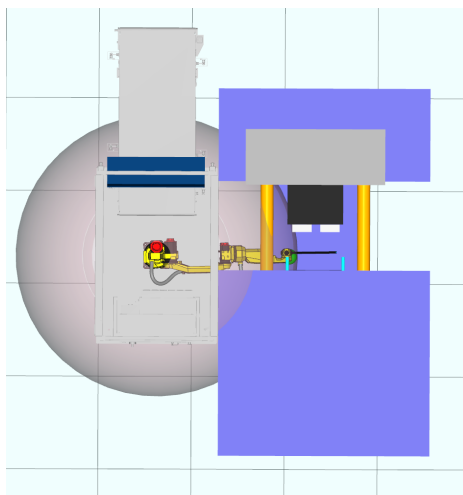
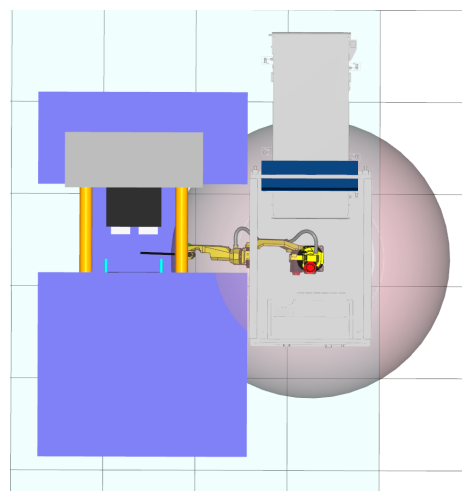


Figura 6.5: Simulação da célula robotizada - vista de topo

Após uma verificação das medidas da máquina de injeção modelada, foi possível a partir da simulação concluir que o robô não possuiria alcance suficiente para alcançar o molde da máquina de injeção. Este facto deve-se à orientação da célula face à máquina de injeção, visto o molde desta não estar centrado com o centro da máquina. Tal facto foi comprovado na realidade, pelo que será abordado no Capítulo 7 quais as medidas equacionadas e qual a solução implementada. A Figura 6.6 mostra qual o volume de trabalho do robô, com a célula instalada em cada um dos lados da máquina de injeção.



(a) Célula instalada no lado esquerdo da máquina de injeção



(b) Célula instalada no lado direito da máquina de injeção

Figura 6.6: Volume de trabalho da célula robotizada em duas orientações distintas

Com esta análise e com a restrição que a célula robotizada teria de ficar na face direita da máquina de injeção, por motivos de espaço da zona de trabalho do cliente e também pela razão da interface da máquina de injeção ser na face esquerda da máquina (interface fixa e que ficaria inacessível com a máquina instalada nesse lado), foi necessário encontrar soluções para resolver esta questão. Consideraram-se algumas soluções para resolver a falta de alcance do robô para esta máquina em questão, como a alteração da garra (esta solução será abordada no Capítulo 7) ou o reposicionamento do robô no interior da célula. Esta última solução foi facilmente verificada através da simulação e também se verificou ser de fácil implementação. Com isto, a solução passaria por aproveitar parte da furação do pedestal do robô, até então fixado no centro da célula, e movê-lo 280 mm (a distância entre furos do pedestal) para a esquerda da estrutura, de forma a que o robô fique mais próximo da entrada da máquina. O facto de aproveitar parte da furação do pedestal apresenta apenas a necessidade de efetuar dois furos extra na estrutura, sem alterar a composição desta. Em todo o caso, o pedestal poderá ser movido novamente para o centro da estrutura, sem grandes problemas. Esta alteração foi então implementada na simulação, verificando-se através da Figura 6.7 as diferenças em termos de alcance do robô.

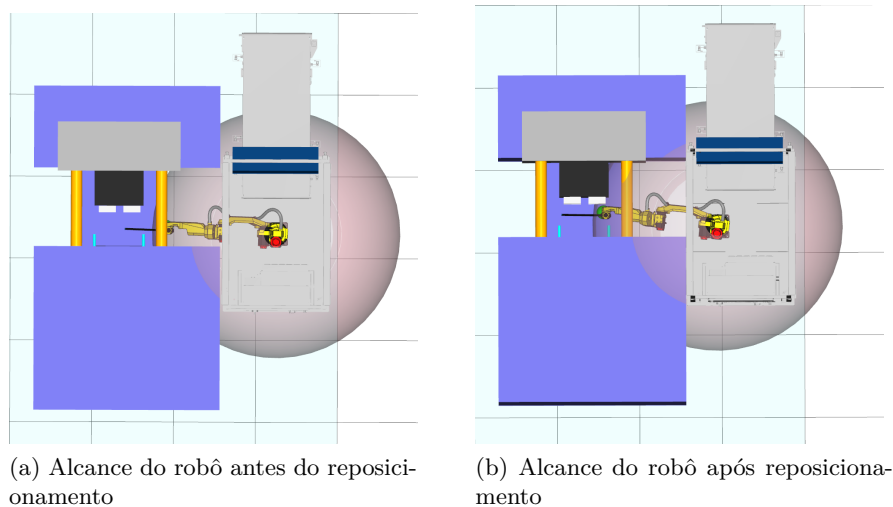


Figura 6.7: Diferenças do volume de trabalho e alcance do robô após reposicionamento

Validada a alteração ao posicionamento do robô, foi necessário verificar os pontos e trajetórias que o robô descreve no interior da célula. Os pontos que o robô terá de alcançar no interior da célula são: ponto de espera no centro da célula (*Wait\_Pos\_Zone\_B*), ponto de espera para a saída da célula (*Exit\_Home\_To\_B*), ponto de paletização de peças no tapete (*Place\_Point*) e ponto de colocação de peças na caixa de peças de amostra (*Place\_Sample*). A

Figura 6.8 apresenta as posições dos quatro pontos base que o robô tem de ser capaz de alcançar no interior da célula.

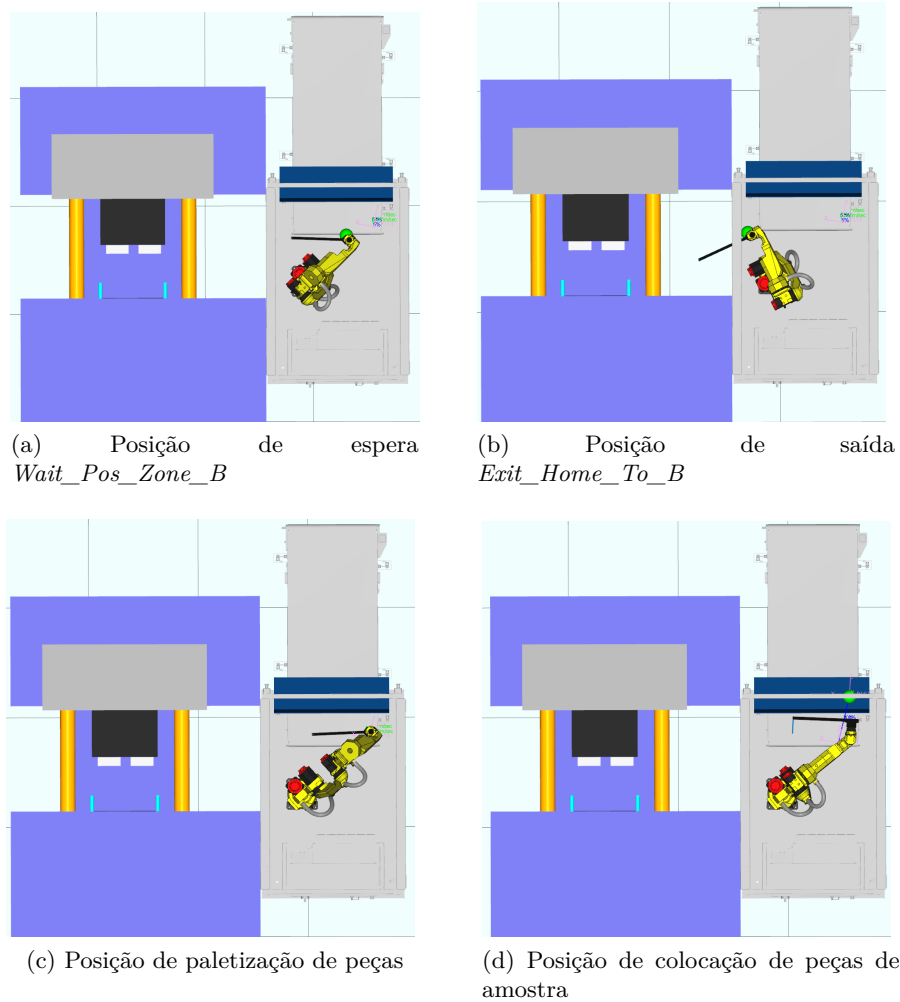


Figura 6.8: Pontos de trabalho do robô no interior da célula orientada para o lado B

Com a realização da simulação, foram validadas questões de alcance, trajetórias, volumes de trabalho e estruturas e equipamentos mecânicos, e foi então possível avançar para a esquematização da lógica do sistema.

### 6.1.2 Esquematização da Lógica do Sistema

Após realizada a simulação do sistema, foi necessário esquematizar qual a lógica de funcionamento do sistema. Com a análise dos requisitos da célula, a lógica de funcionamento foi dividida da seguinte forma:

- lógica de deteção da orientação da célula;
- lógica de funcionamento do tapete de paletização;
- lógica de funcionamento da interação com a máquina de injeção (protocolo EUROMAP 67).

Um dos pontos constituintes da lógica de funcionamento do sistema consiste no facto de a célula possuir características auto-portantes, e por essa razão, foi necessário estudar de que forma o sistema de controlo fosse capaz de detetar a orientação da célula face à máquina de injeção.

De todos os constituintes do bloco de entradas da arquitetura do sistema, os sinais dos trincos das portas e da doca de acoplamento serão imprescindíveis para que seja possível detetar a localização da célula face à máquina de injeção. Sendo a estrutura da célula simétrica, consideraram-se dois lados em que o robô poderá realizar trabalho: lado A e lado B. Como tal, a célula apenas possui um conjunto de portas amovíveis, que deverá ser colocada do lado oposto ao qual está a máquina de injeção acoplada. Como exemplo, se a célula estiver acoplada a uma máquina de injeção pelo lado B, será necessário colocar as portas no lado A da célula. Visto as portas serem amovíveis, existe um par de trincos de portas em cada lado da célula, bem como um sensor magnético na parte inferior da estrutura. Estes trincos, além de efetuarem o bloqueio mecânico das portas, também são capazes de informar o sistema se uma porta está fechada ou não. Aliando o *feedback* dos trincos elétricos das portas com os sinais dos sensores magnéticos da doca de acoplamento, o sistema será capaz de decidir para que lado o robô terá de realizar trabalho. A Figura 6.9 esquematiza este funcionamento.

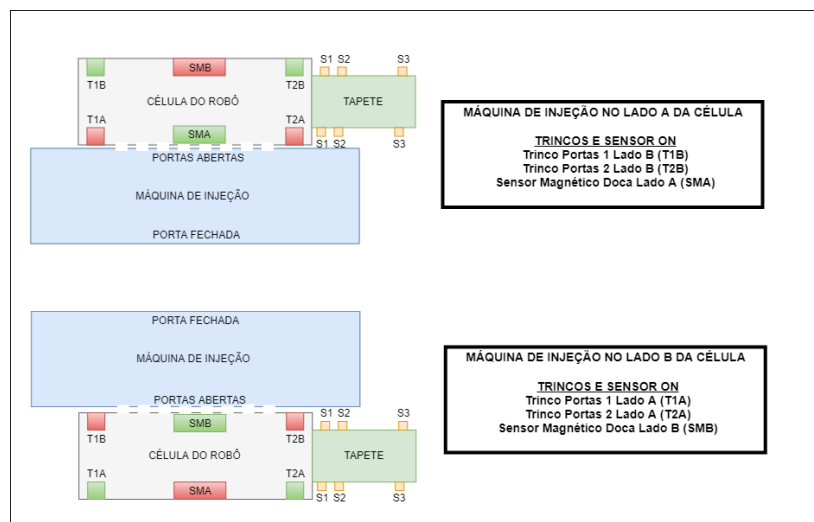


Figura 6.9: Esquema da lógica do funcionamento de deteção da orientação da célula

Um dos requisitos do sistema é o tapete de paletização de peças possuir dois modos de funcionamento: modo por tempo e modo por detecção de peça através de três sensores. O tapete possui três sensores (S1, S2 e S3) instalados na sua lateral. É com estes sensores que vão ser detetadas as pilhas de peças ao longo do tapete. A Figura 6.10 apresenta os dois modos de funcionamento.

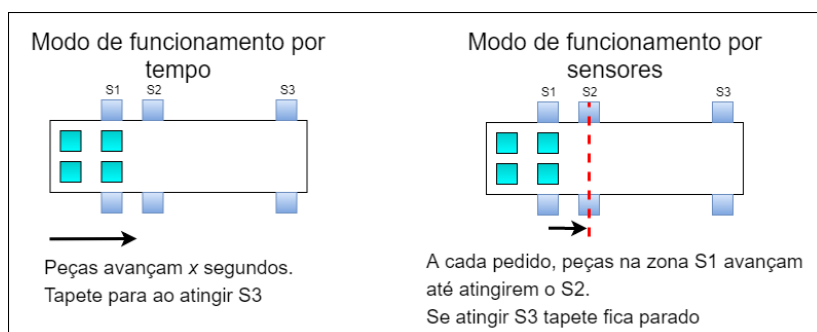


Figura 6.10: Esquematização dos modos de funcionamento do tapete de paletização

O primeiro modo de funcionamento (por tempo) consiste em após o robô empilhar o número de peças especificado, o tapete avançar durante um período de tempo, também especificado. Este funcionamento apenas considera o sinal do sensor 3 (S3): no momento em que o robô estiver prestes a iniciar uma nova pilha de peças, caso existam peças na zona de alcance do S3, a paletização será interrompida, até que o tapete se encontre vazio o suficiente para que não existam peças na zona do S3. O segundo modo de funcionamento (por sensores) consiste em detetar constantemente a posição das peças no tapete. O robô terminando a primeira fila de peças, o tapete avançará até que estas sejam detetadas pelo S1. Neste momento o tapete para. Estando terminada a segunda fila de peças, o tapete avançará de novo, sendo que nesta vez, parará quando ambos os sensores (S1 e S2) detetarem peças. Sempre que se inicie uma nova pilha de peças, o S3 é verificado, e caso detete peças, o sistema não permitirá a paletização do robô até que o tapete esteja livre de peças na zona abrangida pelo sensor 3. Este funcionamento será vocacionado para produções que não permitam empilhar peças devido à sua forma ou para produções de peças de dimensões inferiores retiradas em maiores conjuntos, pois os sensores possuem liberdade de serem posicionados ao longo do tapete. Para uma situação em que o objetivo seja colocar no tapete quatro peças (matriz 2 x 2), o sensor 1 e o sensor 2 poderão ser posicionados de forma a que com o tapete a avançar, cada vez que as quatro peças passem nestes sensores possa ser contabilizado um conjunto de peças. O sensor S3 representa bastante importância neste sistema pois a sua localização vai definir o limite máximo até onde as peças poderão ir, no decorrer do avanço do tapete. Um correto ajuste deste sensor permite salvaguardar a queda de peças no

final do tapete. A Figura 6.11 apresenta um esquema com cinco estados possíveis deste funcionamento do tapete de paletização.

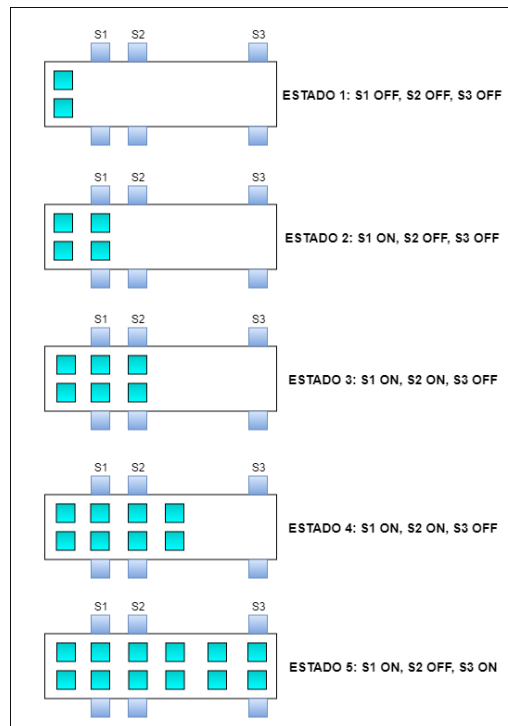


Figura 6.11: Esquema da lógica do funcionamento do tapete de paletização de peça

A lógica de funcionamento da interação com a máquina de injeção representa essencialmente a análise e implementação do protocolo EUROMAP 67. A lógica deste funcionamento é apresentada de forma detalhada através da programação do controlador, na secção 6.1.4. Com as lógicas do sistema e dos sub-sistemas desenvolvidas, foi possível dar início ao processo de programação. De forma a tornar o processo de programação mais eficiente, a programação foi desenvolvida em duas ocasiões: programação *offline* e programação *online*.

### 6.1.3 Programação *Offline*

O processo de programação *offline* serviu inteiramente para estruturar as lógicas dos sub-sistemas. Com o facto da lógica do sistema ser gerida pelo controlador do robô, esta primeira fase de programação foi realizada através do programa Fanuc Roboguide HandlingPro, onde foram estruturados os programas que irão controlar a célula. A estrutura de programas a implementar é esquematizada na Figura 6.12.

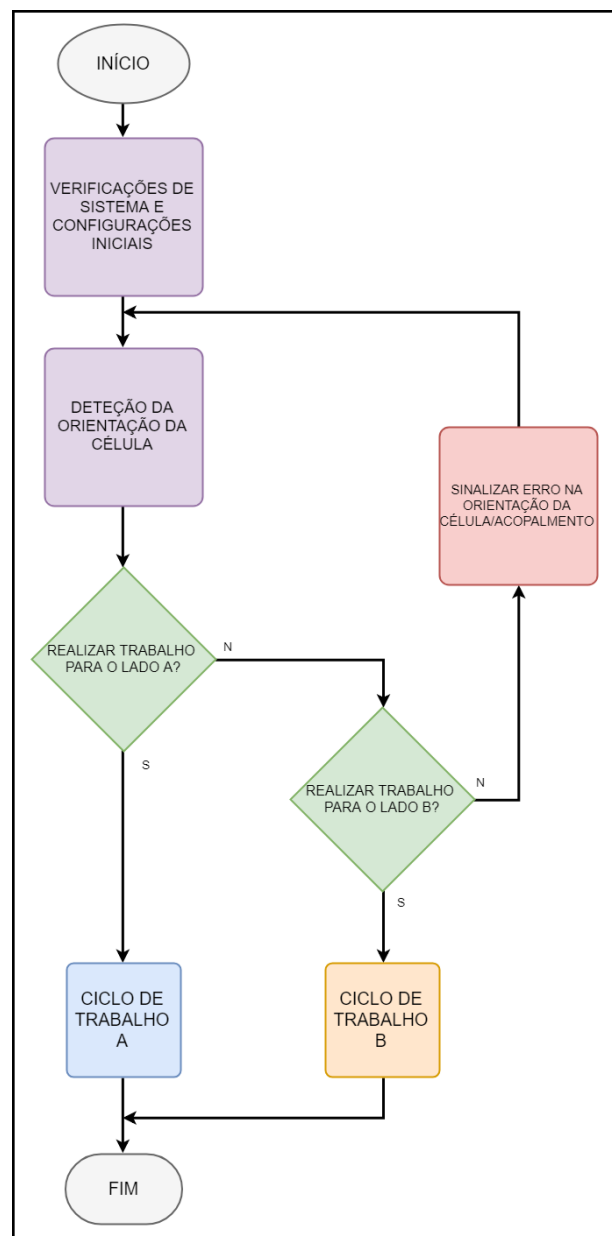


Figura 6.12: Estrutura de programação

Analisando a Figura 6.12, é possível constatar que a primeira ação a realizar pelo controlador é verificar o estado e condições de toda a célula e efetuar as configurações iniciais necessárias para que o sistema seja capaz de arrancar. Realizada esta primeira ação, o controlador deverá executar a lógica de detecção de orientação da célula, face à máquina de injeção. Conhecida a orientação da célula, o controlador terá então de decidir quais dos processos de trabalho deverá executar. Sabendo que o robô pode realizar trabalho para ambos os lados da célula, o controlador deverá utilizar a informação da orientação da célula para

executar o ciclo (*Loop*) de trabalho correto. Caso o processo de detecção da orientação não seja feito corretamente, deverá ser gerado um alerta, de forma a que o operador saiba que algo correu mal no processo de acoplamento da célula. Caso o processo de orientação e escolha de ciclo de trabalho seja feito corretamente, o robô deverá então desenvolver trabalho, até ao momento em que o ciclo de funcionamento seja terminado por parte do utilizador.

Contudo, existe a necessidade de executar um processo em paralelo que faça a gestão de várias lógicas necessárias para o correto funcionamento da célula. À semelhança do que ocorre num PLC, este processo deverá ser executado de forma cíclica. Para tal, o controlador do robô possui esta funcionalidade de criar um programa e executá-lo de forma cíclica, em paralelo com a lógica normal de funcionamento do sistema. Esta funcionalidade denomina-se de Lógica de Segundo Plano (do inglês *background logic*). O programa a ser executado em segundo plano possui toda a lógica de detecção de orientação da célula, verificação do acoplamento da célula e gestão de trancar/destrancar as portas, bem como a gestão do processo de arranque e fim/abortar de produção. O protocolo EUROMAP é considerado também em lógica de segundo plano, verificando um conjunto de condições para que seja permitido dar ordens à máquina de injeção. A lógica de funcionamento dos dois modos do tapete é também ela implementada em *background logic*, bem como o controlo de alarmes do sistema e atuação das luzes de interface da célula (botões e torre luminosa).

Em relação à marcação de pontos e trajetórias do robô, através da simulação foi já possível esquematizar alguns dos pontos no interior da célula, como é o caso dos pontos de espera (*Wait\_Pos\_B* e *Exit\_Home\_to\_B*) e ponto de colocação de peça no tapete (*Place\_Point*). Foi também em *offline* que foi estruturada a programação base da rotina de paletização de peças. Como a célula tem de ser capaz de se adaptar facilmente a novas produções, o processo de paletização tem de possuir dinamismo suficiente para empilhar diferentes peças (em produções diferentes), bastando apenas o utilizador indicar qual a largura e altura da peça e qual o número de peças que se deseja paletizar e em quantas colunas o deseja fazer. Com esta informação e com o ponto de colocação de peça definido, será calculado um novo ponto de paletização à medida que uma nova camada de peças é colocada no tapete. Para realizar este cálculo foi utilizado um registo de posição (do inglês *Position Register*, PR), onde inicialmente se garante que não possui nenhuma posição armazenada (fazer *reset* do PR). De seguida, é atribuída à coordenada *Y* do ponto a multiplicação da coluna atual pela largura da peça. Este cálculo servirá para uma produção onde seja possível empilhar vários conjuntos de peças na horizontal, aproveitando toda a largura do tapete. Nesta primeira produção, como só é possível construir duas pilhas de peças (as duas peças retiradas do molde), apenas é considerada uma coluna. Para o cálculo do *offset* em altura, à coordenada *Z* do ponto é atribuída a multiplicação da camada atual



pela altura da peça. No momento em que uma camada é colocada de peças é colocada no tapete, a variável de camadas atuais é incrementada de forma a que as peças sejam empilhadas corretamente. Estando o PR corretamente preenchido, este é associado como *offset* ao ponto de colocação de peças no tapete, previamente marcado. Toda esta lógica está implementada nos programas *T\_Place\_B* e *Check\_N\_Pcs* que podem ser encontrados na Secção 6.1.4 e no anexo B.

Apesar de parte dos programas terem sido esquematizados em modo de simulação, só foram ficando funcionais ao longo do processo de programação *online*, pelo que serão apresentados nessa secção da dissertação.

Foi em modo de programação *offline* que foram criados as mensagens de alarme a aparecer na consola, em caso de ocorrer algo não desejado. Estes alarmes foram criados com o intuito de facilitar a resolução de um problema da célula. O controlador do robô permite a criação de até dez mensagens de alarme, sendo estas apresentadas na Figura 6.13.

| Alarm No. | User Message                   |
|-----------|--------------------------------|
| [1]:      | [SISTEMA PARADO! EMERGENCIA ]  |
| [2]:      | [EMERG. VARIADOR OU CIRCUITO>] |
| [3]:      | [EMERGENCIA E-STOP ]           |
| [4]:      | [MAQUINA NAO TRANCADA ]        |
| [5]:      | [CONVEYOR CHEIO ]              |
| [6]:      | [ERRO NO VACUO ]               |
| [7]:      | [ARRANCAR PROGM LOGIC ]        |
| [8]:      | [ROBO FORA DE POSICAO SEGURA ] |
| [9]:      | [ERRO REFERENCIA ]             |
| [10]:     | [ROBO PRESO NO MOLDE ]         |

[ TYPE ]

Figura 6.13: Mensagens de alarme personalizadas

Ao ativar qualquer uma destas mensagens de alarme ao longo das rotinas de programação, no momento em que a mensagem é mostrada na consola, o sistema fica em modo *Fault* (sistema em erro), até que o problema seja verificado e validado pelo utilizador através da consola. A título de exemplo, quando na rotina de verificação de vácuo das ventosas da garra os vacuostatos não acusam pressão inferior à configurada, é ativado o *user alarm* 6, indicando erro no vácuo. O sistema fica então em *Fault*, parado, até que o erro seja verificado pelo utilizador. Assim que o erro for validado, o sistema prossegue o seu funcionamento. Foi também desenvolvido um painel de interface que indica quais os estados dos

vários erros possíveis, bem como uma breve descrição de resolução. A base deste painel foi criada diretamente na consola do robô, incluindo apenas alguns sinais. A programação deste tipo de ficheiro é baseada em *javascript*, pelo que bastou apenas replicar algumas linhas de código e alterar os códigos de cores para criar o painel apresentado pela Figura 6.14.

| ALARME                                | DESCRIÇÃO                                                 | ESTADO |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------|
| Sistema Parado!                       | Verificar segurança de todo o sistema! Consultar manual.  | ●      |
| Emergências Variador e Circuito de ar | Verificar variador do tapete e circuito de ar comprimido. | ●      |
| Emergência E-Stop                     | Emergência do utilizador!                                 | ●      |
| Máquina não trancada                  | Verificar portas da célula.                               | ●      |
| Conveyor Cheio                        | Verificar quantidade de peças no tapete de saída.         | ●      |
| Erro de Vácuo                         | Verificar perda de peça(s)!                               | ●      |

Figura 6.14: Painel de estado de alarmes e possíveis resoluções

#### 6.1.4 Programação *Online*

Como referido, o processo de programação *online* foi importante para ajustar e completar os programas previamente estruturados em modo de simulação (*offline*). O programa *Main* é o programa base que é arrancado pelo controlador assim que o robô é colocado em automático e é dada ordem para arrancar com o sistema.

Este programa, ao ser executado, vai por sua vez executar sequencialmente vários programas de verificação de sistema, até que execute o ciclo de trabalho (*Loop*), consoante a orientação da célula. O programa *Check\_Logic* é o primeiro a ser executado e verifica através de macros de sistema do controlador se os programas escolhidos para serem executados em lógica de segundo plano estão realmente em execução. Caso tal não seja verdade, o arranque é abortado e é gerada uma mensagem de alarme para dar conhecimento ao utilizador que a lógica de segundo plano não está em execução.

De seguida é executado o programa *Config\_Ref*. Este é o programa onde são verificadas e consideradas as referências de produção criadas e escolhidas pelo utilizador. Nestas referências constam quais as unidades de vácuo que devem ser utilizadas no processo, quais as dimensões da peça a paletizar e qual a forma

com que estas vão ser paletizadas (número de colunas em largura e número de camadas em altura) e é também nestas referências que se vai indicar qual o modo de funcionamento do tapete de saída de peças e qual a duração do movimento, caso seja escolhido o modo de funcionamento por tempo. Podem ser criadas até dez referências de produção e para escolher uma referência o utilizador apenas necessita de aceder à janela de escolha de referência (ver Figura 6.15).

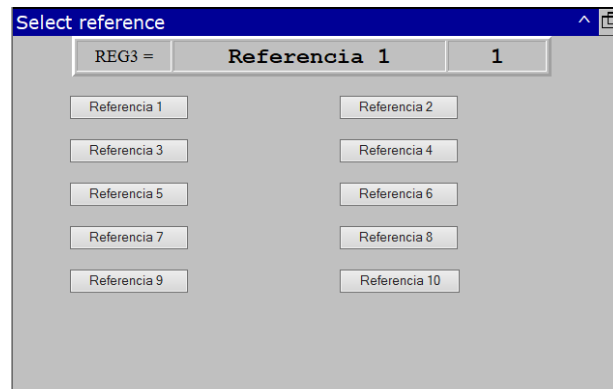


Figura 6.15: Janela de escolha de referência

Com a referência carregada, é feito o arranque de um conjunto de temporizadores (programa *Timers*) utilizados para o cálculo do tempo de avanço do tapete, para fazer piscar luzes em situação de alarme ou para contar o tempo que um determinado botão é pulsado (pedido de peça de amostra ao carregar mais de três segundos no botão verde). Antes de iniciar o ciclo de trabalho, é feita uma inicialização às várias variáveis e sinais que são utilizadas ao longo de todo o processo. Todas as *flags* utilizadas são colocadas a OFF e todos os sinais do protocolo EUROMAP são colocados a OFF, à exceção do sinal de permissão de abertura do molde (*Dom\_E\_F\_Mod\_Open*) (é necessário que exista permissão de abertura do molde para arrancar a máquina de injeção). É feito o *reset* dos registos de contagem de coluna e camada do processo de paletização, e é também ativada uma *flag* de início de ciclo (*First\_Cycle*). Esta *flag* é utilizada no processo de arranque da máquina de injeção e a sua utilização será apresentada na programação da rotina *Loop*.

Realizado o processo de inicialização do sistema, são ativadas as *flags* de início de produção (*Init\_Job*) e de peça a rejeitar (*Reject\_Piece*). A *flag* de início de produção é utilizada na lógica de segundo plano para diferenciar a utilização do botão iniciar (caso o sistema já tenha arrancado, este botão deverá servir apenas para efetuar o pedido de uma peça de amostra e não iniciar o sistema novamente). Por outro lado, a *flag* de peça a rejeitar servirá para garantir que a primeira peça a retirar da máquina de injeção é rejeitada (por razões de arranque da máquina de injeção); contudo, através dos sinais EUROMAP, a máquina se corretamente

configurada é capaz de fazer este pedido.

Por fim, é então executado o *Loop* correspondente à orientação da célula. A detecção da orientação, como já referido, é feita na lógica de segundo plano, pelo que no programa *Main* apenas é comparada a variável *Job\_Zone* para arrancar o ciclo. Caso a variável possua o valor 1, é executado o *Loop A*, enquanto que se possuir o valor 2 é executado o *Loop B*. Caso a variável não possua nenhum destes valores a comparação é repetida, e em *background logic* esta variável é constantemente atualizada. Quando o ciclo termina, todo o processo é terminado, ficando o controlador em espera pelo botão de início para recomeçar todo o processo. A Figura 6.16 apresenta o fluxograma do programa *Main*.

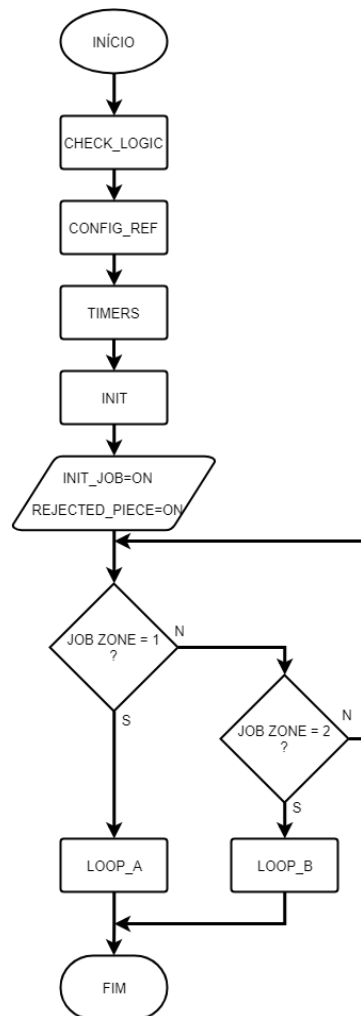


Figura 6.16: Fluxograma do programa *Main*

Em paralelo à execução do programa *Main* é executado na lógica de segundo plano o programa *Logic\_Prog*. A Figura 6.17 apresenta o fluxograma de funcionamento deste programa.

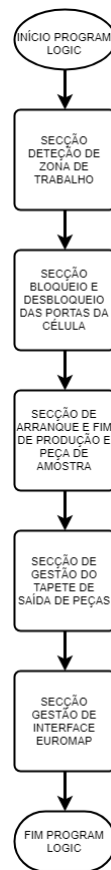


Figura 6.17: Fluxograma do programa *Logic\_Prog*

Este programa pode ser dividido essencialmente em cinco secções de lógica de controlo:

- secção de deteção de zona de trabalho;
- secção de bloqueio e desbloqueio das portas da célula;
- secção de arranque e fim de produção e peça de amostra;
- secção de gestão do tapete de saída de peças;
- secção de gestão de interface EUROMAP.

Estas secções são executadas sequencialmente e ciclicamente em paralelo com a execução dos restantes programas que compõem a lógica do sistema. A secção de deteção de zona de trabalho verifica as duas entradas digitais (*DIL\_Zone\_A\_Open* e *DIL\_Zone\_B\_Open*) que indicam se as zonas de trabalho A e B estão ou não abertas. A comparação é feita da seguinte forma na Tabela 6.1:

Tabela 6.1: Tabela da lógica de escolha da zona de trabalho

| <i>DIL_ZONE_A_OPEN</i> | <i>DIL_ZONE_B_OPEN</i> | <i>Job_Zone</i> |
|------------------------|------------------------|-----------------|
| ON                     | OFF                    | 1               |
| OFF                    | ON                     | 2               |
| ON                     | ON                     | 0               |
| OFF                    | OFF                    | 0               |

A Figura 6.18 apresenta o fluxograma deste funcionamento.

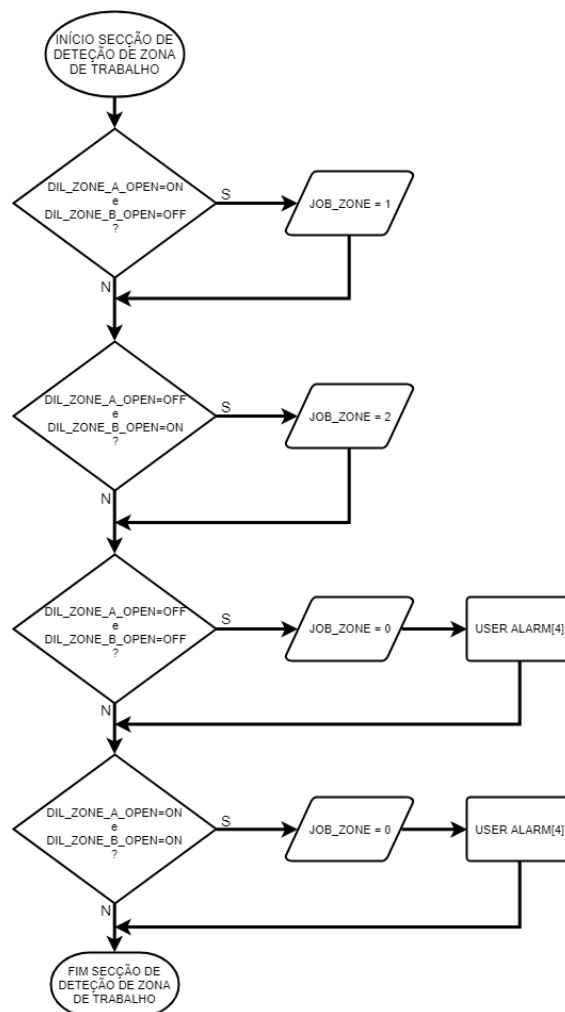


Figura 6.18: Fluxograma do programa *Logic\_Prog* - secção de detecção de zona de trabalho

A secção de bloqueio e desbloqueio das portas da célula considera o seguinte

conjunto de sinais (Tabela 6.2) para a execução da lógica:

Tabela 6.2: Sinais para a detecção da orientação da célula

| Variável/Sinal          | Descrição da Variável/Sinal                                                                                                 |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>DIL_TRANCAR_DEST</i> | Botão trancar/destrancar da interface de botões                                                                             |
| <i>DIL_ZONE_A_OPEN</i>  | Sinal do par de trincos das portas e magnético da doca a indicar que o Lado A da célula está aberto                         |
| <i>DIL_ZONE_B_OPEN</i>  | Sinal do par de trincos das portas e magnético da doca a indicar que o Lado B da célula está aberto                         |
| <i>DOL_TR_A_SOLEN</i>   | Sinal para ativar solenóide dos trincos das portas - Lado A                                                                 |
| <i>DOL_TR_B_SOLEN</i>   | Sinal para ativar solenóide dos trincos das portas - Lado B                                                                 |
| <i>CE/CR Select b1</i>  | Sinal de estado automático do controlador para o modo automático (sinal da chave seletora de modo de funcionamento do robô) |

Através destes sinais é possível saber se as portas estão ou não colocadas na célula, em que lado da célula estão colocadas e se estão ou não trancadas. Qualquer ação sobre as portas apenas será executada ao carregar no botão de trancar/destrancar, da interface de botões. Ao receber o sinal *Dil\_Trancar\_Destrancar* poderá ocorrer uma das seguintes ações:

- trancar as portas, caso estas estejam colocadas e fechadas;
- destrancar as portas, caso estas estejam previamente trancadas;
- parar o robô e ativar um alarme, quando as portas forem abertas ou destrancadas no modo automático.

Estas ações são executadas para cada um dos lados da célula, consoante a localização das portas. A Figura A.1, presente no Anexo A, apresenta o fluxograma do funcionamento desta secção.

A secção responsável pelo arranque e fim de produção vai essencialmente controlar duas variáveis diretamente mapeadas nos sinais do sistema do controlador. As variáveis *Prod\_Start* e *Abort* permitem arrancar e abortar, respetivamente, o

controlador do robô. Estas variáveis são mapeadas nos sinais de painel de utilizador (do inglês *User Operator Panel* (UOP)). A variável *Prod\_Start* é mapeada no sinal UI[6]-*Start*, enquanto que a variável *Abort* é mapeada no sinal UI[4]-*Cycle Stop*. Através deste mapeamento é possível arrancar e parar o sistema atuando apenas estas duas variáveis.

Como tal, a lógica desta secção do programa *Logic\_Prog* terá de decidir em que situação (ou situações) deve ativar cada uma destas variáveis e para isso deve considerar os seguintes sinais (ver Tabela 6.3):

Tabela 6.3: Sinais para arranque e término do ciclo de produção do robô

| Variável/Sinal          | Descrição da Variável/Sinal                                                          |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>DIL_INICIAR</i>      | Botão iniciar/peça de amostra da interface de botões                                 |
| <i>DIM_AUTO_MODE</i>    | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - máquina em modo Automático      |
| <i>DIL_ROB_MODE</i>     | Seletor de duas posições de escolha de modo automático/manual da interface de botões |
| <i>DIM_MOULD_OPEN</i>   | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - molde aberto                    |
| <i>DIM_MOULD_CLOSED</i> | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - molde fechado                   |
| <i>DIL_PARAR</i>        | Botão fim de produção da interface de botões                                         |

Através deste conjunto de sinais, o arranque do ciclo de produção é feito quanto a máquina de injeção estiver em modo automático, com o molde na posição de aberto, o seletor de funcionamento da célula estiver em modo automático e for carregado no botão iniciar da interface de botões. Estando estas condições reunidas, a variável *Prod\_Start* é ativada e é iniciado o ciclo produtivo. Para terminar o ciclo produtivo, o controlador apenas necessita de receber o sinal do botão parar da interface de botões (*Dil\_Parar*). Contudo, este botão possui dupla função:

- caso seja pulsado apenas uma vez no decorrer do ciclo de produção, o robô termina o ciclo de trabalho que está a realizar e termina o ciclo de produção na posição de espera;
- caso o botão seja pressionado durante um tempo igual ou superior a 3 segundos, o robô aborta o ciclo de produção, assim que esteja numa das



posições de espera (não paletiza um conjunto de peças acabadas de retirar do molde, por exemplo).

À semelhança do botão de fim de produção, o botão de início de produção também possui uma outra função além da já descrita. Caso o botão de início de produção seja pressionado durante um tempo igual ou superior a 3 segundos, e caso o robô já se encontre em ciclo de produção, este deverá considerar as peças retiradas no ciclo seguinte como peças de amostra, colocando-as numa caixa existente para esse efeito. Neste funcionamento é ativada a *flag Sample\_Piece* que irá ser utilizada nos programas de *Loop* para diferenciação do destino das peças.

O fluxograma que descreve este funcionamento é apresentado através da Figura A.2 presente no Anexo A.

A lógica de funcionamento do tapete de saída de peças é também ela controlada na lógica de segundo plano. Como já referido, o tapete possui dois modos de funcionamento: por tempo ou por conjugação de sensores. Este modo de funcionamento é selecionado no programa de configuração de referências de produção, ativando ou desativando a *flag Cnvy\_Time\_Job*. Caso a variável esteja ativa, o tapete deverá apresentar um funcionamento por tempo, caso contrário, o tapete deverá seguir o funcionamento por conjugação de sensores. A par com esta variável, a *flag Req\_Cnvy\_Run* representa um pedido para arrancar o tapete. Na lógica de segundo plano, estas variáveis estão constantemente a ser analisadas pelo controlador, mas é também necessário considerar os seguintes sinais no decorrer da execução da lógica (ver Tabela 6.4):

Tabela 6.4: Sinais analisados na lógica de controlo do tapete de saída de peças

| Variável/Sinal     | Descrição da Variável/Sinal            |
|--------------------|----------------------------------------|
| <i>DIL_S1</i>      | Sensor 1 de deteção de peça no tapete  |
| <i>DIL_S2</i>      | Sensor 2 de deteção de peça no tapete  |
| <i>DIL_S3</i>      | Sensor 3 de deteção de peça no tapete  |
| <i>DOL_MOT_FWD</i> | Sinal de ativação do variador do motor |

Aliando as *flags Cnvy\_Time\_Job* e *Req\_Cnvy\_Run* aos sinais dos sensores do tapete, é possível após a execução da lógica atuar o motor do tapete. Como tal, a lógica do sistema é constituída da seguinte forma:

- caso a variável *Cnvy\_Time\_Job* esteja ON, seja feito o pedido de avançar o tapete (*Req\_Cnvy\_Run*) e a zona do Sensor 3 esteja desimpedida, é

ativado o motor do tapete de saída até que se atinja o tempo máximo para esse movimento ou chegue uma peça à zona do Sensor 3;

- caso a variável *Cnvy\_Time\_Job* esteja OFF e seja feito o pedido de avançar o tapete, é verificado se não existem peças na zona do Sensor 3. Caso estas condições e exista peça na zona do Sensor 1, o tapete avança até as peças atingirem o Sensor 2 (deixando a zona do Sensor 1 livre). Em todo o momento é verificada a zona do Sensor 3 (final do tapete), pelo que se existirem peças nesta zona o tapete não se moverá e será emitido um alarme.

O fluxograma que descreve a lógica que controla os dois modos de funcionamento do tapete é apresentado através da Figura 6.19.

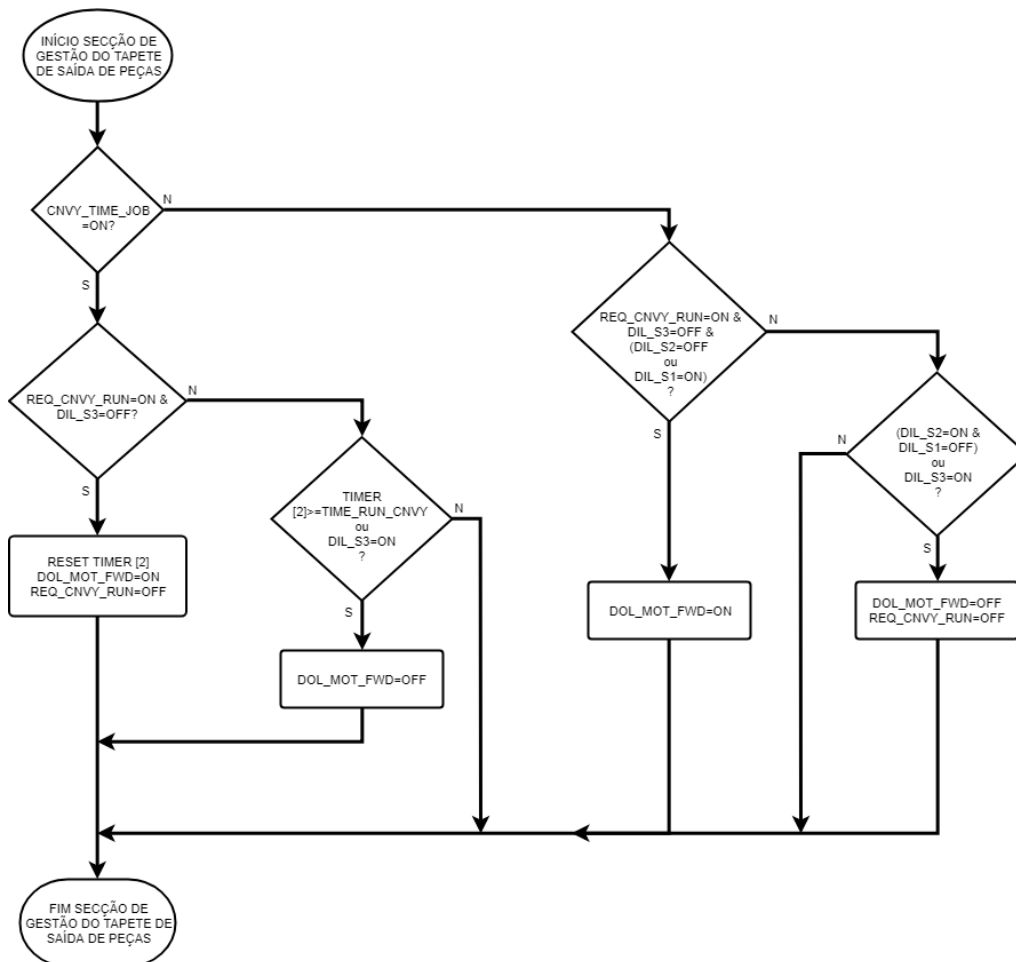


Figura 6.19: Fluxograma do programa *Logic\_Prog* - secção de gestão do tapete de saída de peças

Por fim, o programa *Logic\_Prog* possui uma secção destinada ao controlo de parte dos sinais do protocolo EUROMAP 67. Com esta secção do programa é pretendido executar as seguintes acções:

- detetar quando o molde se encontra totalmente aberto;
- ativar a permissão de fecho do molde;
- controlar o bloqueio da máquina no momento imediatamente antes da entrada do robô no molde;
- controlar o arranque da máquina;
- libertar os controlos manuais da máquina quando esta se encontra em modo manual mas com o robô acoplado.

Este conjunto de secções considera essencialmente o conjunto de sinais digitais que compõem o protocolo EUROMAP 67 [43], podendo estes sinais ser consultados nas Tabelas C.1 e C.2. Contudo, é também considerada a *flag First\_Cycle* e a saída digital 24, que indica quando o robô está fora da zona da máquina de injeção. Este sinal é gerado quando os eixos do robô estão dentro de um conjunto de limites, garantindo que o robô se encontra numa zona segura, para que a máquina de injeção possa operar. Esta funcionalidade é denominada por Posição de Referência (do inglês *Reference Position*) e é geralmente configurada já numa fase final da instalação, permitindo ao programador verificar através da posição atual do robô qual a conjugação dos ângulos dos eixos do robô que garantem uma área segura. A Figura 6.20 apresenta a Posição de Referência encontrada para a máquina acoplada no lado B da célula. A forma como foram encontrados os seguintes limites para os seis eixos do robô será apresentada na Secção 6.3.

| REF POSN             |                    |                      |     |         |
|----------------------|--------------------|----------------------|-----|---------|
| Reference Position   |                    |                      |     | 1/13    |
| Ref.Position Number: |                    |                      |     | 4       |
| 1                    | Comment:           | [ ROB FORA MAQUINA ] |     |         |
| 2                    | Enable/Disable:    | ENABLE               |     |         |
| 3                    | Is a valid HOME:   | FALSE                |     |         |
| 4                    | Signal definition: | DO [ 24 ]            |     |         |
| 5                    | J1:                | -60.000              | +/- | 90.000  |
| 6                    | J2:                | 0.000                | +/- | 160.000 |
| 7                    | J3:                | 0.000                | +/- | 264.500 |
| 8                    | J4:                | 0.000                | +/- | 190.000 |
| 9                    | J5:                | 0.000                | +/- | 190.000 |
| 10                   | J6:                | 0.000                | +/- | 360.000 |

Figura 6.20: Posição de referência - robô fora da máquina no Lado B

Detetar quando o molde se encontra em posição aberta e em que altura este deve fechar são duas tarefas bastantes importantes na interação do robô com a máquina de injeção. Para realizar a deteção da posição molde, é ativada a *flag Mould\_Open* quando é recebido o sinal *Dim\_Mould\_Open* e o sinal *Dim\_Mould\_Closed* não está ativo. Em contrapartida, é dada permissão de fecho do molde quando é recebido um pedido de fecho ao longo do programa (*Enable\_Closure*), ou quando não é pretendido o funcionamento da célula com o robô (*Dil\_Rob\_Mode=Off*) e o robô se encontra na posição de *Home*.

Para bloquear qualquer movimento do molde (exceto ejetores de peça), deverá ser ativada a saída *Dom\_Robot\_Inside* antes do robô entrar na zona do molde, e ser desativado logo que o robô se encontre novamente fora dele. Para tal, caso o robô se encontre fora da máquina (posição de referência *Rob\_Fora\_Maquina*) e tenha sido dado a libertação da área (*flag Zone\_Release* controlada ao longo dos *Loop* de trabalho indicando que terminou o trabalho na zona), a variável *Dom\_Robot\_Inside* é desativada. Caso contrário, a variável é ativada e a máquina bloqueará todos os movimentos do molde. A Figura 6.21 descreve este primeiro conjunto de tarefas da lógica da secção EUROMAP, representando a parte 1 da lógica da secção da gestão da interface EUROMAP.

Para arrancar a máquina de injeção, o molde deverá estar totalmente aberto e só depois poderá ser iniciada. Numa situação normal, com o molde aberto e a máquina em modo automático, o robô iria entrar na máquina para realizar a extração, mas neste primeiro ciclo isso não é desejável. Como tal, através da *flag First\_Cycle* que é ativada assim que o robô arranca, só no final do primeiro ciclo de trabalho é que o robô entra na zona do molde. Para tal acontecer, a *flag First\_Cycle* é desativada apenas quando a máquina fechar totalmente o molde (*Dim\_Mould\_Closed*) em modo automático (*Dim\_Auto\_Mode*). O controlador verificará esta *flag* antes de entrar na máquina, fazendo com que o robô fique na posição de espera até a *flag First\_Cycle* ficar inativa. Contudo, também é retirada a permissão de avanço e recuo dos ejetores após o primeiro ciclo (sinais *Dom\_E\_Ejec\_Back* e *Dom\_Ejec\_Forward*), passando a ser geridos no ciclo de trabalho. Assim que a máquina passe do modo automático para o modo semi-automático/manual, a *flag First\_Cycle* é novamente ativada e são dadas as permissões ao avanço e recuo manual dos ejetores. Esta lógica está esquematizada sob a forma de fluxograma na Figura 6.22, representando a parte 2 da lógica da secção da gestão da interface EUROMAP.

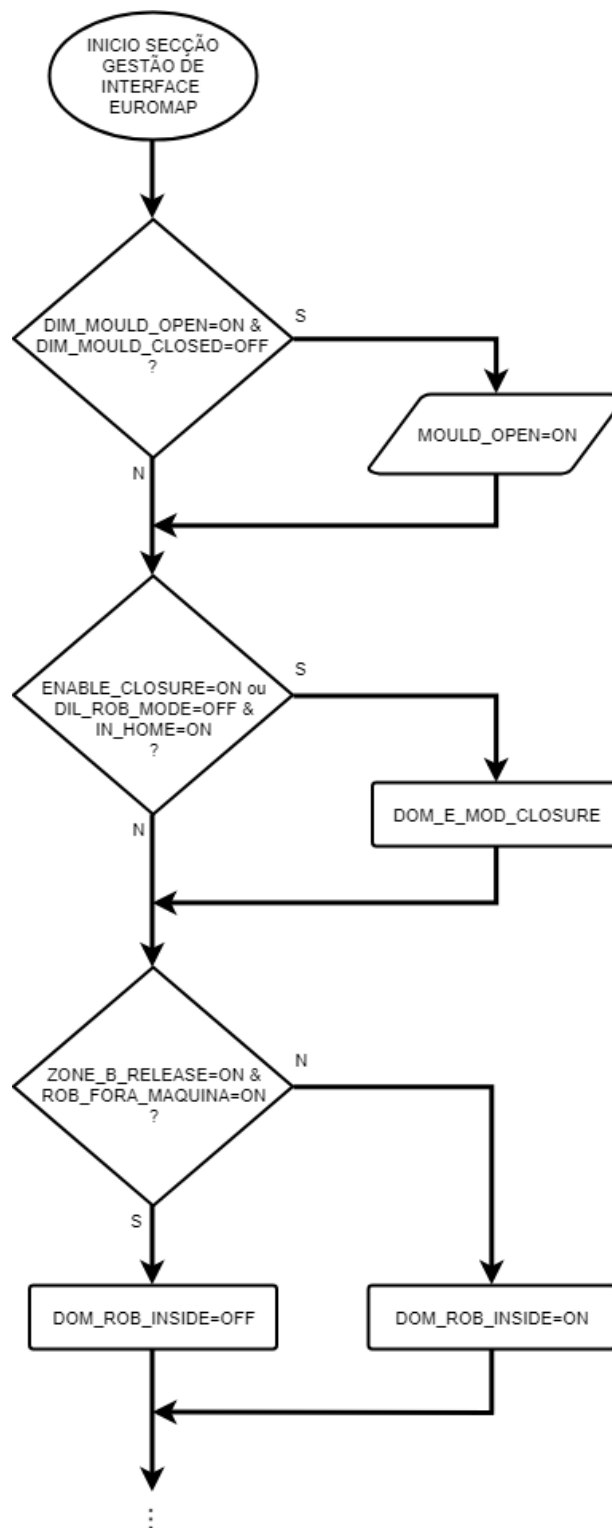


Figura 6.21: Fluxograma do programa *Logic\_Prog* - parte 1 da secção da gestão da interface EUROMAP

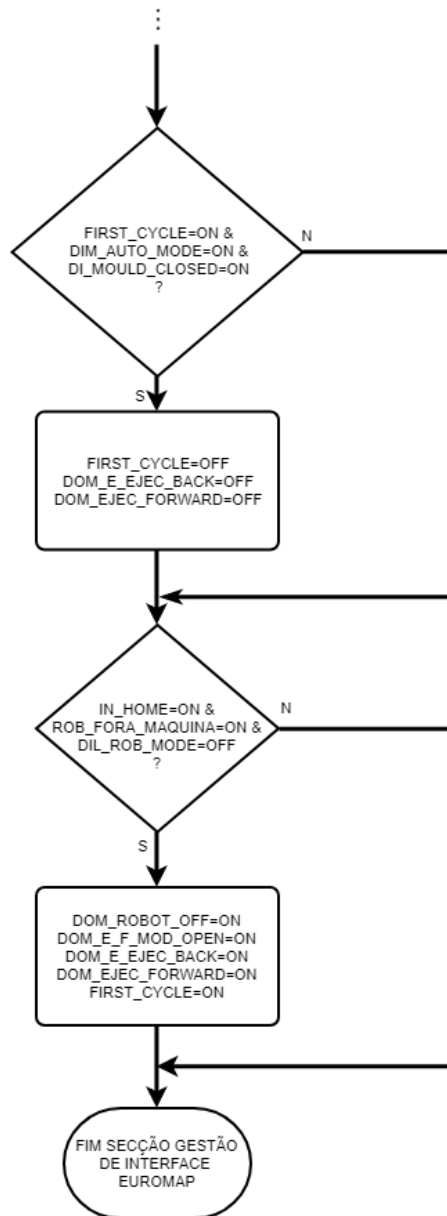


Figura 6.22: Fluxograma do programa *Logic\_Prog* - parte 2 da secção da gestão da interface EUROMAP

Contudo, em lógica de segundo plano também são controladas as luzes dos botões e da torre luminosa, bem como o bezouro de alarme sonoro, sendo que esta lógica foi implementada no programa *Lights*, que pode ser encontrado no Anexo A e B.

Apresentados os programas que correm em paralelo com o programa *Main*, falta apenas descrever os programas principais do sistema. As rotinas *Loop A* e *Loop B* representam o funcionamento normal do sistema, executando outros

programas que contêm os pontos das trajetórias que o robô necessita de fazer para realizar o trabalho pretendido. Estas rotinas representam os ciclos de trabalho do robô para cada um dos lados da célula, sendo a lógica de ambas as rotinas igual, diferindo apenas nos pontos que o robô necessita de atingir em movimentos fora da célula. Com a implicação da célula ter acoplada numa primeira situação uma máquina de injeção no lado B, será apresentada a rotina *Loop B* e todos os programas constituintes desta, referentes a este mesmo lado.

O programa *Loop B* é capaz de decidir em que momento deve entrar na máquina e em que local deve deixar as peças, controlando todo o funcionamento da garra do robô. É também capaz de terminar o ciclo de funcionamento e de atuar os sinais necessários para que na lógica de segundo plano se faça a gestão da máquina de injeção através do protocolo EUROMAP 67.

A primeira coisa a ser garantida no programa *Loop* é que o robô se encontra na posição de espera respetiva. Neste caso, no *Loop B*, é dada ordem para que o robô se mova até à *Wait\_Pos\_B*, caso não se encontre nessa posição. De seguida, o programa verifica se deve ou não terminar o ciclo de funcionamento. Esta ação de verificação é tomada antes de qualquer outra, visto ser necessário reconhecer se o ciclo de produção que vai executar é o último ou não. Para tal, se for carregado no botão parar da interface de botões (ativando a *flag End\_Job*) ou se o seletor de funcionamento estiver em modo manual (sinal *Dil\_Rob\_Mode=OFF*), o controlador salta para a zona final do programa, onde é dada ordem para que o robô se mova para a posição de espera (caso não esteja nessa posição) e que seja desativado o comando de vácuo da garra do robô. Por fim, são colocadas a OFF as *flags Init\_Job* e *End\_Job*, deixando o controlador preparado para um novo arranque.

Caso não seja pretendido o fim da produção, o controlador coloca-se em espera constante até garantir que o molde da máquina está totalmente aberto (*flag Mould\_Open* controlada na lógica de segundo plano), que a máquina de injeção está em modo automático (sinal EUROMAP *Dim\_Auto\_Mode*) e que não é o primeiro ciclo de trabalho (*flag First\_Cycle=OFF*). Com estas condições é garantido que o robô só entrará na máquina de injeção quando esta se encontrar em funcionamento normal e com peças produzidas prontas a serem processadas.

Garantidas estas condições, é feita uma verificação de segurança da garra do robô, forçando a desativação de todos os campos de vácuo existentes, através da chamada dos programas *Grip\_Off* e *Chk\_Grip\_Off*. O primeiro programa coloca a OFF as saídas *Robot Output* (RO) correspondentes aos sinais de ativação de Venturis, enquanto que o segundo programa verifica os vacuostatos de cada um dos Venturis. Com esta verificação, o robô estará pronto a entrar dentro da zona do molde da máquina de injeção, contudo necessita de desativar as *flags* que indicam que este se encontrará agora dentro da máquina. Para tal,

as *flags Enable\_Closure* e *Zone\_B\_Release* são colocadas a OFF, para que na lógica de segundo plano sejam tomadas as medidas necessárias para bloquear o funcionamento da máquina.

A partir deste momento será executado o conjunto de ações de recolha de peças recém injetadas, através da chamada da rotina *T\_Pick\_B*. No início desta rotina são indicadas ao controlador que *user frame* e *user tool* este deve considerar, bem como qual configuração de carga (*payload*) deve ser tida em conta. De seguida, é dada ordem para o robô executar um movimento linear até ao ponto de saída da célula para o lado B (*Exit\_Home\_To\_B*), ficando o robô em posição para entrar na zona do molde da máquina. No interior da máquina apenas são considerados dois pontos: o ponto P[1] e o ponto P[3], sendo estes, respetivamente, um ponto de orientação do robô na entrada da máquina e o ponto onde o robô se deverá colocar para retirar as peças. Como tal, após o robô estar na posição *Exit\_Home\_To\_B* executa um movimento linear até ao ponto P[1], onde, de seguida, é calculado o *offset* para fazer a aproximação ao ponto P[3]. Com este *offset*, a garra do robô fica alinhada com o ponto de *pick*, a cerca de 70 mm das peças. Este é o momento ideal para ativar o conjunto pneumático gerador de vácuo. De seguida, o robô move-se até ao ponto P[3], fazendo com que as ventosas da garra fiquem em contacto com a superfície das peças. É então dada a permissão para o avanço dos ejetores de peça da máquina de injeção (sinal EUROMAP *Dom\_Ejec\_Forward*), fazendo com que estas sejam empurradas contra a garra do robô, que através das ventosas e efeito de vácuo segurarão as peças. Após os ejetores atingirem o seu percurso máximo, o robô volta novamente até à posição de aproximação (P[3] com *offset*), permitindo agora que os ejetores sejam recolhidos (sinal EUROMAP *Dom\_E\_Ejec\_Back*). Estando os ejetores recolhidos podem ocorrer neste momento duas situações: rejeitar as peças para o tabuleiro de peças rejeitadas ou o robô mover-se até ao ponto P[1] e para fora da máquina (*Exit\_Home\_To\_B*).

As peças serão rejeitadas normalmente nos primeiros ciclos de funcionamento da máquina, pois é um funcionamento pré estabelecido pelo controlo de produção. Como tal, nestas situações, é recebido o sinal EUROMAP *Dim\_Select\_Qual* que indica uma situação de seleção qualitativa, que neste caso é associada a peça não conforme. Para rejeitar a peça, o robô move-se até ao ponto P[2], um ponto que apenas inclina a garra do robô antes de serem desativados os campos de vácuo da garra. Antes de as peças serem largadas, é feita uma verificação dos vacuostatos, de forma a garantir que as mesmas foram retiradas do molde. De seguida o robô move-se para a posição de aproximação (P[3] com *offset*) e faz o caminho inverso ao realizado na entrada da máquina, atinjindo o ponto P[1] e o ponto *Exit\_Home\_To\_B*.

Caso não exista a necessidade de rejeitar as peças, o robô executa os movimentos inversos aos executados na entrada na máquina. Quando colocado na



posição *Exit\_Home\_To\_B* é feita a verificação da garra, executando a rotina *Chk\_Grip\_On*, de forma a garantir que as peças foram realmente retiradas do interior do molde da máquina. Caso contrário, é despoletado um alarme de forma a informar o operador da possibilidade de existência de peças no interior do molde.

Contudo, existe uma situação em que o robô pode ficar encravado no interior da máquina à espera do avanço dos ejetores. Verificou-se que em caso de falha da máquina de injeção, esta executa a abretura do molde e não efetua mais nenhuma ação. Como tal, o robô quando permite o avanço dos ejetores aguarda pelo sinal EUROMAP *Dim\_Ejec\_Forward* durante 30 segundos. Caso este tempo de espera seja excedido, é acionado um alarme indicando ao utilizador que o robô está bloqueado no interior da máquina. O utilizador deverá verificar qual a situação de toda a célula e caso verifique que tudo se encontra em segurança, pode confirmar a resolução do problema. Neste momento é executada a rotina *Rec\_Rob\_Mould\_B*, que nada mais é que uma rotina de recuperação do robô. Este programa movimenta o robô a baixa velocidade até ao interior da célula, descrevendo a trajetória inversa à da entrada na célula. Este é o funcionamento normal da rotina *T\_Pick\_B* e é apresentado sob a forma de fluxograma na Figura A.4, disponível no Anexo A.

Terminando a execução da rotina *T\_Pick\_B*, já novamente no programa *Loop B*, são ativadas as *flags Zone\_B\_Release* e *Enable\_Closure* que permitem que na lógica de segundo plano sejam dadas permissões à máquina de injeção para fechar o molde e realizar um novo ciclo de produção. De seguida poderão acontecer as seguintes situações:

- o robô fica em espera caso tenha rejeitado as peças no interior da máquina;
- o robô paletiza as peças no tapete de saída de peças;
- o robô coloca as peças na caixa de amostras, caso tenha recebido um pedido de ciclo de amostra.

Para decidir qual destes procedimentos deve ser seguido, são considerados os estados lógicos da *flag Sample\_Piece* e do sinal EUROMAP *Dim\_Select\_Qual*. Caso o sinal de seleção qualitativa recebido por parte da máquina (*Dim\_Select\_Qual*) esteja ativo, o programa executa um *jump* para o início da rotina, colocando o robô em espera na *Wait\_Pos\_B*, até a máquina de injeção voltar a abrir o molde.

Caso apenas a *flag Sample\_Piece* esteja a ON, é executada a rotina *T\_Sample\_B*. Tal como acontece na rotina *T\_Pick\_B*, no início da rotina *T\_Sample\_B* é também carregada a *user frame* respetiva à zona onde vai ser realizado trabalho, neste caso no interior da célula. De seguida, o robô move-se até à *Wait\_Pos\_B*, caso lá não esteja, e executa um movimento em juntas até ao ponto P[1]. Este ponto

serve essencialmente para alinhar a garra do robô com a caixa de peças de amostra, quer em inclinação, quer em altura. De seguida, o controlador calcula um *offset* que servirá para aproximação do ponto de largada de peças dentro da caixa de amostras. Com o *offset* calculado, é então executado um movimento nas juntas até ao ponto P[6] com o *offset*, ficando o robô a 100 mm de distância (no eixo do X) do ponto de largada de peças. Estando já alinhado e na posição de aproximação, resta só executar o movimento linear em velocidade mais reduzida até ao ponto P[6], onde é feita a chamada da função *Vacuo\_Off*. Esta função apenas coloca a OFF os sinais que controlam os equipamentos de vácuo, contudo, desativa estes sinais separadamente, fazendo com que as peças caiam de forma desfasada e ordenada.

Com as peças já colocadas na caixa, é executada a trajetória inversa. Quando em posição de aproximação ao ponto P[6], é feita a verificação do estado dos vacuostatos de forma a garantir que as peças não estão presas à garra. É feito o *reset* à *flag Sample\_Piece* e o robô deverá ficar em espera na posição *Wait\_Pos\_B*, momento em que termina a rotina *T\_Sample\_B*. O fluxograma desta rotina é apresentado pela Figura 6.23.

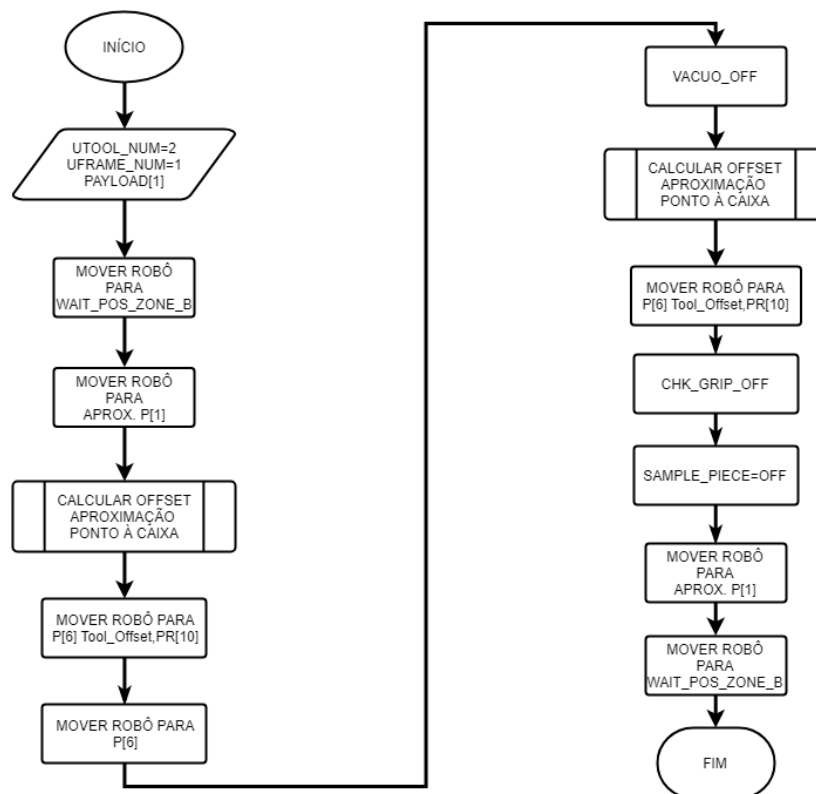


Figura 6.23: Fluxograma do programa *T\_Sample\_B*

A outra situação que pode ocorrer é nenhum dos sinais estar a ON, ou seja,

nem as peças foram rejeitadas, nem ocorreu um pedido de ciclo de amostra: nesta situação, é executada a rotina *T\_Place\_B*. Esta rotina é responsável por gerir o processo de paletização de peças no tapete de saída. Primeiramente é carregada a *user frame* correspondente à realização de trabalho no interior da célula e o robô é movimentado para a posição de espera *Wait\_Pos\_B*, caso não se encontre nela. De seguida, é executado um movimento nas juntas até ao ponto de aproximação *P[1]*, onde será calculado o *offset* a aplicar ao ponto de colocação de peças. O cálculo deste *offset* contempla o número de colunas de peças a paletizar (nesta primeira produção apenas irá ser colocada uma coluna de peças) pela largura da peça. Com este cálculo é possível criar mais do que uma pilha de peças. De seguida é efetuado o cálculo do *offset* para a aproximação em altura da garra do robô ao ponto de *place*. Este cálculo considera o número de camadas atual pela altura da peça, ou seja, de cada vez que o robô for colocar peças no tapete, irá fazê-lo de forma a criar uma pilha, largando as peças cada vez mais alto. Após ser chamada a função *Grip\_Off*, que desativa os dispositivos de vácuo, o robô realiza a trajetória inversa à anteriormente executada, atualizando no ponto de aproximação a informação relativa ao processo de paletização, através da rotina *Check\_N\_Pcs*. Cada vez que esta rotina é executada, os contadores do número de camadas atuais (*Current\_Layer*) e colunas atuais (*Current\_Row*) são incrementados, para de seguida serem comparados individualmente aos valores definidos na referência de produção. Se já tiverem sido colocadas no tapete as colunas estipuladas na referência de produção e se cada uma das pilhas já contiver o número pretendido de peças, então é ativada a *flag Req\_Cnvy\_Run* que representa o pedido de avanço do tapete e os contadores de colunas atuais e camadas atuais são colocados a zero, de forma a ficarem preparados para um novo ciclo de produção. A rotina *T\_Place\_B* termina quando o robô já estiver na posição de espera *Wait\_Pos\_B* e a Figura 6.24 apresenta o fluxograma do funcionamento desta rotina.

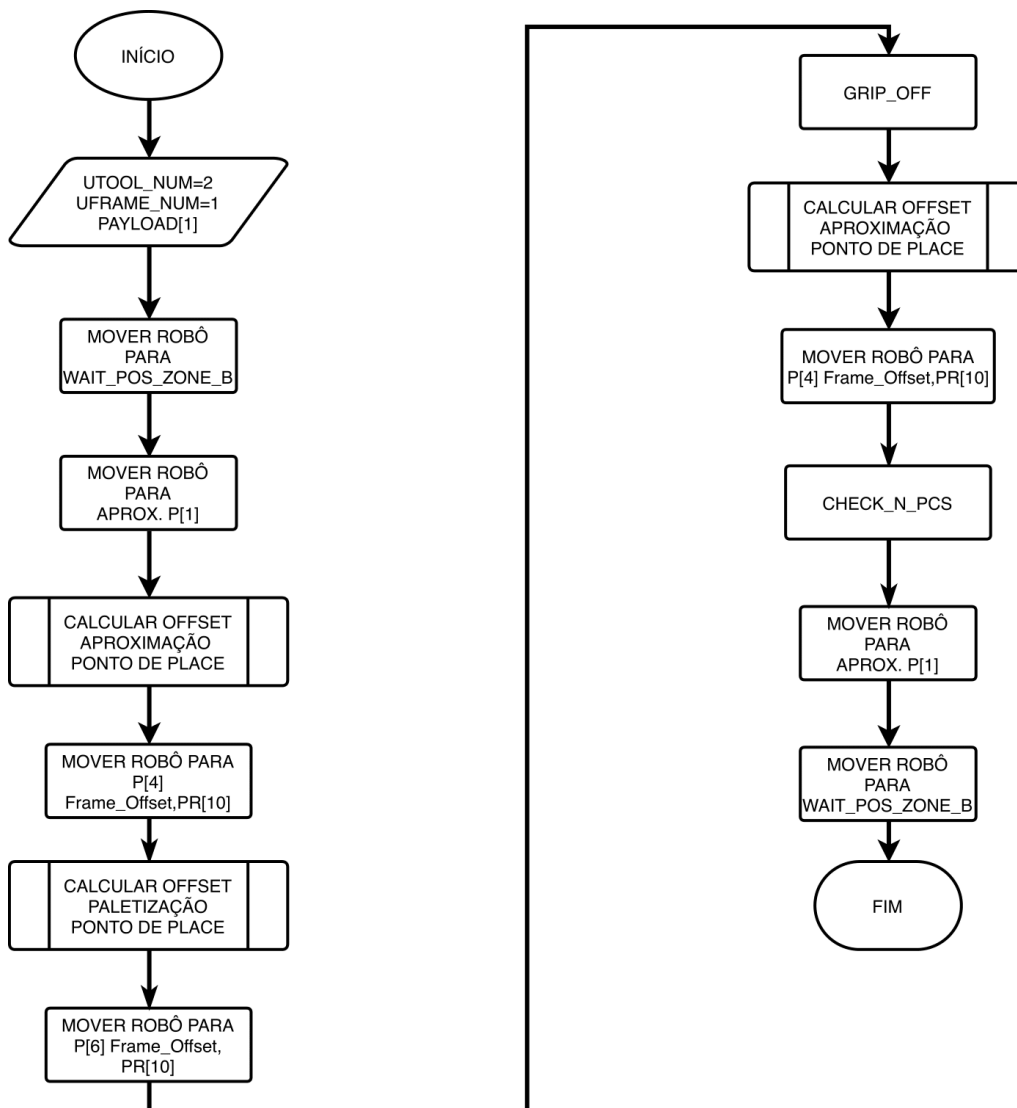


Figura 6.24: Fluxograma do programa  $T\_Place\_B$

Através da Figura A.3, presente no Anexo A, é possível verificar toda a interligação das rotinas que compõem o programa *Loop B*.

## 6.2 Circuito Elétrico

As ligações elétricas do sistema consideram todos os equipamentos constituintes da célula, bem como as ligações elétricas necessárias para estabelecer a interface entre o controlador do robô e a máquina de injeção, através do protocolo EUROMAP 67.

Como já referido, o controlador do robô possui um conjunto de entradas e saídas digitais, que foram utilizadas para efetuar o controlo dos equipamentos da célula, bem como para a troca dos sinais EUROMAP 67. A nível de entradas digitais, o controlador possui uma carta com 16 entradas disponíveis, representadas por A0 a A7 e B0 a B7, tendo estas sido ocupadas tal como mostra a Tabela C.1, apresentada no Anexo C.

Dos sinais de entrada apresentados, é possível dividi-los nos seguintes grupos: sinais de alarme (alarme do variador), sinais dos sensores de deteção de peça, sinais da interface do utilizador, sinais da interface EUROMAP 67 e sinais do circuito de segurança (sinais dos trincos das portas).

Da mesma forma, o controlador possui 16 saídas digitais. Estas são também representadas por A0 a A7 e B0 a B7. Os sinais de saída e respetivas descrições são apresentados na Tabela C.2, apresentada no Anexo C.

Dos sinais de saída apresentados, é possível organizá-los da seguinte forma: sinal de atuação do variador (tapete de saída de peças), sinais de interface (torre luminosa, luzes dos botões e alarme sonoro), sinais do circuito de segurança (bloqueio dos trincos das portas) e sinais da interface EUROMAP 67. A Figura 6.25 apresenta a forma como os sinais foram mapeados no controlador do robô.

| I/O Digital In |     |        |                    | I/O Digital Out |     |        |                    |
|----------------|-----|--------|--------------------|-----------------|-----|--------|--------------------|
| #              | SIM | STATUS | 1/512              | #               | SIM | STATUS | 1/512              |
| DI[ 1]         | U   | OFF    | [DIL_VAR&AR_OK ]   | DO[ 1]          | U   | OFF    | [DOL_MOT_FWD ]     |
| DI[ 2]         | U   | OFF    | [DIL_S1 ]          | DO[ 2]          | U   | OFF    | [DOL_TORRE_VERDE_] |
| DI[ 3]         | U   | OFF    | [DIL_S2 ]          | DO[ 3]          | U   | OFF    | [DOL_BUZZER_H10 ]  |
| DI[ 4]         | U   | OFF    | [DIL_S3 ]          | DO[ 4]          | U   | OFF    | [DOL_TORRE_VERMEL] |
| DI[ 5]         | U   | OFF    | [DIL_INICIAR ]     | DO[ 5]          | U   | OFF    | [DOL_HT_FEARWE ]   |
| DI[ 6]         | U   | OFF    | [DIL_PARAR ]       | DO[ 6]          | U   | OFF    | [DOL_TR_A_SOLEN ]  |
| DI[ 7]         | U   | OFF    | [DIM_MOULD_CLOSED] | DO[ 7]          | U   | OFF    | [DOL_TR_B_SOLEN ]  |
| DI[ 8]         | U   | OFF    | [DIM_MOULD_OPEN ]  | DO[ 8]          | U   | OFF    | [DOM_E_MOD_CLOSUR] |
| DI[ 9]         | U   | OFF    | [DIM_EJAC_BACK ]   | DO[ 9]          | U   | OFF    | [DOM_E_F_MOD_OPEN] |
| DI[ 10]        | U   | OFF    | [DIM_EJAC_FORW ]   | DO[ 10]         | U   | OFF    | [DOM_ROBOT_OFF ]   |
| DI[ 11]        | U   | OFF    | [DIL_TRANCAR_DEST] | DO[ 11]         | U   | ON     | [DOM_E_EJEC_BACK ] |
| DI[ 12]        | U   | OFF    | [DIL_ZONE_A_OPEN ] | DO[ 12]         | U   | ON     | [DOM_EJEC_FORWARD] |
| DI[ 13]        | U   | OFF    | [DIL_ZONE_B_OPEN ] | DO[ 13]         | U   | OFF    | [DOL_H8_PORTA ]    |
| DI[ 14]        | U   | OFF    | [DIM_SELECT_QUAL ] | DO[ 14]         | U   | ON     | [DOM_ROBOT_INSIDE] |
| DI[ 15]        | U   | OFF    | [DIM_AUTO_MODE ]   | DO[ 15]         | U   | OFF    | [ ]                |
| DI[ 16]        | U   | OFF    | [DIL_ROB_MODE ]    | DO[ 16]         | U   | OFF    | [ ]                |
| DI[ 17]        | *   | *      | [ ]                | DO[ 17]         | *   | *      | [ ]                |
| DI[ 18]        | *   | *      | [ ]                | DO[ 18]         | *   | *      | [ ]                |
| DI[ 19]        | *   | *      | [ ]                | DO[ 19]         | *   | *      | [ ]                |
| DI[ 20]        | U   | OFF    | [ ]                | DO[ 20]         | U   | OFF    | [E-STOP ]          |
| DI[ 21]        | U   | OFF    | [ ]                | DO[ 21]         | U   | OFF    | [IN_HOME ]         |

Sorted by port number.

[ TYPE ] CONFIG IN/OUT ON OFF >

Figura 6.25: Mapeamento de sinais digitais no controlador Fanuc

Em termos elétricos, os sinais digitais são ligados diretamente nas cartas de entradas e saídas de sinais. A carta de entradas possui vinte contactos elétricos, sendo o contacto número 1 correspondente à massa (GND) e os contactos 18, 19 e 20 reservas do fabricante. Os restantes contactos correspondem às 16 entradas digitais disponibilizadas pela carta. A Figura 6.26 mostra como estas ligações foram efetuadas na carta de entradas e a Figura 6.27 apresenta o esquema elétrico destes sinais.

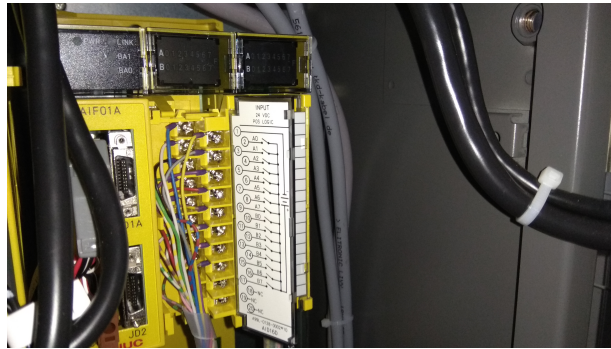


Figura 6.26: Carta de entradas do controlador Fanuc

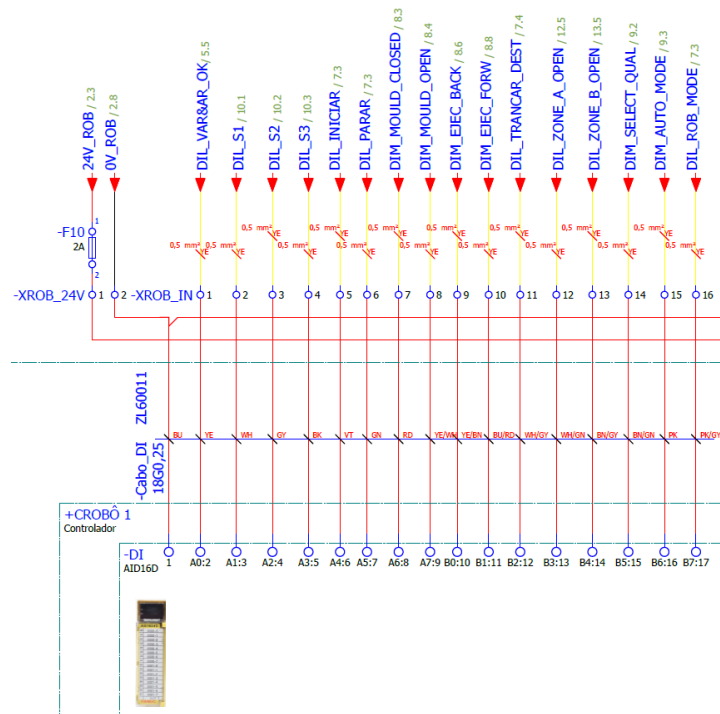


Figura 6.27: Esquema elétrico das entradas digitais

Contudo, as saídas digitais são mapeadas na carta de saídas do controlador. Esta possui também vinte contactos eléctricos, sendo que os contactos 1 e 11 correspondem ao potencial eléctrico dos sinais (24 V) e os contactos 10 e 20 correspondem ao comum dos sinais (GND). Nos restantes contactos foram mapeadas as 16 saídas digitais, tendo apenas sido utilizadas 14. A Figura 6.28 apresenta as ligações eléctricas feitas na carta de saídas digitais do controlador Fanuc, enquanto que a Figura 6.29 exhibe o esquema eléctrico correspondente a estes sinais.

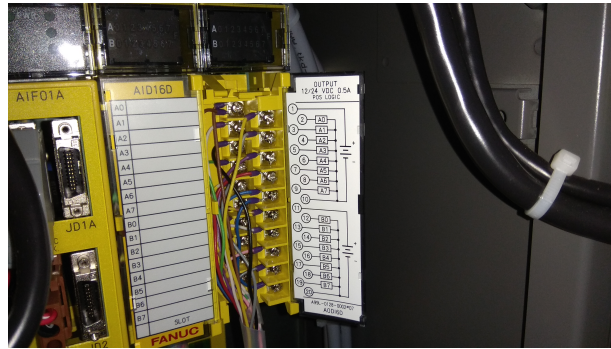


Figura 6.28: Carta de saídas do controlador Fanuc

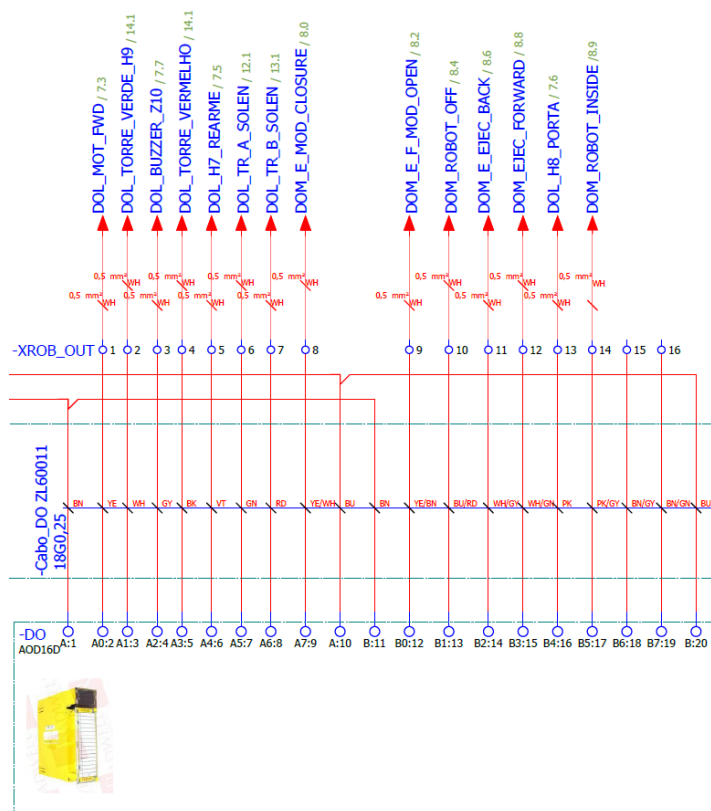


Figura 6.29: Esquema elétrico das saídas digitais

Em relação às saídas dos sinais do protocolo EUROMAP, foi necessário utilizar um relé de interface por cada uma das saídas, devendo-se ao facto de a corrente máxima de carga que cada saída digital da carta do controlador suporta 200 mA, sob o risco de danificar as saídas digitais. Foi também necessário utilizar uma tomada para a troca destes sinais entre o controlador do robô e a máquina de injeção. Para o protocolo EUROMAP 67 é necessário recorrer a uma tomada Harting (ver Figura 6.30), que é composta por dois conjuntos de sinais: sinais

provenientes do robô e sinais provenientes da máquina. A Figura 6.31 apresenta de que forma esta tomada é conectada na máquina de injeção.

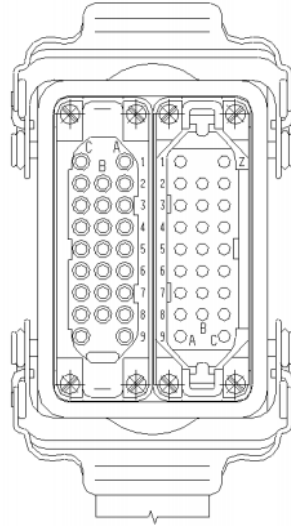


Figura 6.30: Esquema da tomada Harting para o protocolo EUROMAP 67 [43]



Figura 6.31: Tomada Harting conectada na máquina de injeção

O esquema elétrico completo das cartas de entradas e saídas pode ser consultado na Figura C.1 do Anexo C.

Contudo, o robô possui um outro conjunto de entradas e saídas que podem ser utilizadas para o controlo da garra. Os sinais de robô *Robot Inputs* (RI) e *Robot Outputs* (RO), são sinais disponibilizados pelo robô com o propósito de controlar e atuar o atuador final. Estes sinais estão disponíveis através da tomada do atuador final (do inglês *End Effector* (EE)), localizada no eixo três do robô, e possuem uma corrente máxima de carga de 200 mA, sendo que é possível utilizar a fonte interna do robô para estes sinais, quando a corrente total destes não ultrapassar os 700 mA (a corrente necessária para controlar os dispositivos



pneumáticos ronda os 15 mA [63]). No total, o robô disponibiliza oito entradas digitais e oito saídas digitais, previamente mapeadas. Nesta aplicação, todas as saídas digitais foram mapeadas para atuarem as duas eletroválvulas e os seis Venturis, enquanto que as entradas foram utilizadas para receber os sinais dos seis vacuostatos utilizados (um vacuostato por Venturi). A Figura 6.32 mostra como foram utilizados os sinais RI e RO do robô para a gestão da garra.

| I/O Robot In |     |        |               |
|--------------|-----|--------|---------------|
| #            | SIM | STATUS | 1/8           |
| RI[ 1]       | U   | OFF    | [RESERVA]     |
| RI[ 2]       | U   | OFF    | [RESERVA]     |
| RI[ 3]       | U   | OFF    | [VACOSTATO 1] |
| RI[ 4]       | U   | OFF    | [VACOSTATO 2] |
| RI[ 5]       | U   | OFF    | [VACOSTATO 3] |
| RI[ 6]       | U   | OFF    | [VACOSTATO 4] |
| RI[ 7]       | U   | OFF    | [VACOSTATO 5] |
| RI[ 8]       | U   | OFF    | [VACOSTATO 6] |

| I/O Robot Out |     |        |        |
|---------------|-----|--------|--------|
| #             | SIM | STATUS | 1/8    |
| RO[ 1]        | U   | OFF    | [EV1]  |
| RO[ 2]        | U   | OFF    | [EV2]  |
| RO[ 3]        | U   | OFF    | [VAC1] |
| RO[ 4]        | U   | OFF    | [VAC2] |
| RO[ 5]        | U   | OFF    | [VAC3] |
| RO[ 6]        | U   | OFF    | [VAC4] |
| RO[ 7]        | U   | OFF    | [VAC5] |
| RO[ 8]        | U   | OFF    | [VAC6] |

Figura 6.32: Mapeamento dos sinais de robô (RI e RO)

Por fim, a forma como os trincos elétricos das portas e os sensores magnéticos estão interligados permite saber qual a orientação da célula. Como já referido, existem na célula dois pares de trincos elétricos, um por cada lado da estrutura, e um sensor magnético instalado na doca de acoplamento, em cada um dos lados da célula. É sabido também que a célula é simétrica e cada um dos seus lados é denominado por Lado A e Lado B. Como tal, os equipamentos elétricos foram interligados da seguinte forma: os dois trincos elétricos de um dos lados da célula, estão ligados em série com o sensor magnético do lado oposto da estrutura. Exemplificando, os trincos das portas do Lado A estão ambos em série, que por sua vez estão em série com o sensor magnético da doca de acoplamento do Lado B, ou seja, quando as portas estiverem colocadas e trancadas no lado A e a célula acoplada à doca pelo Lado B, o circuito fecha-se e o sinal *Dil\_Zone\_B* ficará ativo. O mesmo acontece para o Lado A, com a série elétrica entre os trincos do Lado B com o sensor magnético da doca do Lado A, ficando ativo o sinal *Dil\_Zone\_A*.

### 6.3 Instalação da Solução

A instalação da solução consistiu essencialmente em posicionar e alinhar a célula com a máquina de injeção, tarefa que se verificou de fácil resolução devido às capacidades autoportantes da estrutura. Contudo, antes de fixar a célula foi

necessário efetuar a configuração de carga (*payload*) da garra. Com a configuração de carga realizada, o robô conseguirá realizar trajetórias mais suaves e sem vibrações, visto o controlador Fanuc R-30iB ser capaz de otimizar as trajetórias automaticamente quando existe uma configuração de carga válida. Para realizar a configuração da carga da garra, existe a necessidade de o robô se encontrar em modo automático. De seguida, foi indicada qual a massa (em kg) da garra e iniciado o processo. O robô executa dois conjuntos de manobras para estimar a carga: a primeira a baixa velocidade e a segunda a velocidade máxima. Estes movimentos são executados consecutivamente e no final do segundo movimento o *payload* foi calculado. Poderá acontecer a situação de sobrecarga do robô, em casos onde a massa da garra seja próxima da capacidade de carga máxima do robô, causando movimentos de inércia excessivos. Nesta aplicação tal não se sucedeu. O *payload*[1] representa a configuração de carga para a garra do robô, para este tipo de produção. A Figura 6.33 apresenta as janelas de configuração de carga do robô, bem como os valores da posição do centro de massa e momentos de inércia da garra.

| MOTION/PAYLOAD ID                  |  | MOTION/PAYLOAD SET                             |  |
|------------------------------------|--|------------------------------------------------|--|
| 1/4                                |  | 1/8                                            |  |
| Group 1                            |  | Group 1                                        |  |
| Schedule No[ 1]:[GRIPPER 1]        |  | 1 Schedule No[ 1]:[GRIPPER 1]                  |  |
| 1 PAYLOAD ESTIMATION *****         |  | 2 PAYLOAD [kg] 4.25                            |  |
| Previous Estimated value (Maximum) |  | 3 PAYLOAD CENTER X [cm] 18.63                  |  |
| Payload [Kg] : 4.25 ( 12.00)       |  | 4 PAYLOAD CENTER Y [cm] -2.61                  |  |
| Axis Moment [Nm]                   |  | 5 PAYLOAD CENTER Z [cm] 18.68                  |  |
| J4: 1.43E+01 ( 2.16E+01)           |  | 6 PAYLOAD INERTIA X [kgfcm <sup>2</sup> ] 0.00 |  |
| J5: 1.43E+01 ( 2.16E+01)           |  | 7 PAYLOAD INERTIA Y [kgfcm <sup>2</sup> ] 0.00 |  |
| J6: 7.84E+00 ( 9.80E+00)           |  | 8 PAYLOAD INERTIA Z [kgfcm <sup>2</sup> ] 1.54 |  |
| Axis Inertia [Kg cm <sup>2</sup> ] |  |                                                |  |
| J4: 5.56E+03 ( 6.47E+03)           |  |                                                |  |
| J5: 5.00E+03 ( 6.47E+03)           |  |                                                |  |
| J6: 3.01E+03 ( 1.67E+03)           |  |                                                |  |
| 2 MASS IS KNOWN [NO] 12.000[Kg]    |  |                                                |  |
| 3 CALIBRATION MODE [OFF]           |  |                                                |  |
| 4 CALIBRATION STATUS DONE          |  |                                                |  |

Figura 6.33: Janelas de configurações de carga

Com a configuração de carga realizada e com a célula já posicionada, foi feita a marcação para a fixação da doca de acoplamento, bem como para o conjunto de fixação da célula ao solo. Garantida a estabilidade da célula, foi então possível intervir na interligação entre a célula robotizada e a máquina de injeção. Sabendo que a máquina de injeção tem a necessidade de executar o seu funcionamento com uma das portas abertas, foi necessário analisar de que forma o sistema de segurança da máquina considera o fecho das portas. Como tal, verificou-se que cada uma das portas da máquina possui dois interruptores mecânicos (ver Figura

6.34), um de contacto normalmente aberto e outro de contacto normalmente fechado. Com isto, e através de uma das saídas auxiliares dos relés de segurança de portas da célula, foi possível atuar dois relés ligados diretamente ao sistema de segurança da porta da máquina, anulando os interruptores. Visto existir a possibilidade de a célula ser retirada e a máquina ficar a realizar produção de forma independente, foram instalados dois conectores, devidamente identificados, de forma a facilitar o processo. A Figura 6.35 apresenta a foto das ligações efetuadas.



Figura 6.34: Interruptores de fim de curso da porta lateral da máquina de injeção



Figura 6.35: Conectores de sinais de fim de curso da porta lateral da máquina de injeção

Garantido o funcionamento do sistema de segurança da máquina de injeção, foi efetuada a marcação dos sistemas de coordenadas do utilizador (do inglês *user frame*). Estes sistemas de coordenadas são definidos pelo utilizador, permitindo a este definir qual o ponto de origem e qual a orientação do sistema de

coordenadas. Ao executar a marcação de pontos em relação a um sistema de coordenadas do utilizador, em caso de movimentação da célula ou de outra alteração da mesma, não será necessário efetuar a remarcação dos pontos, bastando apenas executar a remarcação da *user frame* relativa a esses pontos. Nesta aplicação em concreto, apenas foi necessário efetuar a marcação de *user frames* para o conjunto de pontos fora da célula, visto que os pontos no interior da célula não sofrerão alterações caso esta seja movida, visto o robô fazer parte dela. Como tal, foi marcada a *user frame*[5] - *Frame Molde B* correspondente ao plano de trabalho no interior do molde, com a máquina acoplada no Lado B da célula. Apenas foi realizada a marcação do sistema de coordenadas do utilizador para esta orientação visto não ter sido possível acoplar a estrutura na outra face da máquina, pelas razões já apresentadas. A Figura 6.36 apresenta as janelas de configuração do sistema de coordenadas do utilizador.

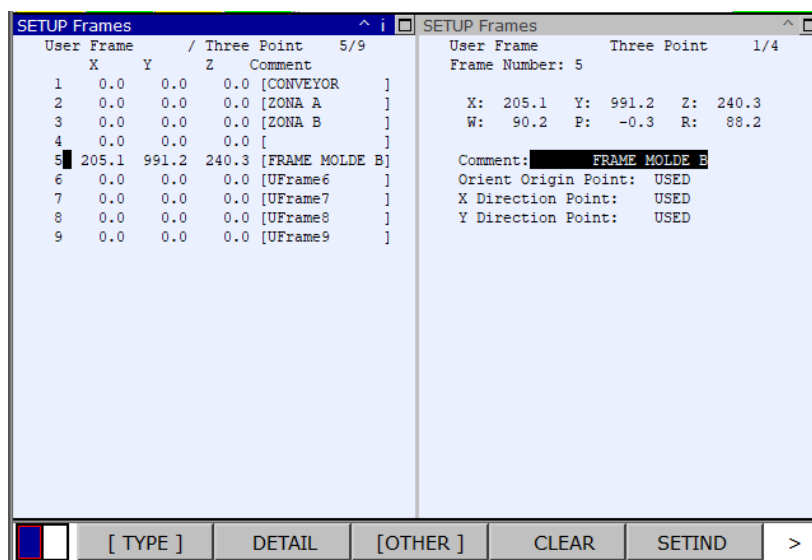


Figura 6.36: Sistema de coordenadas do utilizador *user frame*[5] - *frame lado B*

Por fim, bastou apenas efetuar a ligação ao sistema de ar comprimido do cliente e conectar a tomada Harting da interface EUROMAP 67 na máquina de injeção, de forma a ser possível dar início ao processo de ajustes e testes.

O primeiro passo do processo de ajustes foi marcar a posição de referência *Rob\_Fora\_Maquina*. A marcação desta *reference position* só foi possível após a instalação da célula, pois só assim foi possível verificar quais os limites máximos e mínimos que cada eixo poderia tomar para considerar o robô numa posição fora da máquina de injeção. De seguida, foram remarcados os pontos no interior da máquina de injeção, nomeadamente o ponto de aproximação e o ponto de *pick*. Com estes pontos remarcados, foi então possível iniciar o processo de configuração e testes com a máquina de injeção.

Neste capítulo foram apresentadas as diversas tarefas que constituíram a implementação prática da solução, tendo sido abordadas questões de verificação de *layout* através do simulador, foi descrita a esquematização da lógica do sistema e as duas etapas de programação. Após ter sido feita referência ao circuito elétrico, foram abordadas as tarefas executadas no decorrer da instalação da solução.

## Capítulo 7

---

# Testes e Resultados

---

Ao longo deste capítulo serão apresentados os processos finais da implementação da solução. Serão apresentados os vários testes e verificações efetuados no momento da instalação da célula nas instalações do cliente. Será também referido o processo de configuração da máquina de injeção do cliente e dos ajustes dos parâmetros de produção da máquina, de forma a esta poder trabalhar em conjunto com o robô. Os problemas encontrados ao longo do processo de implementação serão abordados neste capítulo, sendo também descritas as soluções que conduziram à resolução destes. Por fim, será feita uma análise aos resultados dos testes efetuados.

### 7.1 Testes Funcionais

Após a célula estar corretamente instalada e acoplada nas instalações do cliente, foi possível dar início ao processo de testes. Como tal, após uma primeira fase de remarcação dos pontos dos programas foi possível efetuar o seguinte conjunto de testes:

- verificação dos sinais de interface entre o robô e a máquina de injeção;
- verificação da atuação dos sinais EUROMAP com a máquina em automático (sem o robô);
- configuração e ajuste dos parâmetros produtivos da máquina de injeção;
- verificação de todas as trajetórias do robô;
- teste ao arranque do sistema;

- acompanhamento de produção.

O primeira tarefa de testes efetuada foi verificar se todos os sinais necessários da interface EUROMAP estavam corretamente mapeados. Como tal, verificou-se primeiramente se a tomada Harting estava corretamente ligada à máquina de injeção. De seguida, foi ativada a interface EUROMAP na máquina de injeção, através de um dos seus menus de configuração, como mostra a Figura 7.1. Foi também através deste menu que foi possível verificar o conjunto de sinais que compõem a interface entra a máquina e o robô (ver Figura 7.2). Este segundo menu apresenta duas tabelas posicionadas lado a lado com o sinais provenientes do robô e com o sinais enviados para o robô, respetivamente da esquerda para a direita.

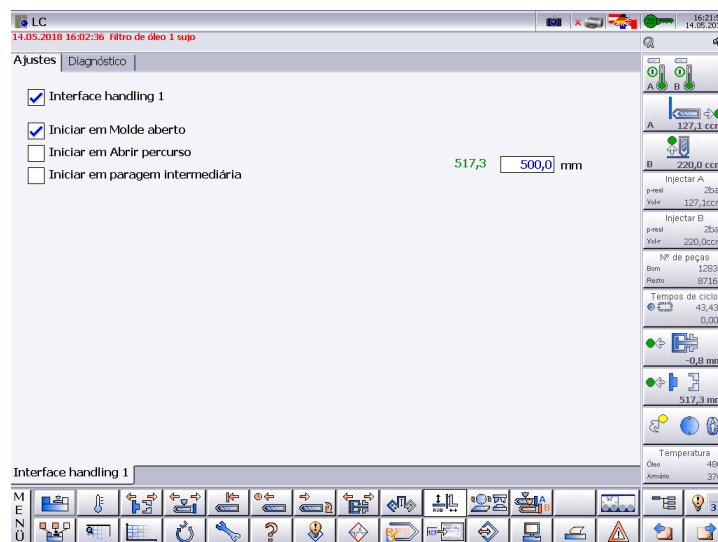


Figura 7.1: Menu de ativação da interface EUROMAP na máquina de injeção

Verificando que a interface estava ativa, foram então ativados através da consola do robô os vários sinais da interface, com a máquina em modo manual, onde foi possível verificar que todos os sinais estavam corretamente mapeados. De seguida, foi movido o molde da máquina de injeção e avançados/retraídos os ejetores da máquina, de forma a verificar se os sinais respetivos eram considerados pelo controlador. Contudo, o sinal de estado automático da máquina, *Dim\_Auto\_Mode*, não é apresentado nesta janela de sinais. Para ser verificado, foi necessário colocar a máquina em modo automático de forma a garantir o correto mapeamento deste sinal. Tal não se verificou, na medida em que no decorrer do processo de mapeamento de sinais nos bornes respetivos para a interface EUROMAP, os sinais de modo automático da máquina (*Dim\_Auto\_Mode*) e de seleção qualitativa (*Dim\_Select\_Qual*) foram trocados. A solução passou por verificar as ligações e ligar cada um dos sinais nos bornes corretos.

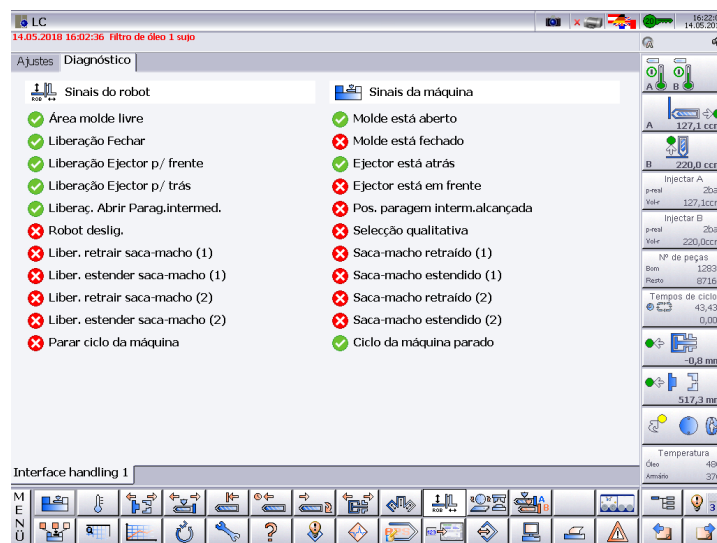


Figura 7.2: Menu de sinais da interface EUROMAP na máquina de injeção

Com o processo de verificação de ligações concluído, foi então possível verificar a atuação dos sinais da interface EUROMAP apenas com a máquina em automático. Ao longo deste processo, foram ativados e desativados os vários sinais do protocolo de maneira a simular uma situação de produção com o robô, de forma a verificar o comportamento da máquina. Para tal, a máquina foi colocada em modo automático e foi feito o arranque da mesma. O primeiro sinal a ser testado foi o *Dom\_Robot\_Inside*. Ao atuar este sinal, a máquina apenas é capaz de avançar e recuar os ejetores, tendo sido verificado que o molde não se movimenta enquanto este sinal esteja ativo. De seguida, foram verificados os sinais de permissão de abertura e fecho do molde (*Dom\_E\_F\_Mod\_Open* e *Dom\_E\_Mod\_Closure*, respetivamente). Com a máquina em automático, retirou-se o sinal que permite o fecho do molde, sendo que a máquina após fazer a injeção das peças abria o molde, expulsava as peças com o avanço e recuo dos ejetores e ficava parada a aguardar pelo sinal de permissão de fecho do molde. Assim que o sinal era ativado, o molde fechava de forma a iniciar um novo ciclo de produção. Tal acontecia da mesma forma com a permissão de abertura do molde. Caso o sinal não estivesse ativado, mesmo que as peças já estivessem prontas, o molde da máquina só abria quando o sinal estivesse a ON. Em ambos os casos, foi verificado também o sinal de robô no interior do molde (*Dom\_Robot\_Inside*), pelo que mesmo que as permissões fossem dadas, o molde não se movia. De seguida, foram testados os sinais de permissão de avanço e recuo dos ejetores. Mais uma vez, com a máquina em modo automático, era retirado o sinal de permissão de fecho do molde e de avanço e recuo das peças, antes de o molde abrir. Após as peças estarem prontas, o molde abria totalmente, mas os ejetores não eram avançados e a máquina ficava parada. Assim que a permissão de avanço dos ejetores era dada, os



mesmos avançavam, contudo não recuavam até que a permissão de recuo fosse dada. Com estes testes, foi possível simular um funcionamento normal do robô com a máquina de injeção. Por fim, foi verificado o sinal *Dom\_Robot\_Off*, que indica quando o robô está desligado. Este sinal tem a particularidade de ter de ser normalmente fechado, pelo que o relé de interface respetivo foi ligado dessa forma. Este sinal é ativado na lógica de segundo plano quando o robô está em automático, pelo que ao longo de um funcionamento normal aparecerá a OFF na máquina de injeção. Se, por alguma razão, o robô for colocado em modo manual ou se for desligado, este sinal fica ativo, pelo que a máquina será capaz de reconhecer que o robô foi desligado. Neste momento aparece uma mensagem de erro na máquina de injeção indicando que o equipamento ligado à interface foi desligado, pelo que o processo de produção da máquina é interrompido.

De seguida, já com os testes necessários aos sinais da interface entre o robô e a máquina de injeção terem sido realizados, foi possível iniciar o processo de configuração, ajuste e teste dos parâmetros produtivos da máquina. Sabendo que a garra do robô terá de entrar em contacto com as peças para ser feito vácuo e estas serem retiradas da máquina, o robô terá de ficar numa posição tal que quando os ejetores do molde avançarem não colidam com a garra. Desta forma, pensou-se em marcar o ponto de *pick* perto da posição máxima que os ejetores eram capazes de avançar, de forma a empurrarem as peças contra a garra. É sabido também que os pilares que suportam as ventosas da garra são basicamente um amortecedor. Como tal, este primeiro teste revelou-se promissor, mas as configurações estavam feitas de forma às peças caírem para uma caixa, pelo que o percurso de avanço dos ejetores estava algo exagerado. Com isto, foi marcado um ponto de *pick* relativamente próximo da face do molde, e o percurso de avanço dos ejetores foi aumentado até as peças serem apenas descoladas das cavidades do molde. De seguida, com os ejetores avançados e as peças nas extremidades, foi feito um ajuste fino do ponto de *pick*, de forma a os ejetores e as peças empurrarem os amortecedores da garra até cerca de metade do seu percurso. Este facto deve-se a salvar qualquer desafinação dos ejetores, para evitar colisões caso estes avancem em demasia. Outro parâmetro a ter em conta foi o número de vezes que os ejetores eram avançados. No processo sem robô, estes eram avançados três vezes, de forma a garantir que a peça era realmente expulsa do interior do molde. Com a integração do robô, os ejetores apenas necessitam de avançar uma única vez. A Figura 7.3 apresenta a janela com os parâmetros de configuração dos ejetores, sendo que apenas foram alterados os campos destacados.

Com os parâmetros de produção configurados e testados, foi então possível verificar as trajetórias dos movimentos do robô. Os pontos dos vários programas já haviam sido remarcados, pelo que bastava apenas verificar as trajetórias descritas pelo robô. Ao longo deste processo foi analisado o comportamento do robô à medida que este se movia, verificando os tipos de movimento e velocidades que

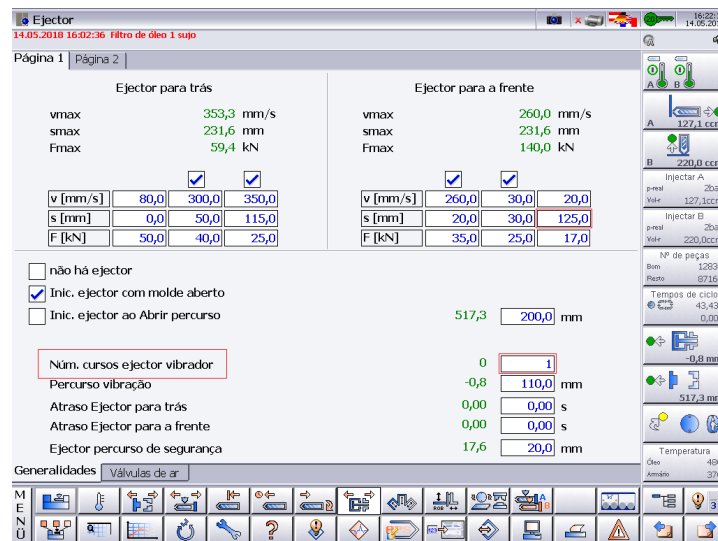


Figura 7.3: Menu de configuração dos parâmetros do conjunto de ejetores

este apresentava. Todos os movimentos de aproximação foram validados pois são resultado de cálculos em relação a pontos marcados na realidade. As trajetórias executadas dentro da estrutura não apresentaram diferenças às validadas na simulação, contudo as trajetórias no interior da máquina foram diferentes, pelo que houve um cuidado acrescido na verificação destas. Este processo de verificação de trajetórias revelou-se uma validação final do sistema pois, todos os movimentos que o robô realizará ao longo do seu funcionamento foram testados.

Com as trajetórias verificadas, foi possível testar o arranque do sistema e efetuar o acompanhamento da produção. O teste do arranque do sistema consistiu em iniciar todos os equipamentos conforme o previsto, tendo sido feito desta forma:

- verificar todas as ligações entre o robô e a máquina (seguranças das portas e Harting EUROMAP);
- verificar a correta configuração da máquina de injeção e parâmetros produtivos;
- colocar o robô em AUTO;
- colocar a máquina de injeção em automático, mas sem iniciar produção;
- carregar no botão verde (iniciar) da interface do quadro elétrico do robô;
- verificar que o robô aguarda na posição de espera respetiva sem entrar no molde (primeiro ciclo);
- iniciar produção da máquina de injeção;

- verificar se após o molde abrir, a máquina fica "encravada" até receber ordens do robô;
- comprovar que o robô é capaz de retirar as peças corretamente e colocá-las/rejeitá-las devidamente;
- garantir que a paletização é feita corretamente;
- verificar se os botões de fim de produção/abortar e peça de amostra desencadeavam os processos respetivos;
- comprovar que todos os alarmes eram ativados na ocorrência dos erros respetivos e que o sistema retomava o seu normal funcionamento após validação do operador.

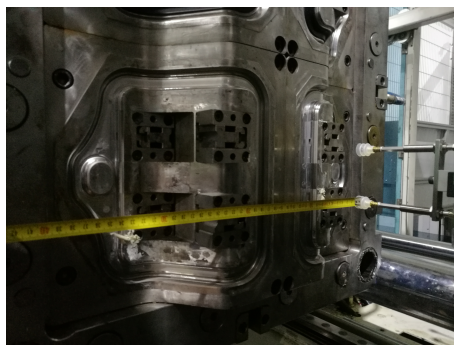
Depois de garantido o correto funcionamento do arranque normal da célula, foram efetuados testes para situações de arranque indevido da célula, de forma a prever falhas do sistema. Um dos testes efetuados foi arrancar a máquina de injeção antes de iniciar o ciclo de produção do robô (botão verde). Numa situação desta natureza, caso o operador carregue no botão verde após a máquina de injeção iniciar, o robô não irá iniciar a produção, a não ser que o molde já se encontre novamente em posição totalmente aberta. A condição de início de produção é verificada em lógica de segundo plano, e só permite que a produção do robô seja arrancada através do botão iniciar se tanto o robô como a máquina estiverem em automático e o molde esteja aberto.

De todos os testes efetuados, verificou-se que através do robô não é possível garantir que a máquina de injeção tenha sido corretamente configurada. O processo de configuração dos parâmetros produtivos da máquina de injeção, caso não seja corretamente configurado, significará uma situação de colisão dos ejetores do molde da máquina de injeção com as ventosas da garra do robô. Esta situação foi verificada ao longo dos primeiros arranques efetuados pelos operadores, que não seguiram à risca o processo de arranque da célula. Todo este processo de arranque está descrito e explicado no manual de instruções, fornecido juntamente com a célula, pelo que a sua leitura foi recomendada. Visto não ter sido possível encontrar forma de garantir esta configuração através do robô, foi elaborada uma folha com o passo a passo de arranque da célula, onde constam os parâmetros de produção a configurar, tendo sido colocada juntamente com a documentação da máquina de injeção. Estes documentos foram criados na fase final do desenvolvimento da solução, podendo ser consultados no Anexo E.

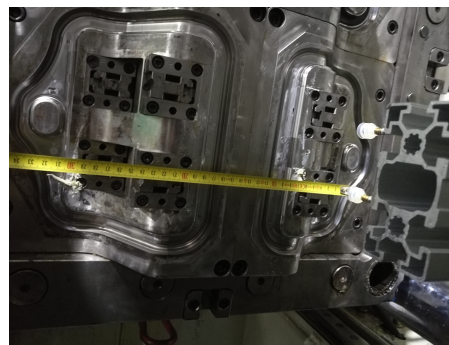
## 7.2 Problemas Encontrados e Resolução

Ao longo do processo de integração do sistema foram encontrados alguns problemas que, com maior ou menor dificuldade, foram resolvidos. Um dos problemas encontrados foi a falta de alcance do robô para atingir as peças no interior do molde. Este problema já foi abordado no Capítulo 6, onde através da simulação foi validada a solução de mover o pedestal do robô para mais próximo da máquina. Contudo, foi equacionada uma outra solução: alterar o conceito da garra do robô.

No cliente foi verificado que o robô posicionado no centro da estrutura não era capaz de alcançar as peças no interior do molde, ficando a cerca de 40 cm destas, tal como apresenta a Figura 7.4.



(a) Foto 1



(b) Foto 2

Figura 7.4: Fotos do alcance máximo do robô no interior do molde

Como tal, a solução a implementar passaria por aumentar o comprimento do perfil que suporta as ventosas, mas tal não foi possível pela falta de espaço no interior da estrutura, que não permitiria movimentar a garra no interior desta. Por estas razões, foi idealizada uma garra capaz de avançar e recuar quando necessário. Esta garra possuiria um cilindro pneumático com curso de 450 mm, fazendo avançar e recuar o conjunto de ventosas por meio da atuação de uma eletroválvula. A Figura 7.5 apresenta o modelo idealizado desta garra.

Numa primeira análise a solução apresentava-se promissora. O cilindro atuado por uma eletroválvula faria com que o perfil do conjunto de ventosas avançasse e recuasse ao longo de um carrinho acoplado a uma guia. Totalmente recolhida, a garra não possuiria comprimento superior à garra inicial. Contudo, pelo facto de a garra ser agora constituída por mais alguns elementos, o peso da mesma aumentaria. A garra pesaria cerca de 3,85 kg e, sabendo que o robô tem capacidade de carga de 12 kg, não deviam ser encontrados problemas. A capacidade de carga do robô é máxima para o centro de massa da garra alinhado com o eixo

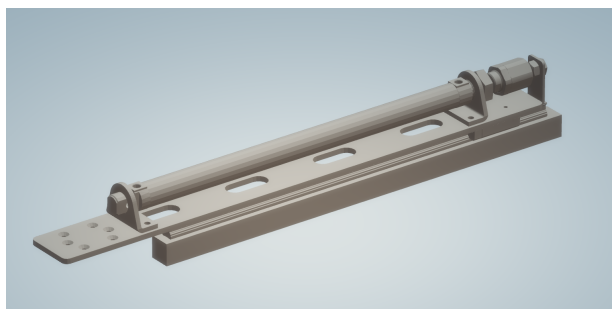


Figura 7.5: Garra com cilindro pneumático para manipulação de peças

da junta 6 do robô, situação que não se verificaria nesta garra. Devido ao facto de a garra possuir a capacidade de avançar o conjunto de ventosas num curso de 450 mm, o centro de massa desta ficaria bastante afastado da junta 6 do robô. Com isto, foi necessário comprovar se o robô seria ou não capaz de suportar esta garra. Como tal, o fabricante disponibiliza uma folha de cálculo onde é possível efetuar o teste de carga, o momento da força (binário) e a inércia verificada nas juntas do robô, bastando indicar qual o peso, a posição do centro de massa e a inércia da garra, de forma a concluir se o robô é ou não capaz de suportar a carga em questão.

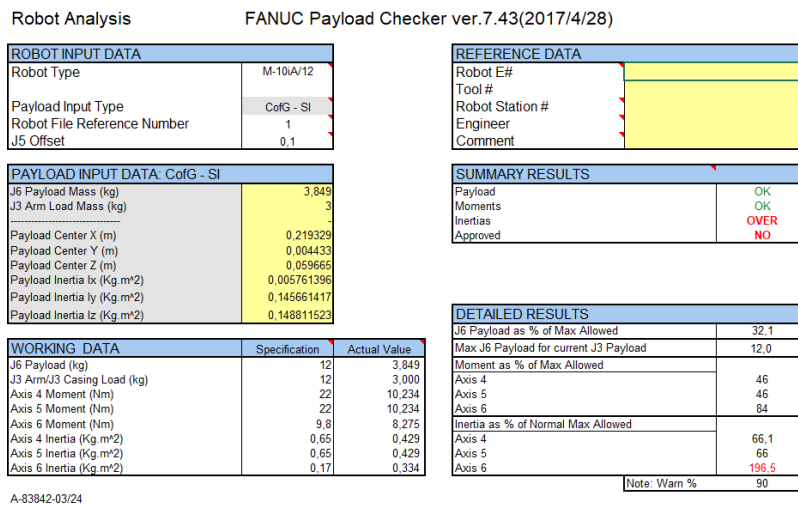
Neste situação, foi necessário efetuar testes para a garra em posição avançada e posição recuada pois os valores da posição do centro de massa e das inércias são diferentes para ambos os casos. Os valores da posição do centro de massa e das inércias foram encontrados pelo departamento de projeto mecânico através do programa de modelação.

A Figura 7.6 apresenta o resultado da análise da garra em posição recuada. Através da folha de cálculo rapidamente se conclui que não será possível utilizar a garra pois a inércia verificada na junta 6 do robô é superior à capacidade deste para esta junta.

Foi também verificada a capacidade de carga do robô para a garra em posição avançada, sendo os resultados apresentados na Figura 7.7.

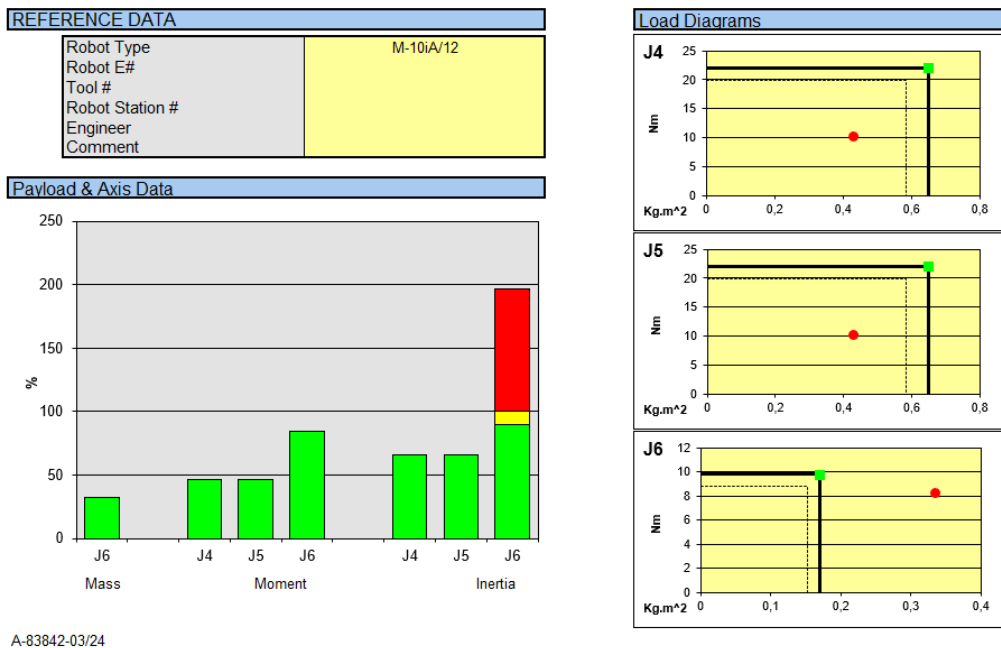
Tal como esperado, os valores de inércia verificados seriam bastante superiores à situação da garra em posição recuada. Nas juntas 4, 5 e 6 a inércia é superior à capacidade máxima do robô. Na junta 6, o binário verificado é também ele superior ao limite máximo apresentado.

Através desta análise, foi possível confirmar de forma antecipada que a garra idealizada não poderia ser implementada, sendo necessário abordar outra solução que resolvesse a questão de falta de alcance do robô. Como já referido no Capítulo 6, chegou-se à conclusão que mover o robô para uma posição mais próxima da máquina de injeção seria o suficiente para garantir o alcance necessário ao robô para remover as peças do interior do molde.



(a) Resultado da análise

## Result Diagrams



(b) Gráficos de carga - Nota: para que uma determinada carga seja validada, o ponto vermelho representado nos gráficos deverá estar localizado no interior da área marcada

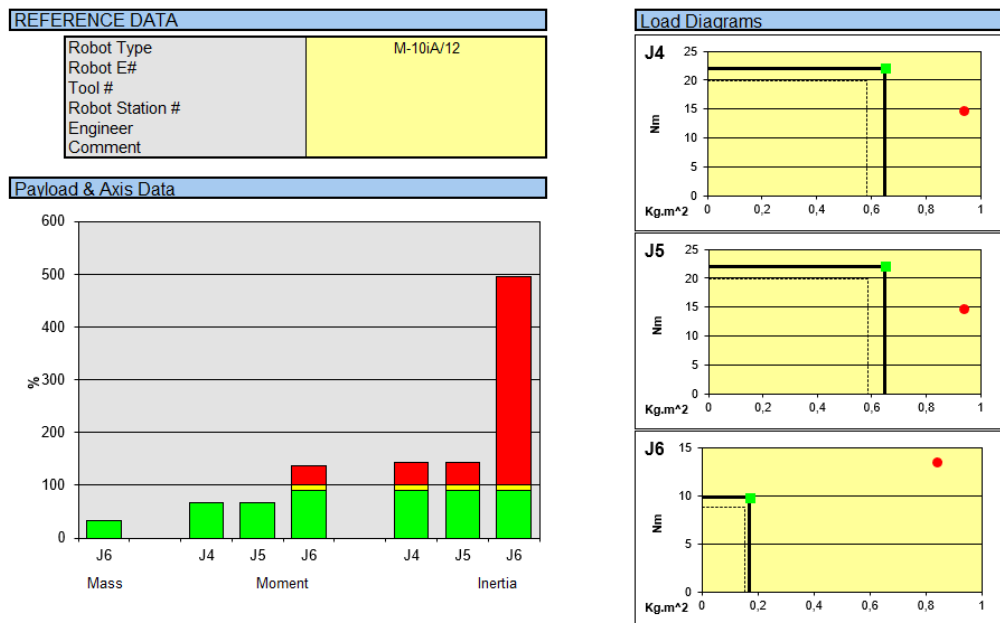
Figura 7.6: Análise da capacidade de carga do robô para a garra em posição recuada

| Robot Analysis                          |               | FANUC Payload Checker ver.7.43(2017/4/28) |                                       |
|-----------------------------------------|---------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|
| ROBOT INPUT DATA                        |               | REFERENCE DATA                            |                                       |
| Robot Type                              | M-10iA/12     | Robot E#                                  |                                       |
| Payload Input Type                      | CofG - SI     | Tool #                                    |                                       |
| Robot File Reference Number             | 1             | Robot Station #                           |                                       |
| J5 Offset                               | 0.1           | Engineer                                  |                                       |
|                                         |               | Comment                                   |                                       |
| PAYLOAD INPUT DATA: CofG - SI           |               | SUMMARY RESULTS                           |                                       |
| J6 Payload Mass (kg)                    | 3.849         | Payload                                   | OK                                    |
| J3 Arm Load Mass (kg)                   | 3             | Moments                                   | OVER                                  |
|                                         |               | Inertias                                  | OVER                                  |
|                                         |               | Approved                                  | NO                                    |
| Payload Center X (m)                    | 0.356026      |                                           |                                       |
| Payload Center Y (m)                    | 0.004433      |                                           |                                       |
| Payload Center Z (m)                    | 0.059665      |                                           |                                       |
| Payload Inertia Ix (Kg.m <sup>2</sup> ) | 0.005111058   |                                           |                                       |
| Payload Inertia Iy (Kg.m <sup>2</sup> ) | 0.350526455   |                                           |                                       |
| Payload Inertia Iz (Kg.m <sup>2</sup> ) | 0.353647124   |                                           |                                       |
| WORKING DATA                            |               | DETAILED RESULTS                          |                                       |
|                                         | Specification | Actual Value                              |                                       |
| J6 Payload (kg)                         | 12            | 3.849                                     | J5 Payload as % of Max Allowed        |
| J3 Arm/J3 Casing Load (kg)              | 12            | 3.000                                     | Max J6 Payload for current J3 Payload |
| Axis 4 Moment (Nm)                      | 22            | 14.719                                    | Moment as % of Max Allowed            |
| Axis 5 Moment (Nm)                      | 22            | 14.719                                    | Axis 4                                |
| Axis 6 Moment (Nm)                      | 9.8           | 13.430                                    | Axis 5                                |
| Axis 4 Inertia (Kg.m <sup>2</sup> )     | 0.65          | 0.937                                     | Axis 6                                |
| Axis 5 Inertia (Kg.m <sup>2</sup> )     | 0.65          | 0.937                                     | Inertia as % of Normal Max Allowed    |
| Axis 6 Inertia (Kg.m <sup>2</sup> )     | 0.17          | 0.842                                     | Axis 4                                |
|                                         |               |                                           | Axis 5                                |
|                                         |               |                                           | Axis 6                                |
|                                         |               |                                           | Note: Warn %                          |
|                                         |               |                                           | 90                                    |

A-83842-03/24

(a) Resultado da análise

## Result Diagrams



A-83842-03/24

(b) Gráficos de carga - Nota: para que uma determinada carga seja validada, o ponto vermelho representado nos gráficos deverá estar localizado no interior da área marcada

Figura 7.7: Análise da capacidade de carga do robô para a garra em posição avançada

## 7.3 Resultados dos Testes Efetuados

Com o processo de testes terminado, foi então possível analisar o resultado dos mesmos. De forma geral, o processo de testes desenrolou-se tal como espe-

rado, verificando-se alguns problemas de ajustes mecânicos e falhas nas ligações elétricas (sinais trocados), tendo sido resolvidos prontamente. Contudo, foi no teste de alcance do robô ao interior da máquina de injeção onde se verificou o maior problema, obrigando a que fosse desenvolvida e implementada uma solução que solucionasse o problema. A solução de alterar a garra do robô adicionando um cilindro era promissora numa fase inicial mas, após a análise de cargas através da folha de cálculo disponibilizada pelo fabricante, rapidamente esta solução foi deixada de parte. Como tal, a solução de reposicionar o robô para uma posição mais perto da máquina de injeção foi rapidamente validada através do simulador e também representou uma solução de fácil implementação.

No processo de acompanhamento de produção foi possível retirar algumas conclusões ao funcionamento do sistema. O processo de arranque da célula tem de ser efetuado com precaução, constituindo uma responsabilidade acrescida para a pessoa que arranca a célula, pois tem de garantir que um conjunto de parâmetros na máquina de injeção estão corretamente configurados. Outro elemento verificado foi a distância entre a interface da célula e a interface da máquina de injeção. Ficando a interface da célula na porta do quadro elétrico e a consola no suporte do controlador, para efetuar o arranque/pausa da célula e/ou confirmar algum erro, o operador tem de se deslocar até à zona traseira da estrutura do robô. Esta situação podia ser facilmente adaptada com um painel de interface localizado junto da interface da máquina de injeção, bem como a consola do robô.

Em termos produtivos, verificou-se que o robô era capaz de retirar as peças sem dificuldade, caso estas fossem produzidas corretamente.





## Capítulo 8

---

# Conclusão

---

Terminado o projeto, foi possível concluir que o seu principal objetivo foi atingido. A célula desenvolvida e implementada foi capaz de fazer a extração de peças de plástico moldadas por injeção, de forma eficiente e cumprindo os restantes requisitos estabelecidos.

Ao longo do processo de desenvolvimento da solução, foram encontrados alguns problemas de rápida resolução, contudo foi no momento de integração do sistema nas instalações do cliente que se verificou um problema de falta de alcance. Apesar da solução implementada se ter revelado de fácil implementação, foi também analisada uma possível alteração da garra para compensar a falta de alcance do robô. No decorrer da validação desta solução, foi verificado que o robô não seria capaz de suportar a carga desta nova garra.

O robô, em termos produtivos, cumpriu os requisitos estabelecidos pelo cliente, sendo capaz de extrair e paletizar as peças corretamente, assegurando em todo o momento que nenhuma peça fique no interior do molde. No funcionamento normal da célula neste momento, o robô leva cerca de 10 segundos a extrair as peças do interior do molde. Por razões alheias à Robotsol, não foi possível a tempo de apresentar na Dissertação os tempos de ciclo do processo com as velocidades das trajetórias do robô otimizadas, pois a ocorrência de um problema no molde da máquina de injeção do cliente interrompeu o processo de otimização. Contudo, a máquina de injeção demora 45 segundos desde o momento em que o molde fecha até que abre com um novo par de peças prontas a serem extraídas. Neste sentido, o tempo de ciclo sem otimizações é de 55 segundos.

De forma a tornar o processo ainda mais eficiente, era vantajoso otimizar, num futuro próximo, as velocidades das trajetórias do robô no momento de extração das peças. Outra melhoria ao sistema passaria por incluir uma interface de botões

e um suporte da consola do robô numa zona adjacente à interface da máquina de injeção, como forma de agrupar todo o controlo da célula num só local.

Em suma, o projeto foi validado de forma positiva pelo cliente e em termos técnicos representa uma diferente abordagem ao desenvolvimento de soluções idênticas que subestimam as capacidades de processamento dos controladores dos robôs, sendo dada preferência à utilização de autómatos programáveis para executar o processamento lógico dos sistemas.

---

## Referências Bibliográficas

---

- [1] M. Silva, “ROBIN: Robótica Industrial (Introdução à Robótica),” pp. 1–25, 2016. [citado na p. 5, 21, 22]
- [2] J. N. Pires, “Robótica,” *Jornal Público: Caderno de Computadores*, p. 19, 2002. [citado na p. 5]
- [3] R. Wolfe., “Against accelerationism, for Marxism, The Charnel-House.,” 2015. <https://thecharnelhouse.org/2015/06/30/against-accelerationism-for-marxism/>. [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, 7]
- [5] R. N. Jazar, *Theory of Applied Robotics: Kinematics, Dynamics, and Control, Second Edition*. [citado na p. 7, 18, 20, 21, 22, 25]
- [6] J. D. L. Fuente, J. Santiago, A. Román, C. Dumitrache, and D. Casasanto, *Handbook on Robotics*, vol. 25. Springer, 2014. [citado na p. 7, 8, 9, 10, 24, 25, 34, 35, 38]
- [7] Nptel, “Robotics joint types,” 2010. Disponível em: <http://nptel.ac.in/courses/112103174/module7/lec5/2.html>. [citado na p. 8, 9]
- [8] LearnEngineering, “Brushless DC Motor, How it works ?,” *Learn Engineering*, 2013. <http://www.learnengineering.org/2014/10/Brushless-DC-motor.html>. [citado na p. 10]
- [9] M. P. Groover, “Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing,” *Prentice Hall*, p. 815, 2007. [citado na p. 10, 16, 23, 34, 35, 37, 38, 39]
- [10] S. Y. Nof, *Handbook of Industrial Robotics*. 1999. [citado na p. 12, 15, 20, 21, 22, 23, 25]

- [11] Kuka, “KUKA Industrial robotics - medium payloads,” 2017. Disponível em: [https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka\\_pb\\_\\_mit-tlere\\_\\_tl\\_\\_en.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_pb__mit-tlere__tl__en.pdf). [citado na p. 12]
- [12] M. Silva, “Métodos de Industriais Programação de Robôs,” pp. 1–40, 2016. [citado na p. 14, 15]
- [13] M. Silva, “ROBIN : Robótica Industrial Atuadores Finais para Robôs Industriais,” pp. 1–60, 2016. [citado na p. 17]
- [14] Fanuc, “Fanuc Arc Mate 100iC industrial Robot,” <http://www.fanuc.eu/sk/en/robots/robot-filter-page/arc-welding/arcmate-100ic-12>. [citado na p. 18]
- [15] F. Robot, “Fanuc Robot LR Mate 200iD,” 2013. <http://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/página-filtro-robôs/série-lrmate/lrmate-200-id>. [citado na p. 19]
- [16] Fanuc America Corporation, “FANUC Delta Robots.” <http://www.fanuc.eu/ru/en/robots/robot-filter-page>. [citado na p. 19]
- [17] R. M. Crowder, “ROBOT GEOMETRY,” 1998. <http://www.southampton.ac.uk/rmc1/robotics/argeometry.htm>. [citado na p. 19, 22]
- [18] M. Silva, “Noções Básicas de Robótica,” pp. 1–99, 2016. [citado na p. 19]
- [19] F. Irb, “Resolution Accuracy , Repeatability , Compliance Resolution Accuracy,” *System*. [citado na p. 20, 21]
- [20] I. S. University, “Robot Configurations,” 2005. Disponível em: [http://my.ilstu.edu/kldevin/Introduction\\_to\\_robotics2/Introduction\\_to\\_robotics7.html](http://my.ilstu.edu/kldevin/Introduction_to_robotics2/Introduction_to_robotics7.html). [citado na p. 21, 22, 23]
- [21] A. Direct, “PLC Handbook,” Disponível em: [automationdirect.com](http://automationdirect.com). [citado na p. 27, 28, 29]
- [22] W. Bolton, *Programmable Logic Controllers*, vol. 58. 2009. [citado na p. 27, 29, 30]
- [23] C. Vavra, “Dick Morley remembered as 'Father of the PLC',” 2017. Disponível em: <https://www.controleng.com/single-article/dick-morley-remembered-as-father-of-the-plc/9fb2ba67432ac3093a0b5016e1b835ab.html>. [citado na p. 28]

- [24] “TC1 - Standards,” Disponível em: [http://www.plcopen.org/pages/tc1\\_standards/](http://www.plcopen.org/pages/tc1_standards/). [citado na p. 30]
- [25] S. Y. Nof, ed., *Springer Handbook of Automation*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. [citado na p. 31]
- [26] N. Pires, *Industrial Robots Programming : Industrial Robots Programming*. 2007. [citado na p. 31]
- [27] F. Petruzella, *Programmable Logic Controllers*. 2017. [citado na p. 32]
- [28] M. Silva, “ROBIN : Segurança na Programação e Operação de Robôs Industriais,” pp. 1–16, 2012. [citado na p. 33]
- [29] S. Aguilar, “Welding Cell Safety.” <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2013/05/design-considerations-for-robotic-welding-cell-safety/>. [citado na p. 34]
- [30] P. Riscos, “Riscos e Medidas Preventivas no sector da Metalomecânica,” Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/4305/3/ANEXO%20II%20-%20Riscos%20e%20medidas%20preventivas%20MM.pdf>. [citado na p. 36]
- [31] Tecno-Saldature, “Spot Welding,” [http://www.tecnosaldature.com/en/parco\\_machine/macchine/macchina/saldatrice-a-resistenza-rw.html](http://www.tecnosaldature.com/en/parco_machine/macchine/macchina/saldatrice-a-resistenza-rw.html). [citado na p. 36]
- [32] R. L. Shell and E. L. Hall, *Handbook of Industrial Automation*, vol. 65. 2000. [citado na p. 37, 38]
- [33] P. E. DOMINICK V. ROSATO, P. DONALD V. ROSATO, and P. E. MARLENE G. ROSATO, *Injection Molding Handbook - Third Edition*. Kluwer Academic Publishers, 2000. [citado na p. 42, 43]
- [34] Fanuc Europe Corporation, “ROBOSHOT  $\alpha$ -S i A series Enter the efficiency zone,” 2017. <https://www.fanuc.eu/be/en/roboshot>. [citado na p. 44]
- [35] E. Global, “Engel Global History,” 2018. <https://www.engelglobal.com/en/uk/company/history.html>. [citado na p. 45]
- [36] E. Global, “ENGEL Victory,” 2017. [https://www.engelglobal.com/fileadmin/master/Downloads/Broschueren/ENGEL\\_victory\\_en.pdf](https://www.engelglobal.com/fileadmin/master/Downloads/Broschueren/ENGEL_victory_en.pdf). [citado na p. 45]
- [37] E. Global, “ENGEL tie-bar-less technology,” 2018. <https://www.engelglobal.com/en/uk/solutions/tie-bar-less.html>. [citado na p. 45]

- [38] Tetrafix, “Tetrafix Lightgrip end-of-arm tooling,” 2018. <http://www.tetrafix.se/en/plastic-moulding.html>. [citado na p. 46]
- [39] Fipa, “Fipa Series 140 – power grippers,” 2018. [http://www.fipa.com/en\\_GB/product/208079-sprue-grippers](http://www.fipa.com/en_GB/product/208079-sprue-grippers). [citado na p. 47]
- [40] Fanuc America Corporation, *FANUC Soft Float Operator Manual*. [citado na p. 48, 49]
- [41] ABB, “SoftMove - ABB Robotics,” 2018. [citado na p. 48, 49]
- [42] EUROMAP, “EUROMAP - Who we are and what we do?,” 2018. [http://www.euromap.org/files/EUROMAP\\_Who\\_we\\_are\\_and\\_what\\_we\\_do.pdfdownload1](http://www.euromap.org/files/EUROMAP_Who_we_are_and_what_we_do.pdfdownload1). [citado na p. 49]
- [43] Euromap, “Euromap 67 Electrical Interface between Injection Moulding Machine and Handling Device/Robot,” 2015. [http://www.euromap.org/files/EU\\_67\\_Ver\\_1.11\\_May2015.pdf?download=1](http://www.euromap.org/files/EU_67_Ver_1.11_May2015.pdf?download=1). [citado na p. 49, 62, 94, 107]
- [44] EUROMAP, “EUROMAP 64 - Injection Moulding Machines - Warning Signs,” 2008. [http://www.euromap.org/files/EU64\\_2008.pdfdownload1](http://www.euromap.org/files/EU64_2008.pdfdownload1). [citado na p. 50]
- [45] EUROMAP, “EUROMAP 63 - Data exchange interface (General + Injection moulding machines),” 2000. <http://www.euromap.org/files/eu63.pdfdownload1>. [citado na p. 50]
- [46] “Eisenmann Druckguss,” 2018. <http://www.eisenmann-druckguss.de/>. [citado na p. 50]
- [47] K. R. UK, “Case study: Kuka robot handles automotive safety parts at Eisenmann Druckguss,” 2016. <https://www.theengineer.co.uk/supplier-network/product/case-study-kuka-robot-handles-automotive-safety-parts-at-eisenmann-druckguss/>. [citado na p. 50, 51]
- [48] K. Robotics, “KUKA KR 60,” 2017. <https://www.kuka.com/en-cn/products/robotics-systems/industrial-robots/kr-60>. [citado na p. 50, 52]
- [49] Dynamic Group, “Dynamic Group,” 2018. <http://www.dynamicgroup.com/about-us/>. [citado na p. 53]
- [50] U. Robots, “Dynamic Group - Produção de Moldagem por injeção.” <https://www.universal-robots.com/pt/histórias-de-casos/dynamic-group/>. [citado na p. 53, 54, 55, 56]

- [51] U. Robots, “Universal Robots UR 10,” 2018. <https://www.universal-robots.com/products/ur10-robot/>. [citado na p. 53, 55]
- [52] ABB, “Increasing profitability with 6-axis robots Case study: Injection Moulding,” 2006. [https://library.e.abb.com/public/.../Spain\\_casestudy\\_en\\_print.pdf](https://library.e.abb.com/public/.../Spain_casestudy_en_print.pdf). [citado na p. 57, 59]
- [53] ABB, “ABB IRB 4400,” 2018. <http://new.abb.com/products/robotics/pt/robos-industriais/irb-4400>. [citado na p. 58]
- [54] Omron, “Trinco de Segurança Omron D4SL,” 2018. <https://industrial.omron.pt/pt/products/d4sl-n>. [citado na p. 64]
- [55] Omron, “Interruptor de Segurança Omron F3S-TGR,” 2018. <https://industrial.omron.pt/pt/products/f3s-tgr-nc>. [citado na p. 64]
- [56] EUROMAP, “Relé de segurança G9SE Omron,” 2018. <http://www.ia.omron.com/products/family/3419/>. [citado na p. 65]
- [57] Fanuc, “Robô Fanuc Arc Mate 100iC,” 2018. <https://www.fanuc.eu/media/files/pdf/products/robots/robots-datasheets-en/arcmate/datasheet%20arcmate-100ic-12.pdf?la=pt>. [citado na p. 67]
- [58] Fanuc, “Controladores Fanuc R30iB,” 2018. <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/acessórios/controlador-r-30ib>. [citado na p. 67, 68]
- [59] Fanuc, “Consola Fanuc iPendant,” 2018. <https://www.fanuc.eu/pt/pt/robôs/acessórios/controlador-r-30ib/ipendant-touch>. [citado na p. 68]
- [60] WEMO, “WEMO Quick-Lock Midi,” 2018. [http://wemo.e-line.nu/en/Standard/WGS/Quick\\_lock\\_Quick\\_change\\_system/WGS\\_Quick-Lock\\_Midi](http://wemo.e-line.nu/en/Standard/WGS/Quick_lock_Quick_change_system/WGS_Quick-Lock_Midi). [citado na p. 68, 69]
- [61] Festo, “Festo Vacuum Generators,” 2018. [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_engb/PDF/EN/VN\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_engb/PDF/EN/VN_EN.PDF). [citado na p. 69]
- [62] Festo, “Festo Pressure Sensors SPAE,” 2018. [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_ENGB/PDF/EN/SPAE\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENGB/PDF/EN/SPAE_EN.PDF). [citado na p. 69]
- [63] Festo, “Festo Solenoid Valve VUVG,” 2018. [https://www.festo.com/cat/en-us\\_us/data/doc\\_enus/PDF/US/VUVG\\_ENUS.PDF](https://www.festo.com/cat/en-us_us/data/doc_enus/PDF/US/VUVG_ENUS.PDF). [citado na p. 69, 108]



- [64] Festo, “Festo Pressure Sensores SPAN,” 2018.  
[https://www.festo.com/cat/fr\\_fr/data/doc\\_engb/PDF/EN/SPAN\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/fr_fr/data/doc_engb/PDF/EN/SPAN_EN.PDF). [citado na p. 70]
- [65] SEW-Eurodrive, “Motor SEW Spiroplan WA10,” 2001.  
<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/1051600x.pdf>.  
[citado na p. 71]
- [66] Omron, “Variador de Frequência Omron MX2,” 2018.  
<https://industrial.omron.pt/pt/products/mx2>. [citado na p. 71]
- [67] Pepperl+Fuchs, “Photoelectric Sensor Pepperl+Fuchs ML100,” 2018.  
<https://www.pepperl-fuchs.com/usa/en/15577.htm>. [citado na p. 71]

## Anexo A

---

# Fluxogramas das Rotinas de Programação do Robô

---

Os fluxogramas apresentados e/ou referenciados ao longo deste documento estão compilados no CD disponibilizado com os ficheiros de anexo correspondentes à dissertação, de forma a possibilitar uma visualização mais detalhada.

*(Este espaço foi intencionalmente deixado em branco)*

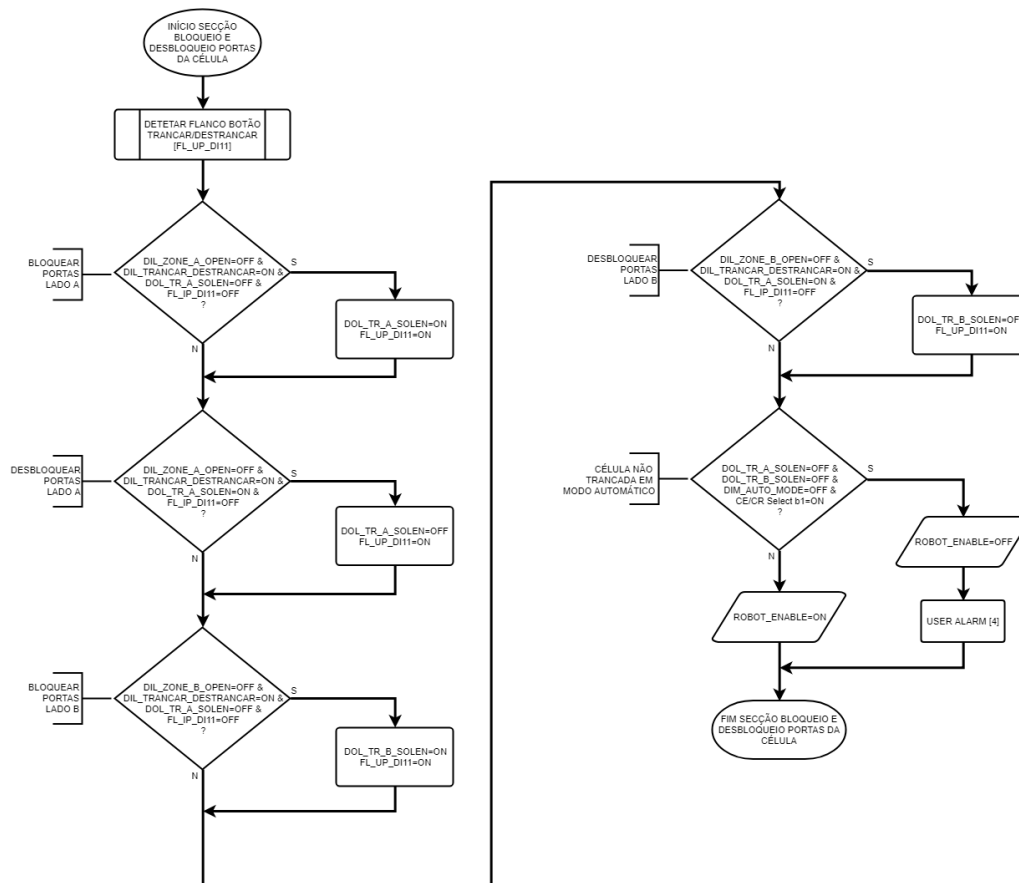


Figura A.1: Fluxograma do programa *Logic\_Prog* - secção de bloqueio e desbloqueio das portas da célula

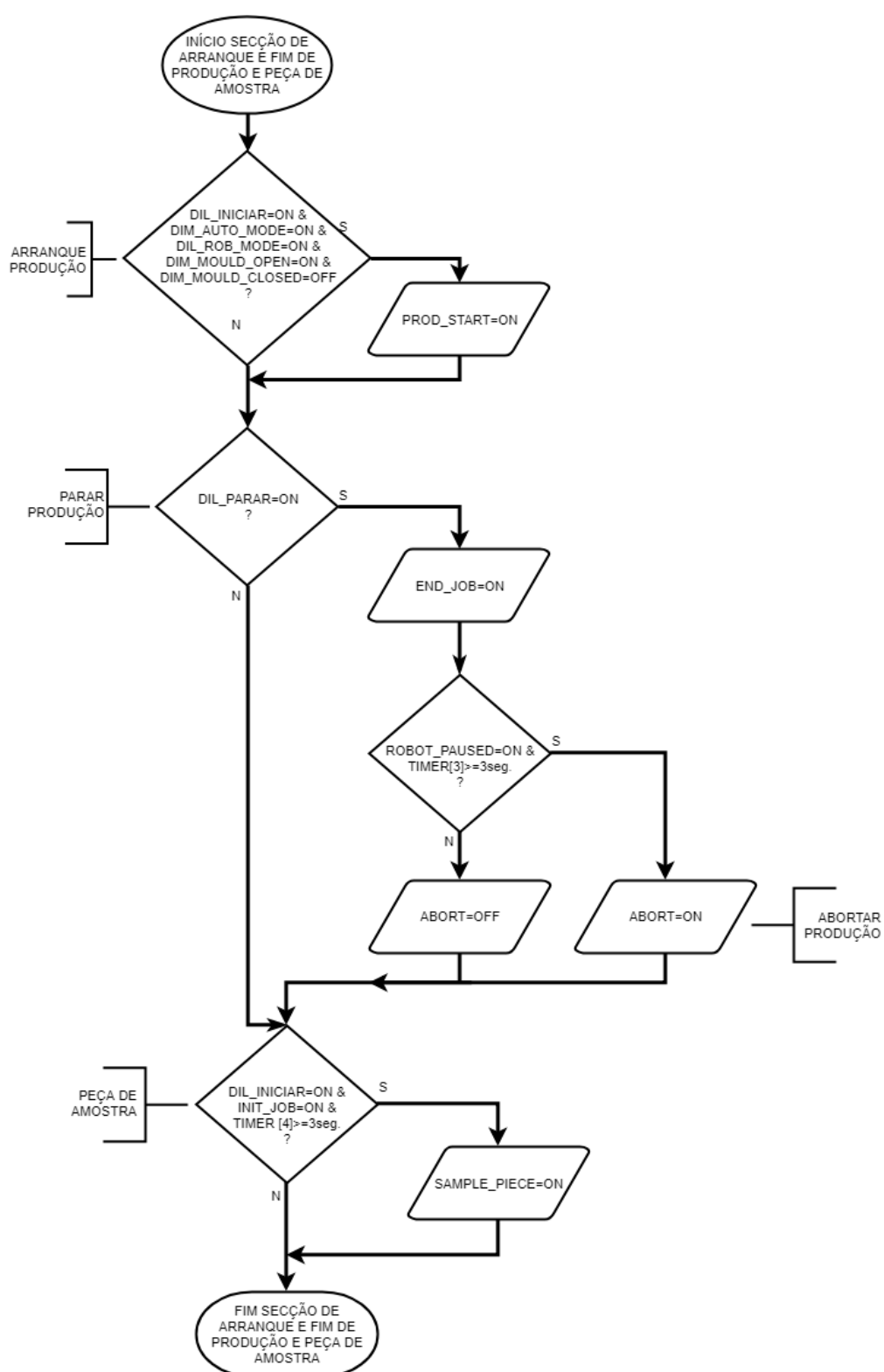


Figura A.2: Fluxograma do programa *Logic\_Prog* - secção de arranque e fim de produção e peça de amostra

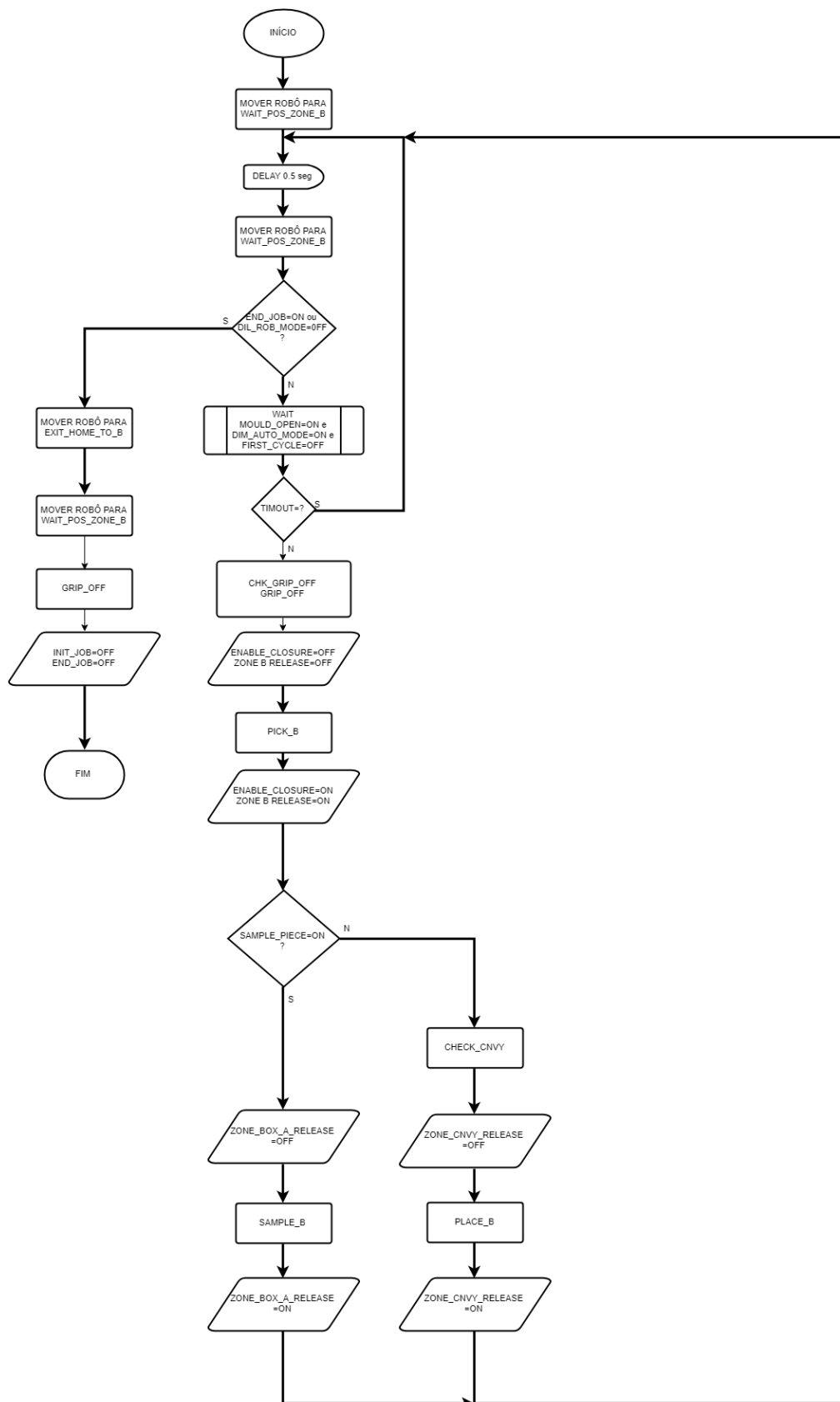


Figura A.3: Fluxograma do programa *Loop\_B*

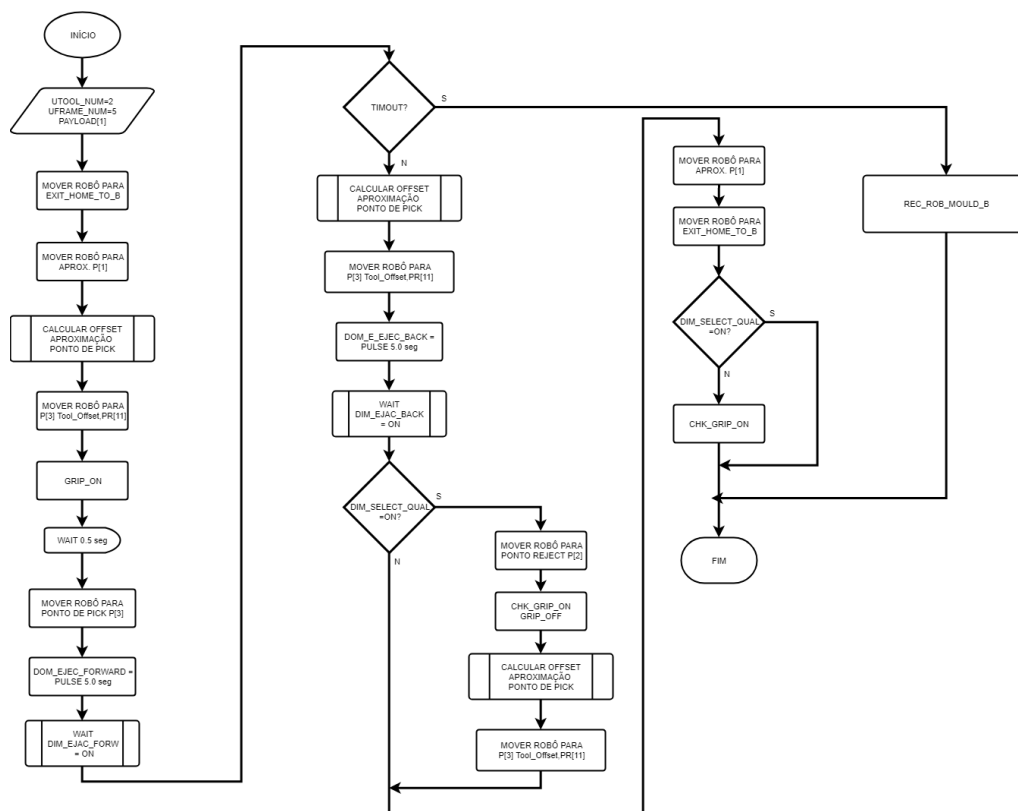


Figura A.4: Fluxograma do programa  $T\_Pick\_B$



## Anexo B

---

# Código dos Programas e Rotinas Implementadas

---

O código dos diversos programas e rotinas implementados para esta solução, pode ser encontrado na íntegra no CD disponibilizado com os ficheiros de anexo correspondentes à dissertação.

*(Este espaço foi intencionalmente deixado em branco)*





## Anexo C

---

# Sinais Digitais de Entradas e Saídas do Controlador Fanuc R-30iB

---

*(Este espaço foi intencionalmente deixado em branco)*

Tabela C.1: Sinais de entrada do controlador do robô

| Sinal da Carta | Tag da Entrada            | Descrição da Entrada                                                                 |
|----------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| A0             | <i>DIL_VARS&amp;AR_OK</i> | Sinal de alarme do variador do tapete de saída e alarme do presostato                |
| A1             | <i>DIL_S1</i>             | Sensor 1 de detecção de peça no tapete                                               |
| A2             | <i>DIL_S2</i>             | Sensor 2 de detecção de peça no tapete                                               |
| A3             | <i>DIL_S3</i>             | Sensor 3 de detecção de peça no tapete                                               |
| A4             | <i>DIL_INICIAR</i>        | Botão iniciar/peça de amostra da interface de botões                                 |
| A5             | <i>DIL_PARAR</i>          | Botão fim de produção da interface de botões                                         |
| A6             | <i>DIM_MOULD_CLOSED</i>   | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - molde fechado                   |
| A7             | <i>DIM_MOULD_OPEN</i>     | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - molde aberto                    |
| B0             | <i>DIM_EJAC_BACK</i>      | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - ejetores retraídos              |
| B1             | <i>DIM_EJAC_FORW</i>      | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - ejetores avançados              |
| B2             | <i>DIL_TRANCAR_DEST</i>   | Botão trancar/destrancar da interface de botões                                      |
| B3             | <i>DIL_ZONE_A_OPEN</i>    | Sinal do par de trincos das portas - lado A                                          |
| B4             | <i>DIL_ZONE_B_OPEN</i>    | Sinal do par de trincos das portas - lado B                                          |
| B5             | <i>DIM_SELECT_QUAL</i>    | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - peça com defeito/para rejeitar  |
| B6             | <i>DIM_AUTO_MODE</i>      | Sinal EUROMAP 67 (enviado pela máquina de injeção) - máquina em modo Automático      |
| B7             | <i>DIL_ROB_MODE</i>       | Seletor de duas posições de escolha de modo automático/manual da interface de botões |

Tabela C.2: Sinais de saída do controlador do robô

| Sinal da Carta | Tag da Saída              | Descrição da Saída                                                                 |
|----------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| A0             | <i>DOL_MOT_FWD</i>        | Sinal de ativação do variador do motor                                             |
| A1             | <i>DOL_TORRE_VERDE_H9</i> | Luz verde da torre luminosa                                                        |
| A2             | <i>DOL_BUZZER_Z10</i>     | Sinal para ativação do bezouro de alarme sonoro                                    |
| A3             | <i>DOL_TORRE_VERMELHO</i> | Luz vermelha da torre luminosa                                                     |
| A4             | <i>DOL_H7_REARME</i>      | Luz do botão de rearme de emergências                                              |
| A5             | <i>DOL_TR_A_SOLEN</i>     | Sinal para ativar solenóide dos trincos das portas - lado A                        |
| A6             | <i>DOL_TR_B_SOLEN</i>     | Sinal para ativar solenóide dos trincos das portas - lado B                        |
| A7             | <i>DOM_E_MOD_CLOSURE</i>  | Sinal EUROMAP 67 (enviado para máquina de injeção) - permitir fecho do molde       |
| B0             | <i>DOM_E_F_MOD_OPEN</i>   | Sinal EUROMAP 67 (enviado para máquina de injeção) - permitir abertura do molde    |
| B1             | <i>DOM_ROB_OFF</i>        | Sinal EUROMAP 67 (enviado para máquina de injeção) - modo de funcionamento do robô |
| B2             | <i>DOM_E_EJEC_BACK</i>    | Sinal EUROMAP 67 (enviado para máquina de injeção) - permitir recuo dos ejetores   |
| B3             | <i>DOM_EJEC_FORWARD</i>   | Sinal EUROMAP 67 (enviado para máquina de injeção) - permitir avanço dos ejetores  |
| B4             | <i>DOL_H8_REARME_PT</i>   | Luz do botão de trancar/destrancar portas                                          |
| B5             | <i>DOM_ROBOT_INSIDE</i>   | Sinal EUROMAP 67 (enviado para máquina de injeção) - robô dentro da área do molde  |
| B6             | Reserva                   |                                                                                    |
| B7             | Reserva                   |                                                                                    |

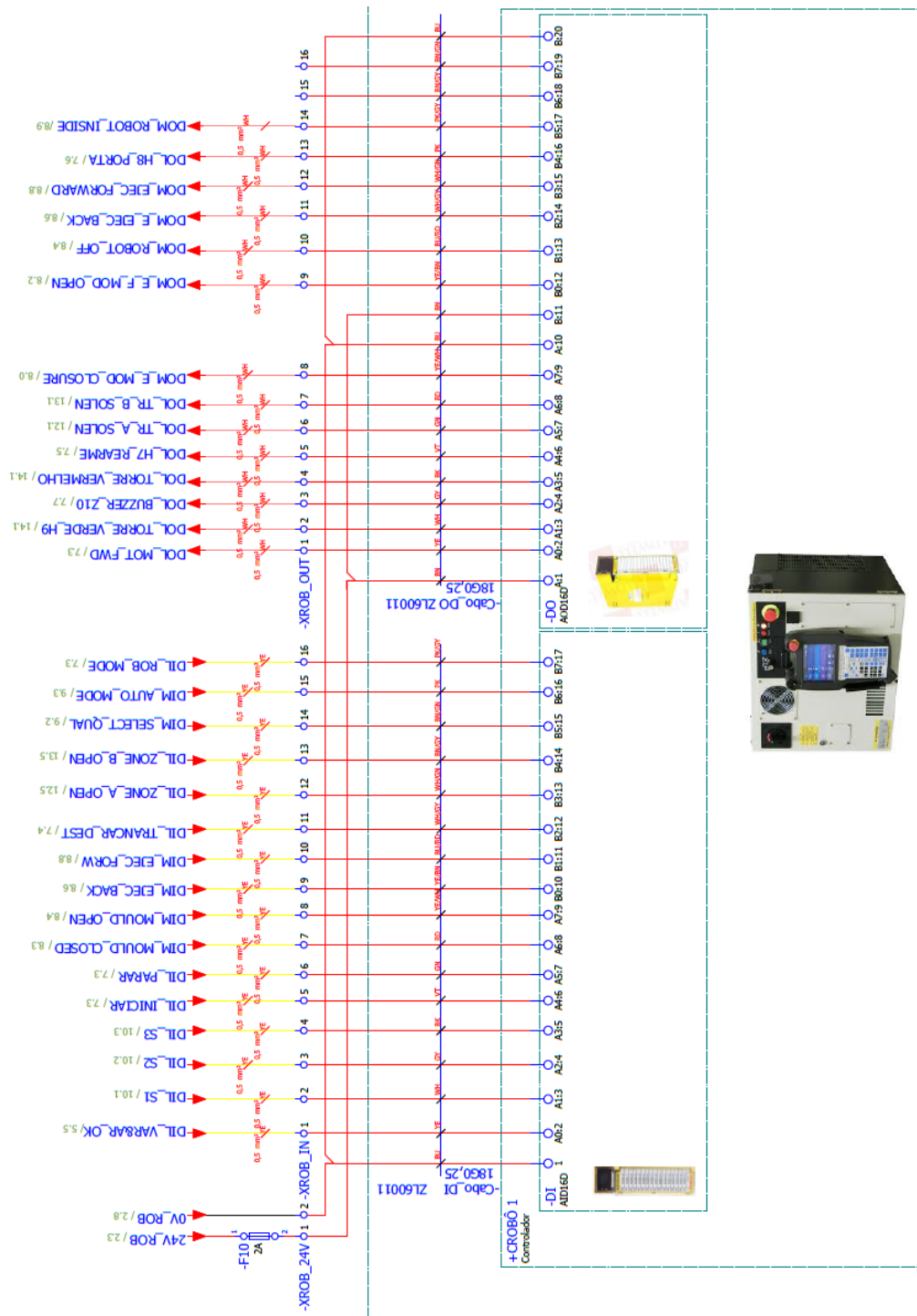


Figura C.1: Esquema elétrico das cartas de sinais digitais

## Anexo D

---

# Esquema Pneumático

---

*(Este espaço foi intencionalmente deixado em branco)*



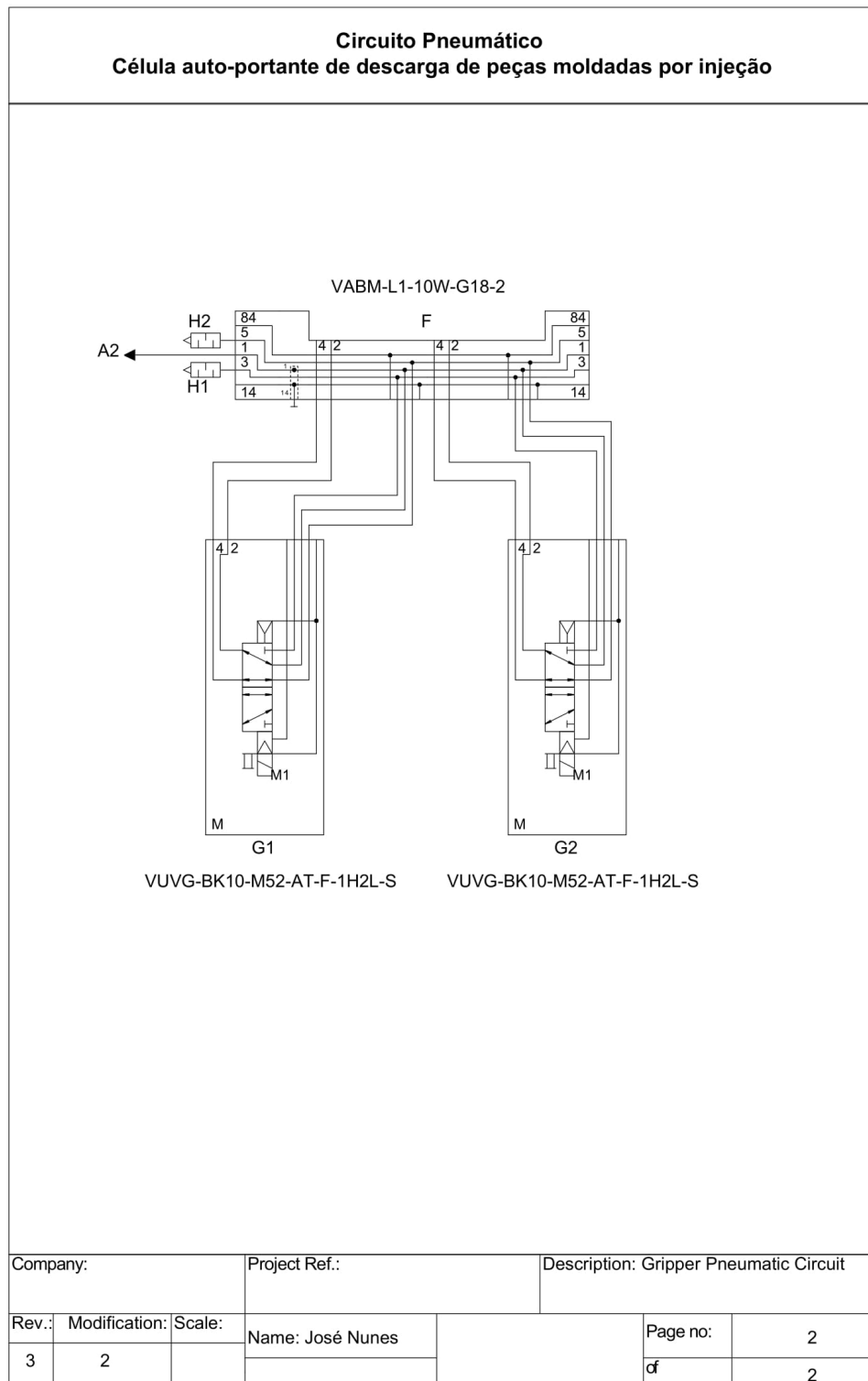


Figura D.2: Circuito pneumático do sistema - 2





## Anexo E

---

# Documentação de Utilização do Sistema

---

O Manual de Utilização do Sistema e a Folha de Arranque do Sistema podem ser encontrados na íntegra no CD disponibilizado com os ficheiros de anexo correspondentes à dissertação.

*(Este espaço foi intencionalmente deixado em branco)*

