

Óscar Vieira Pereira

Integração e controlo de máquinas CNC e robôs industriais em Células Flexíveis de Fabrico

**Dissertação de Mestrado**

em Engenharia Eletrotécnica - Energia e Automação Industrial

Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho

Professor Doutor Daniel Filipe Albuquerque





*Ao meu Pai e ao meu irmão Daniel.*



*“O êxito da vida não se mede pelo caminho que conquistou,  
mas sim pelas dificuldades que superou pelo caminho.”*

Abraham Lincoln



## RESUMO

Para que as empresas possam ser competitivas, os seus processos produtivos têm que ser flexíveis, de tal forma que, possam ter uma capacidade de resposta à variedade de produtos requeridos pelo mercado em que se encontram. As Células Flexíveis de Fabrico (CFF), apresentam grandes potencialidades nesta área, sendo atualmente um dos sistemas mais sofisticados com a capacidade de se adequarem rapidamente às alterações do mercado, produzindo, assim, uma grande variedade de produtos. A flexibilidade destes sistemas resulta da utilização de autómatos e computadores para controlar e monitorizar todos os setores das CFF.

Este trabalho teve como objetivo principal a integração e controlo de duas máquinas CNC diferentes e de dois robôs industriais distintos, numa CFF que se encontra instalada no Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV). Para tal, foram desenvolvidas várias ferramentas de software e hardware para integrar e controlar todos os equipamentos envolvidos neste projeto, como por exemplo: robôs industriais, máquinas CNC, sensores, câmaras de vídeo, microcomputadores e microcontroladores. Foi desenvolvido um sistema de carga e descarga para máquinas CNC e para paletes de transporte de material (matéria prima e produtos acabados). Este, também permite a deteção de falhas e de alarmes, de forma a garantir uma maior autonomia e melhor desempenho da célula, a segurança dos funcionários e preservar o bom funcionamento de todos os equipamentos.

Foi, também, desenvolvido um pequeno sistema de visão artificial capaz de verificar quantas peças estão nas paletes de transporte de material. Este sistema, após adquirir uma imagem através de uma câmara de vídeo e do seu posterior processamento e análise, recorrendo a um algoritmo implementado num microcomputador, informa o controlador do robô da presença ou ausência de peças.

Para a interface Homem-Máquina (HMI) foi desenvolvida uma página *web* que permite o controlo e monitorização em tempo real da CFF. Esta página, para além de permitir a análise do desempenho de cada setor, os alarmes e avisos registados durante o funcionamento da célula, permite também efetuar operações de controlo remoto da produção e de manutenção.

Por último, para aumentar a flexibilidade da célula foi implementada uma ferramenta de envio de e-mails e de SMS, sempre que ocorram invasões num dos setores da CFF.



## ABSTRACT

For companies to be competitive, their production processes must be flexible. This way, companies could provide most of the products required by the market where they are placed. Flexible Manufacturing Cells (FMC) have a great potential in this area, being one of the most sophisticated systems, they can adapt quickly to market changes allowing a wide variety of products production. The flexibility of these systems results from the use of automatons and computers to control and monitor all CFF sectors.

The main objective of this work was the integration and control of two different CNC machines and two different industrial robots, in a FMC, installed in the Department of Electrotechnical Engineering (DEE) of the School of Technology and Management of Viseu (ESTGV). To accomplish that, several software and hardware tools were developed to integrate and control all equipment involved in this project, such as: industrial robots, CNC machines, sensors, video cameras, computers and microcontrollers. Additionally, it was developed a loading and unloading system of the CNC machines and the material pallets (raw material and finished products). The implemented system also allows the detection of faults and alarms, in order to improve the system autonomy and increase the cell's performance, as well as, to guarantee the employees' safety and to preserve the good functioning of all the equipment.

It was also developed a small artificial vision system that checks the pieces presence on the material transport pallets. After the system acquiring an image of the pallet, with a video camera, and process and analysis it, using an algorithm implemented in a microcomputer, it informs the robot controller about the presence or absence of each piece on the pallet.

For the Human-Machine Interface (HMI) a web page was developed for real-time monitoring and control of the CFF. This web page, besides providing each sector performance analysis, possible alarms and warnings registered during the cell operation, also allows some production and maintenance remote-control operations.

Finally, to increase the cell flexibility, the implemented system sends an e-mail and a SMS to alert whenever an invasion of the CFF sectors is detected.



## **PALAVRAS CHAVE**

Células Flexíveis de Fabrico

Robôs Industriais

Máquinas CNC

Automação Industrial

PLC

Python

Sistemas de Visão Artificial



## KEY WORDS

Flexible Manufacturing Cell  
Industrial Robot  
CNC machines  
Industrial Automation  
PLC  
Python  
Artificial Vision Systems



## AGRADECIMENTOS

Aqui expresso toda a minha gratidão a todos os que me apoiaram e ajudaram a concluir esta etapa do meu percurso académico.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho, pelo imprescindível e valioso apoio prestado em todas as fases de elaboração desta dissertação, desde a ideia original até à redação, o qual foi sempre pronto e útil, a minha sincera gratidão e profundo reconhecimento.

Ao Professor Doutor Daniel Filipe Albuquerque, a quem coube a coorientação desta dissertação, desejo manifestar os meus agradecimentos pelo precioso apoio, sempre que precisei de ajuda ao longo de toda a dissertação.

Ao Mestre, João Vitor Ôlas pela ajuda e conselhos dados durante a realização deste projeto.

A todos os professores que tive o prazer de conhecer durante estes 5 anos, pelos valiosos conhecimentos que me foram transmitidos.

Aos meus colegas e amigos, em especial ao Miguel Almeida, pela companhia, ajuda, pelos conselhos e acima de tudo pelos momentos de lazer que proporcionou, tornando assim os dias deste período, repleto de boas memórias.

Finalmente, gostaria de expressar a minha sincera gratidão, aos meus pais e irmãos, pelo sustento e apoio demonstrado em toda a minha formação académica, especialmente nesta fase.

A todos, Muito Obrigado.



# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xix
ÍNDICE DE QUADROS .....	xxv
ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xxvii
1. Introdução .....	1
1.1 Motivação .....	1
1.2 Enquadramento .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.4 Estrutura da Dissertação .....	4
2. Estado da Arte .....	5
2.1 Introdução .....	5
2.2 Evolução dos processos de fabrico .....	6
2.3 Sistema de Controlo Hierárquico Distribuído.....	7
2.3.1 Descrição sobre a filosofia CIM.....	7
2.4 Controlo numérico .....	9
2.4.1 Elementos do Controlo Numérico .....	10
2.5 Controlo Numérico Computorizado (CNC) .....	11
2.5.1 Aplicações das máquinas NC e CNC .....	12
2.5.2 CAD/CAM .....	16
2.6 Células Flexíveis de Fabrico.....	19
2.6.1 Flexibilidade de uma célula flexível de fabrico.....	19
2.6.2 Componentes de uma CFF .....	20
2.6.3 Benefícios de uma Célula Flexível de Fabrico.....	27
2.6.4 Sistemas Flexíveis de Fabrico (SFF).....	28
2.7 Controlo de Qualidade na indústria .....	29
2.7.1 Visão Artificial .....	29
2.8 Resumo do Capítulo.....	30

3.	Configuração do setor de fabrico .....	31
3.1	Introdução.....	31
3.2	Configuração da Célula Flexível de Fabrico.....	31
3.3	Setor de fabrico .....	32
3.3.1	Máquinas CNC.....	33
3.3.2	Robô manipulador.....	34
3.3.3	Robô IRB 140 .....	35
3.3.4	Buffer .....	39
3.4	Setor de Armazém .....	40
3.4.1	Armários e Rampa de armazenamento .....	40
3.4.2	Robô IRB1400 .....	41
3.5	Transportador .....	43
3.5.2	Sistema de controlo e de sinalização.....	46
3.5.3	Sistema de segurança .....	47
3.6	PLC, o gestor da CFF .....	48
3.7	Microcomputador <i>Raspberry Pi</i> .....	50
3.7.1	Visão Artificial.....	51
3.7.2	Servidor <i>Web</i> .....	52
3.8	Resumo do capítulo .....	54
4.	Proposta de Solução .....	55
4.1	Robô do setor do Armazém.....	57
4.1.1	Start/Stop do Setor do Armazém .....	58
4.1.2	Sistema de Carga das Paletes de matéria prima (MP) .....	61
4.1.3	Sistema de Descarga das Paletes de produtos acabados (PA) .....	65
4.1.4	Sistema de emergência e segurança no setor do armazém.....	68
4.2	Robô do setor de fabrico .....	71
4.2.1	Start do setor de fabrico .....	73
4.2.2	Avárias/ Emergências nas máquinas CNC.....	75
4.2.3	Manutenção das Máquinas CNC.....	77
4.2.4	Descarregamento das Paletes MP .....	80
4.2.5	Torno CNC.....	82
4.2.6	Fresa CNC.....	87

4.2.7	Carregamento das Paletes PA Torno .....	90
4.2.8	Carregamento das Paletes PA Fresa .....	92
4.2.9	Ficheiros de texto do Torno CNC .....	93
4.2.10	Ficheiros de texto da Fresa CNC .....	99
4.2.11	Sistema de emergência e segurança do setor de fabrico.....	104
4.3	Gestor da CFF .....	107
4.3.1	Interligação entre o Gestor da CFF e o setor do armazém .....	108
4.3.2	Controlo da unidade controlo do setor do armazém.....	110
4.3.3	Interligação entre o Gestor da CFF e o setor de fabrico.....	111
4.3.4	Controlo da unidade de controlo do SF .....	115
4.4	Visão Artificial .....	117
4.4.1	Interface da visão artificial .....	117
4.4.2	Programa da visão artificial.....	118
4.4.3	Sistema de proteção entre o <i>Raspberry Pi</i> e o Controlador.....	120
4.5	Servidor <i>Web</i> .....	122
4.5.1	Interface entre o servidor <i>web</i> e os outros equipamentos.....	122
4.5.2	Página <i>Web</i> .....	124
4.5.3	“Página Inicial”.....	125
4.5.4	“Stream” .....	125
4.5.5	“Setor de fabrico” .....	126
4.5.6	“Setor do Armazém” .....	128
4.5.7	“Alarmes” .....	129
4.5.8	Envio de SMS.....	131
4.5.9	Controlo remoto.....	132
5.	Conclusões e propostas para trabalhos futuros.....	137
5.1	Conclusões .....	137
5.2	Trabalhos futuros .....	138
	Referências .....	141



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Constituição geral da Célula .....	2
Figura 2.1: Estrutura do conceito CIM- <i>Computer Integrated Manufacturing</i> [16]. .....	7
Figura 2.2: Métodos de armazenamento do programa NC [9] e [10]. .....	9
Figura 2.3: Elementos básicos de um sistema NC, adaptado de [2]. .....	10
Figura 2.4: Tipos de controlo numérico computadorizado, adaptado de [3]. .....	12
Figura 2.5: Tipos de máquinas NC constituídas somente por eixos principais, adaptado de [2]. .....	12
Figura 2.6: Máquinas com 5 (esquerda) e 6 eixos (direita), adaptado de [2]. .....	13
Figura 2.7: várias operações de máquinas CNC, adaptado de [8]. .....	13
Figura 2.8: Desenho da peça a criar, adquirido através do <i>Mastercam</i> . .....	17
Figura 2.9: Simulação CAM e simulação CAD de uma peça de trabalho desenvolvida a partir do software <i>Mastercam</i> . .....	18
Figura 2.10: Sequência CAD/CAM/CNC, adaptado de [15]. .....	18
Figura 2.11. Níveis de Flexibilidade, adaptado de [37]. .....	20
Figura 2.12: Configuração em linha [3] e [36]. .....	23
Figura 2.13: Configurações em malha fechada [3] e [36]. .....	23
Figura 2.14: Configuração <i>ladder</i> [3] e [36]. .....	24
Figura 2.15: Configuração <i>open field</i> [3] e [36]. .....	24
Figura 2.16: Configuração robô ao centro [3] e [36]. .....	25
Figura 2.17: Exemplo de um SFF [39]. .....	28
Figura 2.18: Sistema de Visão Artificial aplicado num processo industrial [40]. .....	30
Figura 3.1: Esquema da célula fléxivel de fabrico [2]. .....	32
Figura 3.2: Setor de Fabrico da CFF. .....	32
Figura 3.3: Fresadora CNC presente no setor de fabrico. .....	33
Figura 3.4: Torno presente no setor de fabrico. .....	34
Figura 3.5: Aspetos importantes a considerar num robô [2]. .....	34
Figura 3.6: Elementos de um robô manipulador industrial, adaptado de [2]. .....	35
Figura 3.7: Robô presente no setor de fabrico [41]. .....	36
Figura 3.8: Controlador S4C [42]. .....	37
Figura 3.9: Consola Portátil do robô [42]. .....	37
Figura 3.10: Ferramenta do robô ABB IRB140 ( <i>gripper</i> ) .....	38
Figura 3.11: Sensores indutivos presentes na ferramenta do robô. .....	38
Figura 3.12: <i>Buffer</i> para colocar a MP e os PA. .....	39
Figura 3.13: Setor do Armazém. .....	40
Figura 3.14: Rampa para colocar os produtos acabados. .....	40
Figura 3.15: Robô presente no setor do armazém [43] e [44]. .....	41
Figura 3.16: Ferramenta de trabalho com sensores de fibra ótica. .....	42

Figura 3.17: Setor do Transportador.....	43
Figura 3.18: Tipos de paletes presente no setor do transportador.....	44
Figura 3.19: Peças metálicas.....	44
Figura 3.20: Sensores indutivos presentes nos setores de fabrico e do armazém.....	45
Figura 3.21: <i>Stoppers</i> auxiliares.....	45
Figura 3.22: Sistema de sinalização e controlo implementado na CFF.....	46
Figura 3.23: Sistema de segurança implementado na CFF.....	47
Figura 3.24: Interface de comunicação do PLC.....	48
Figura 3.25: PLC instalado na célula.....	49
Figura 3.26: <i>Raspberry Pi 3</i> [45].....	50
Figura 3.27: Esquema de ligação entre os equipamentos envolvidos.....	50
Figura 3.28: Suporte para a câmara.....	51
Figura 3.29: <i>Router</i> da TP-LINK.....	52
Figura 3.30: Câmaras instaladas na célula.....	52
Figura 3.31: <i>Arduíno Due</i> [46].....	53
Figura 3.32: Módulo GSM SIM808.....	54
Figura 4.1: Comunicação entre os diversos equipamentos.....	55
Figura 4.2: Fluxograma do programa “StArmazem1.prg”.....	58
Figura 4.3: Fluxograma da rotina “rTrapStop”.....	59
Figura 4.4: Mensagens apresentadas na consola quando o operador pressiona o botão Stop e posteriormente o botão Ok para retomar o processo.....	59
Figura 4.5: Fluxograma da rotina “rInterrup”.....	60
Figura 4.6: Exemplo do ficheiro “InterrupcoesSA.txt”.....	60
Figura 4.7: Fluxograma da rotina “rCarregaPaleteMP”.....	61
Figura 4.8: Acção da rotina “rIr_Armazem”.....	62
Figura 4.9: Acção das rotinas para largar peças nas paletes MP.....	62
Figura 4.10: Robô no ponto “nVerPeca”.....	63
Figura 4.11: Fluxograma das rotinas “rPaletesMP” e “rPaletesMPF”.....	63
Figura 4.12: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesAMPT.txt”.....	64
Figura 4.13: Fluxograma das rotinas “rDescarregaPAT1” e “rDescarregaPAF1”.....	65
Figura 4.14: Tarefa de descarregamento da Paleta PA Fresa.....	66
Figura 4.15: Fluxograma das rotinas “rPaletesPAT” e “rPaletesPAF”.....	67
Figura 4.16: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesAPAT.txt”.....	67
Figura 4.17: Fluxograma do programa “AlarmeCFF.prg”.....	69
Figura 4.18: Mensagens apresentadas na Consola numa situação de alarme neste setor.....	69
Figura 4.19: Fluxograma da rotina “rAlarmeCFF”.....	70
Figura 4.20: Exemplo do ficheiro “AlarmeSA.txt”.....	70
Figura 4.21: Fluxograma das rotinas executadas na rotina principal do programa.....	73
Figura 4.22: Fluxograma da rotina “rTrapEmergência”.....	74
Figura 4.23: Mensagens que aparecem na consola quando é ativada a rotina <i>trap</i> Emergência.....	75

Figura 4.24: Fluxograma da rotina “rTrapMaquinas”.....	76
Figura 4.25: Mensagens apresentadas quando ocorre algum alarme nas máquinas.....	76
Figura 4.26: Fluxograma da rotina “rTrapMaquinas2”.....	77
Figura 4.27: Fluxograma da rotina “rTrapManutencao”.....	78
Figura 4.28: Menu de escolha das máquinas que o operador quer colocar em manutenção....	78
Figura 4.29: Fresa em Manutenção. ....	79
Figura 4.30: Mensagem de Fim de Manutenção. ....	79
Figura 4.31: Fluxograma das rotinas “rDesPaleteMP1” e “rDesPaleteMP2”.....	80
Figura 4.32: Robô no ponto “pTiraFoto”. ....	81
Figura 4.33: Fluxograma das rotinas “rDesPaleteMPF1” e “rDesPaleteMPF2”.....	81
Figura 4.34: Descarregamento da Palete MP Fresa.....	82
Figura 4.35: Fluxograma das rotinas que são executadas na rotina principal do programa....	83
Figura 4.36: Fluxograma das rotinas “rCarregaT1” e “rCarregaT2”. ....	84
Figura 4.37: Fluxograma das rotinas “rDescarregaT1” e “rDescarregaT2”.....	85
Figura 4.38: Operações do robô com o Torno CNC. ....	86
Figura 4.39: Fluxograma das rotinas executadas na rotina principal do programa.....	87
Figura 4.40: Fluxograma das rotinas “rCarregaF1” e “rCarregaF2”.....	88
Figura 4.41: Fluxograma das rotinas “rDescarregaF1” e “rDescarregaF2”. ....	89
Figura 4.42: Operações do robô com a Fresa CNC.....	89
Figura 4.43: Fluxograma das rotinas “rCarPaletePAT1” e “rCarPaletePAT2”. ....	91
Figura 4.44: Fluxograma das rotinas “rCarPaletePAF1” e “rCarPaletePAF2”.....	92
Figura 4.45: Execução das rotinas responsáveis por criar os vários ficheiros. ....	93
Figura 4.46: Fluxograma da rotina “rWriteFileProd”. ....	94
Figura 4.47: Exemplo do ficheiro de texto “TemposdeCicloT.txt”. ....	94
Figura 4.48: Fluxograma da rotina “rRegPecasBuff”. ....	95
Figura 4.49: Exemplo do ficheiro “RegistaPecasT.txt”. ....	95
Figura 4.50: Fluxograma da rotina “rPaletesMP”. ....	96
Figura 4.51: Exemplo do ficheiro de texto “RegistaPaletesMP.txt”. ....	96
Figura 4.52: Fluxograma da rotina “rPaletesPA”. ....	97
Figura 4.53: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesPAT.txt”.....	97
Figura 4.54: Fluxograma da rotina “rRegistaTorno”.....	98
Figura 4.55: Exemplo do Ficheiro “RegistaTorno.txt”. ....	98
Figura 4.56: Execução das rotinas responsáveis por criar os ficheiros. ....	99
Figura 4.57: Fluxograma da rotina “rWriteFileProdF”. ....	99
Figura 4.58: Exemplo do ficheiro “TemposdeCicloF.txt”. ....	100
Figura 4.59: Fluxograma da rotina “rRegPecasBuffF”. ....	100
Figura 4.60: Exemplo do ficheiro “RegistaPecasF.txt”.....	101
Figura 4.61: Fluxograma da rotina “rPaletesMPF”. ....	101
Figura 4.62: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesMPF.txt”.....	102
Figura 4.63: Fluxograma da rotina “rRegistaPaletesPAF”.....	102
Figura 4.64: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesPAF.txt”. ....	102

Figura 4.65: Fluxograma da rotina “rRegistaFresa”.	103
Figura 4.66: Exemplo do ficheiro de texto “RegistaFresa.txt”.	103
Figura 4.67: Fluxograma do programa “AlarmeCFF3.prg”.	105
Figura 4.68: Mensagens apresentadas na consola quando ocorre algum alarme de invasão.	105
Figura 4.69: Fluxograma da rotina “rAlarmesCFF”.	106
Figura 4.70: Exemplo do ficheiro “AlarmesCFF.txt”.	106
Figura 4.71: Estrutura do controlo da CFF.	107
Figura 4.72: Fluxograma das tarefas do setor do armazém para as paletes MP.	108
Figura 4.73: Fluxograma das tarefas do setor do armazém para as paletes PA.	109
Figura 4.74: Fluxograma das paletes MP carregadas.	109
Figura 4.75: Fluxograma das paletes PA descarregadas.	110
Figura 4.76: Fluxograma da unidade de controlo do setor do armazém.	111
Figura 4.77: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes MP.	112
Figura 4.78: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes PA.	113
Figura 4.79: Fluxograma para as paletes MP descarregadas.	114
Figura 4.80: Fluxograma para as paletes PA carregadas.	114
Figura 4.81: Fluxograma para as paletes PA em situação anómala.	115
Figura 4.82: Fluxograma da unidade de controlo do setor de fabrico.	116
Figura 4.83: Interligação entre o sistema de visão e os vários equipamentos.	117
Figura 4.84: Programa da visão artificial.	118
Figura 4.85: Palete MP Fresa com duas peças.	119
Figura 4.86: várias situações da palete MP Fresa.	119
Figura 4.87: Esquema do circuito elétrico.	120
Figura 4.88: Página Inicial da página <i>web</i> da CFF.	124
Figura 4.89: Menu “Stream”, onde é possível visualizar a CFF.	125
Figura 4.90: Menu “Setor de Fabrico”.	126
Figura 4.91: Submenu “PaletesMP”, mostrando no display o ficheiro “RegistaPaletesMPT.txt”.	127
Figura 4.92: Mensagem de sucesso após envio do correio eletrónico.	128
Figura 4.93: Correio eletrónico com em anexo o ficheiro de texto “RegistaPaletesMPT.txt”.	128
Figura 4.94: Menu “Setor do Armazém”.	128
Figura 4.95: Opção “PaletesPA”, mostrando no display o ficheiro “RegistaPaletesAPAT.txt”.	129
Figura 4.96: Opção “Alarmes”.	129
Figura 4.97: Menu Armazém mostrando no Display o ficheiro “AlarmesSA.txt”.	130
Figura 4.98: Mensagens de correio eletrónico recebidas após o alarme ser acionado e posteriormente repostas.	131
Figura 4.99: Interligação entre o <i>Raspberry Pi</i> , Arduíno Due e o Módulo GSM.	132
Figura 4.100: Exemplo dos SMS de alarme.	132
Figura 4.101: Página do Login.	133

Figura 4.102: Menu “Comandos”.....	133
Figura 4.103: Botões de Comando disponíveis na página. ....	134
Figura 4.104: Código <i>Ladder</i> representativo dos <i>bits</i> de memória associados às saídas. ....	135



## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2-1: Valores para a velocidade de corte e de avanço [2].....	15
Quadro 2-2: Fatores de correção de velocidade de corte [2].....	15
Quadro 3-1: Outras características do robô ABB IRB140 [21] e [30].....	36
Quadro 3-2: Outras características do robô ABB IRB 1400 [22] e [30].....	41
Quadro 3-3: Combinação dos sensores para cada palete.....	44
Quadro 4-1: Entradas do controlador do robô IRB1400. ....	57
Quadro 4-2: Saídas do controlador do robô IRB1400.....	57
Quadro 4-3: Entradas do controlador do robô IRB140. ....	71
Quadro 4-4: Saídas do controlador do robô IRB140.....	71
Quadro 4-5: Interface robótica com a máquina CNC Torno. ....	72
Quadro 4-6: Interface robótica com a máquina CNC Fresa. ....	72
Quadro 4-7: Interface de comunicação, entradas do PLC.....	107
Quadro 4-8: Interface de comunicação, saídas do PLC.....	107
Quadro 4-9: Interface de comunicação entre o servidor e o Gestor da CFF. ....	123



## ABREVIATURAS E SIGLAS

AGVs	<i>Automated Guided vehiches</i> (Veículos Guiados Automaticamente)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Desenho Assistido por Computador)
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i> (Fabrico de peças Assistido por Computador)
CCF	Célula Flexível de Fabrico
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i> (Fabrico Integrado de Computadores)
CNC	<i>Computer Numerical Control</i> (Controlo Numérico Computorizado)
DEE	Departamento de Engenharia Eletrotécnica
DNC	<i>Direct Numerical Control</i> (Controlo numérico Direto)
DNC	<i>Distributed Numerical Control</i> (Controlo Numérico Distribuído)
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
FTP	<i>File Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferências de Arquivos)
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> (Entradas/Saídas de Uso Geral)
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i> (Sistema Global para Comunicações Móveis)
HMI	<i>Human Machine Interface</i> (Interface Homem-Máquina)
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i> (Linguagem de Marcação de Hipertexto)
IP	<i>Internet Protocol</i> (Protocolo da Internet)
IPV	Instituto Politécnico de Viseu
LAN	<i>Local Area Network</i> (Rede de Área Local)
MCU	<i>Machine Control Unity</i> (Unidade de Controlo da Máquina)
MP	Matéria Prima
NC	<i>Numerical Control</i> (Controlo Numérico)
PA	Produto Acabado
PLC	<i>Power Line Communication</i> (Controlador Lógico Programável)
RAPID	Linguagem de programação de robôs da ABB
SMS	<i>Short Message Service</i> (Serviço de Mensagens Curtas)
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i> (Protocolo de Transferências de Correio Simples)
SSID	<i>Service Set Identification</i> (Serviço de identificação ativo)
USB	<i>Universal Serial Bus</i> (Porta Série Universal)
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i> (Rede sem fio)



# **1. Introdução**

Neste primeiro capítulo, apresentam-se os aspetos que motivaram a elaboração desta Dissertação de Mestrado, um pequeno enquadramento do trabalho a realizar, os objetivos de estudo e, por fim, um resumo dos conteúdos de cada um dos capítulos deste trabalho.

## **1.1 Motivação**

Para as empresas serem competitivas, os seus processos produtivos têm que ser flexíveis, de tal forma a poderem ter uma capacidade de resposta à variedade de produtos requeridos pelo mercado em que se encontram. Deste modo, para responder à necessidade dos clientes, e para melhorar o desempenho das empresas, surgiram os sistemas de automação e robotização industrial, nomeadamente os Sistemas Flexíveis de Fabrico (SFF).

Atualmente, estes sistemas podem ser constituídos por vários equipamentos, de um ou mais fabricantes, tais como: robôs industriais, máquinas CNC, PLCs, sistemas de visão computadorizados, entre outros. Estes sistemas procuram integrar todos estes equipamentos para que no final trabalhem todos juntos. Por outras palavras, para que todos os setores presentes numa indústria, como por exemplo: o setor de armazenamento de matéria prima, o setor de fabrico e montagem das peças, o setor de armazenamento dos produtos acabados entre outros, possam trabalhar todos num só, sem a intervenção do operador.

Em suma, para o bom desempenho numa empresa, é muito importante a forma como são geridos todos estes processos. Ou seja, é importante gerir da melhor forma todos os setores inclusive os de fabrico, para que os produtos finais tenham sido maquinados com qualidade e no menor tempo possível. Nesse sentido, o trabalho proposto pretende estudar e melhorar o setor de fabrico da CFF do laboratório de Automação e Robótica tornando-o mais eficiente. Deste modo, serão controlados, integrados e monitorizados todos os equipamentos da célula dando mais ênfase aos que estão presentes no setor de fabrico.

## 1.2 Enquadramento

A célula que será usada como base neste trabalho, enquadra-se num dos modelos de CFF que podem existir numa indústria. Esta é constituída por quatro setores: do armazém (permitindo o armazenamento de matéria prima (MP) e produtos acabados (PA)), de fabrico (possibilitando a maquinação das peças), de transporte (permitindo o transporte de peças, através de paletes, entre os vários setores) e o de montagem de peças (possibilitando a montagem de várias peças). A Figura 1.1 mostra a constituição de cada setor.

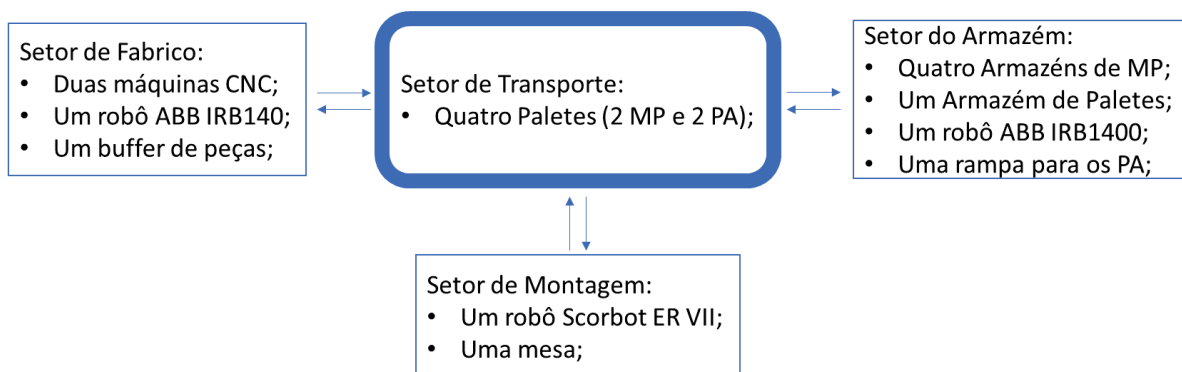


Figura 1.1: Constituição geral da Célula

Apesar de a célula ser constituída por quatro setores, neste projeto só foram utilizados três (do armazém, de fabrico e de transporte) dando mais importância ao setor de fabrico melhorando o seu desempenho.

Todos estes setores comunicam entre si através de um autómato (PLC), sendo este responsável por gerir toda a informação da Célula. Este envia e recebe informação proveniente de todos os setores, permitindo que estes trabalhem de forma autónoma sem intervenção humana. A constituição da célula e o PLC serão explicados mais pormenorizadamente no Capítulo 3.

### 1.3 Objetivos

Como referido no ponto anterior, o principal objetivo deste projeto será controlar, integrar e monitorizar os equipamentos que fazem parte da CFF presente no laboratório de Automação da ESTGV, mais detalhadamente os equipamentos do setor de fabrico melhorando o seu desempenho. Por um lado, no setor de fabrico, o robô presente neste setor deverá efetuar a carga e descarga das máquinas CNC. Quando necessitar de matéria prima (MP) terá de descarregar as paletes de MP e após estas serem maquinadas, deverá carregar as paletes dos produtos acabados (PA). Por outro lado, no setor do armazém, o robô presente neste setor terá de realizar as tarefas de carga e descarga das paletes de MP e PA, respetivamente. Adicionalmente, todo este processo deverá ser realizado de forma a que seja o mais rentável possível e que todos os equipamentos presentes nos vários setores funcionem de forma autónoma, ou seja, sem a intervenção humana. De forma a alcançar este objetivo, foram necessárias as seguintes tarefas:

- Conceber um sistema de controlo e monitorização de todos os equipamentos presentes neste setor de produção;
- Desenvolver aplicações que possibilitem a exploração remota dos robôs e das máquinas CNC;
- Desenvolvimento de software de controlo para os robôs e máquinas CNC de forma mais fácil, barata e flexível;
- Permitir o aproveitamento das potencialidades dos sistemas de controlo que equipam os equipamentos;
- A integração e controlo de diversos equipamentos de diferentes fabricantes em setores de fabrico, como por exemplo: transportadores, robôs, máquinas CNC, entre outros.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

Este projeto encontra-se estruturado em cinco capítulos onde é descrito o trabalho desenvolvido.

No primeiro capítulo são apresentadas as motivações para a realização desta dissertação, um pequeno enquadramento do projeto a realizar e os objetivos pretendidos.

No segundo capítulo é apresentada uma abordagem aos sistemas flexíveis de fabrico, aos sistemas de controlo numérico, ao sistema de desenho e fabrico assistido por um computador (CAD/CAM) e aos sistemas de visão artificial.

No terceiro capítulo é apresentado uma breve descrição da célula flexível de fabrico presente no laboratório e também do trabalho elaborado para a solução do problema.

No quarto capítulo são apresentados os algoritmos desenvolvidos, para os diferentes equipamentos utilizados, como solução ao problema proposto e o respetivo funcionamento de todos eles incluindo o sistema de visão artificial e a página *web*.

No quinto capítulo é apresentada uma conclusão de todo o trabalho elaborado e acompanhada com uma lista de propostas para futuros projetos com vista à melhoria da CFF.

## **2. Estado da Arte**

### **2.1 Introdução**

Desde a antiguidade, o homem tem vindo a desenvolver tecnologias com o propósito de satisfazer as suas necessidades. Inicialmente a preocupação era deixar de realizar tarefas que envolvessem um enorme esforço físico, por parte do ser humano, como por exemplo: o transporte de matérias pesadas. Nas últimas décadas a tecnologia evoluiu de uma forma significativa em todas as áreas, incluindo a educação, a indústria, a restauração, entre outras, levando a que atualmente o homem não consiga viver sem ela. Desde então tem-se notado um crescente interesse pelas áreas de automação industrial e da robótica, de forma a melhorar a produtividade, qualidade e flexibilidade e por outro lado as condições de segurança dos operadores levando diversas empresas a investir neste campo.

O início da era da automação industrial remonta ao século XVIII, numa altura em que as máquinas dedicadas começavam a fazer parte do processo produtivo das indústrias. O desenvolvimento das técnicas de produção veio criar novas necessidades, sendo estas possíveis de satisfazer só com máquinas programáveis e flexíveis. No final da década de setenta, com base na experiência existente no campo dos manipuladores e com o surgimento das máquinas de controlo numérico, George Devol criou o primeiro robô industrial. Desde dessa época até aos dias de hoje que a robótica tem vindo a afirmar-se como uma ciência autónoma, de carácter multidisciplinar, penetrando em áreas tradicionalmente ligadas às engenharias mecânica, eletrotécnica, informática entre outras e com a interligação de máquinas CNC e de sistemas de transporte fazem parte integrante dos sistemas de fabrico das empresas [1].

## 2.2 Evolução dos processos de fabrico

No início, os sistemas de produção industriais eram caracterizados por uma elevada mão de obra não qualificada e no qual não havia nem coordenação nem cooperação entre operadores. No começo do século XX os processos de fabrico foram evoluindo aparecendo as primeiras especializações neste setor.

Essa evolução levou ao aparecimento de pequenas zonas com operações automatizadas, nas quais, o ser humano era essencial para integrar e sincronizar todas essas operações. No entanto, este tipo de setores levava ainda a um número significativo de trabalhadores e os seus *layouts* não eram otimizados. Com o aumento da competitividade no mercado, surgiu a necessidade de reduzir os custos e aumentar o nível de desempenho, e, com o desenvolvimento da automatização de processos, caminhou-se para setores com automatização centralizada, em que toda a informação era processada num único local, e onde eram tomadas todas as decisões melhorando assim os *layouts* e reduzindo na despesa com recursos humanos, apesar de ainda assim existir um elevado *stock* de produtos.

Após a década de 70, com o desenvolvimento e o surgimento dos microprocessadores as funções de condução dos processos foram sendo cada vez mais distribuídas pelo terreno e junto dos locais onde são necessárias, surgindo o que é atualmente designado por arquiteturas distribuídas ou por **sistemas de controlo hierárquico distribuído**.

Este tipo de arquiteturas proporcionou uma grande versatilidade, com sistemas de produção cada vez mais flexíveis oferecendo uma resposta rápida aos pedidos dos clientes. As empresas começaram a implementar máquinas de controlo numérico, robôs industriais, tapetes rolantes de forma a aumentar a produtividade e a qualidade. Apesar deste tipo de arquitetura, levar a uma redução do número de trabalhadores (passando o trabalho a ser executado por máquinas), implementação e uso de novos equipamentos levou à necessidade de contratação de novos trabalhadores (com maiores qualificações) [4].

Posteriormente aumentou, por parte dos proprietários, a preocupação pela saúde e o bem-estar dos trabalhadores, levando à implementação de medidas de segurança e aumentando a qualidade das estações de trabalho. Por outro lado, houve uma preocupação de colocar sistemas automatizados e robotizados para realizar tarefas em que se exigia um grande esforço físico do trabalhador, e levando-os a realizar tarefas mais simples e tarefas de controlo destes sistemas [1] e [31].

## 2.3 Sistema de Controlo Hierárquico Distribuído

Como referido na secção anterior, as arquiteturas de controlo moderno são baseadas no conceito de Sistema de Controlo Hierárquico distribuído. Nestas arquiteturas as ações de controlo são efetuadas pela junção de máquinas de poder de decisão, geograficamente distribuídas, perfeitamente autónomas e autocontidas, que, pela junção de esforços, trabalham para a implementação da tarefa de controlo global. Nos dias de hoje existe a filosofia CIM que constitui o expoente máximo do desenvolvimento desta área.

### 2.3.1 Descrição sobre a filosofia CIM

Uma organização com uma estrutura hierarquizada, como a estrutura Computer Integrated Manufacturing (CIM) apresentada na Figura 2.1, permite uma troca de informação entre os vários níveis do sistema de produção de modo a que os sistemas de fabrico sejam os mais produtivos e eficientes [16].



Figura 2.1: Estrutura do conceito CIM- *Computer Integrated Manufacturing* [16].

Esta filosofia refere-se a uma completa automatização da fábrica, na qual todos os processos e atividades da empresa (vendas, compras, planeamento, administração, finanças e produção) são controlados por computadores, existindo, em permanente circulação, uma grande quantidade de informação proveniente de todos os setores da empresa. Sendo o principal objetivo melhorar a eficiência organizacional, pessoal e da produção. Alguns dos processos envolvidos numa empresa com recurso a esta filosofia são [3] e [32]:

- **Projeto assistido por computador:** Tem como objetivo criar o desenho da peça, com todas as operações e ferramentas necessárias;
- **Planeamento de Produção:** A sua finalidade é encomendar os materiais necessários para a produção bem como o carregamento de cada peça;
- **Programação:** Permite a programação das máquinas CNC e sistemas de manipulação de materiais como por exemplo (robôs manipuladores ou AGVs);
- **Planeamento do processo:** Reside na elaboração de um plano que descreve todas as operações de acordo com uma sequência com o fim de minimizar o custo, as máquinas e as ferramentas necessárias;
- **Processamento:** Traduz a parte do sistema de produção responsável pela maquinação das matérias primas em peças;
- **Montagem de produtos com ajuda de robôs:** Baseia-se na montagem das peças depois de serem processadas com o auxílio de robôs manipuladores de forma a criarem o produto final;
- **Manutenção:** Permite a monitorização das máquinas com recurso a computadores;
- **Controlo de qualidade:** Reside na monitorização de todas as operações existentes no sistema de fabrico e assegura o bom funcionamento de todos os equipamentos;
- **Inspeção:** Tem como finalidade verificar se os produtos acabados estão de acordo com as características estabelecidas na fase planeamento e de engenharia, ou seja, de acordo com o projeto elaborado;
- **Armazenamento e transporte de materiais:** Consiste na deslocação das peças para as diferentes estações de trabalho e pelo armazenamento das matérias-primas e do produto final.

Para estes processos envolvidos no sistema de fabrico, esta filosofia combina várias tecnologias, como o desenho assistido por computador (CAD), fabrico assistido por computador (CAM), engenharia assistida por computador (CAE), planeamento e controlo de produção (PPC), controlo de qualidade computadorizado (CAQ) e planeamento do processo assistido por computador (CAPP) para fornecer um processo de fabrico com maior qualidade e maior desempenho. Esta abordagem aumenta a velocidade do processo de produção e usa sensores em tempo real e processos de controlo em circuito fechado (com realimentação) para automatizar o processo de fabrico [33].

## 2.4 Controlo numérico

O controlo numérico (CN) é um método de controlo dos movimentos (ex: posição, velocidade e aceleração) de máquinas ou de outros equipamentos a partir de um programa codificado na forma de números e letras. O sistema interpreta os dados e gera o sinal de saída que controla os componentes da máquina.

O primeiro protótipo da máquina NC foi desenvolvido em Massachusetts, EUA, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). O programa utilizado na época era armazenado numa fita magnética ou num cartão perfurado como está apresentado na Figura 2.2 [1].

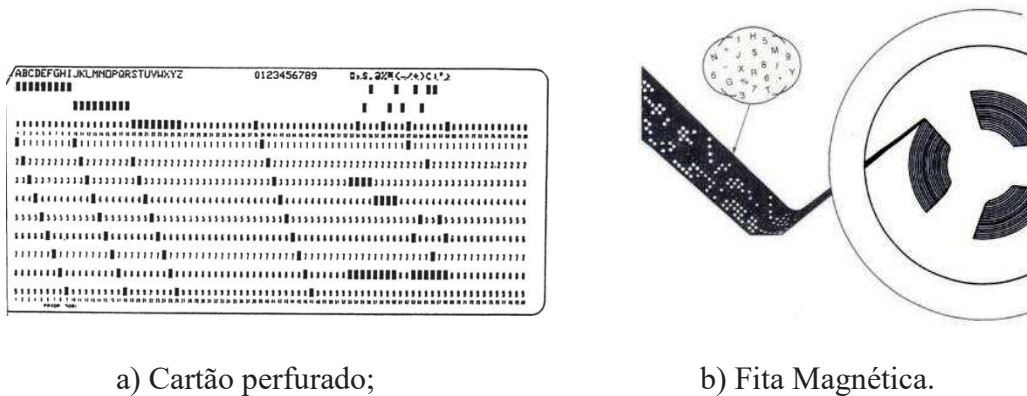


Figura 2.2: Métodos de armazenamento do programa NC [9] e [10].

### 2.4.1 Elementos do Controlo Numérico

Num sistema NC existem três elementos importantes: o programa de instruções, a unidade de controlo da máquina (MCU) e a máquina ferramenta. Na Figura 2.3 está apresentado um esquema com esses três elementos.

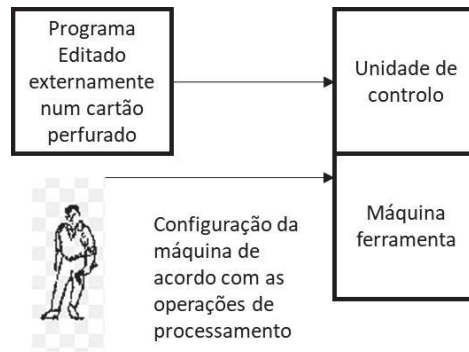


Figura 2.3: Elementos básicos de um sistema NC, adaptado de [2].

O programa de instruções como o nome indica fornece as instruções aos computadores para executar determinadas funções. Este programa de instruções contém todos os passos que a máquina tem que realizar, como por exemplo: trocar de ferramenta, realizar diferentes operações de maquinação. Este conjunto de ações é codificado de forma numérica e programada num determinado meio de forma a que a unidade de controlo possa interpretar.

As instruções são escritas por um técnico que possui conhecimento na programação bem como na maquinação. Estas instruções também podem ser inseridas diretamente na MCU manualmente, que geralmente é usado para operações simples.

A unidade de controlo é a parte mais importante das máquinas. É composta por componentes eletrónicos e é responsável pela interpretação das instruções e pela sua conversão em ações mecânicas da máquina-ferramenta. Assim a MCU faz a ligação entre o programa e a máquina. O controlador envia as instruções para a máquina através sinais de tensão ou corrente aos servomotores da máquina. Tem por outro lado canais de entrada que estão ligadas a sensores que verificam se as instruções foram executadas corretamente.

A máquina ferramenta é a que executa as operações mecânicas nas peças de trabalho. Pode ser um torno, uma fresadora, uma furadora, entre outras. Estes equipamentos transformam a matéria-prima num produto final de acordo com as instruções provenientes do programa. A máquina NC tem também uma consola que permite o operador usar a máquina manualmente. Atualmente as máquinas possuem microcomputadores e são designadas de máquinas CNC [3] e [7].

## 2.5 Controlo Numérico Computorizado (CNC)

Com o desenvolvimento dos computadores e a introdução destes nas máquinas NC surgiu o controlo numérico computadorizado (CNC) que levou à substituição do controlo por hardware para controlo por software, permitindo assim o armazenamento do programa na memória do processador e a sua alteração quando fosse necessário.

A introdução deste tipo de controlo na indústria mudou radicalmente os processos de fabrico, permitindo um aumento da produtividade das máquinas, uma maior precisão das peças, flexibilidade, e garantiram uma maior segurança aos operários. No entanto o CNC, como todas as outras tecnologias, apresenta algumas desvantagens, tais como: um custo inicial elevado e um maior custo de manutenção [3], [7] e [18].

Atualmente as máquinas CNC podem ser encontradas em quase todas as indústrias, de pequeno a grande porte, desde indústrias químicas, automóvel, de papel, entre outras. Algumas das máquinas CNC da atualidade são:

- Máquinas ferramenta para metais;
- Máquinas para corte de tecido automáticas;
- Máquinas de bordar automáticas;
- Máquinas de medição de coordenadas;
- Máquinas de corte por laser;
- Centros de furação;
- Etc.

Após o aparecimento do CNC, foram desenvolvidos dois sistemas derivados: controlo numérico direto (DNC- *Direct Numerical Control*) e controlo numérico distribuído (DNC- *Distruted Numerical Control*). No DNC-direto apresenta um único computador central controla as várias máquinas como ilustrado na Figura 2.4 a) e no DNC-distribuído cada máquina é equipada com o seu próprio processador como ilustrado na Figura 2.4 b). O DNC foi redefinido e, atualmente, significa controlo numérico distribuído, onde um computador central controla várias máquinas equipadas com computador, este sistema permite mais capacidade de memória e processamento e oferece uma maior flexibilidade. Os programas de maquinação, utilizados pelas máquinas CNC, podem ser obtidos pela ajuda do software CAD/CAM [2] e [3].

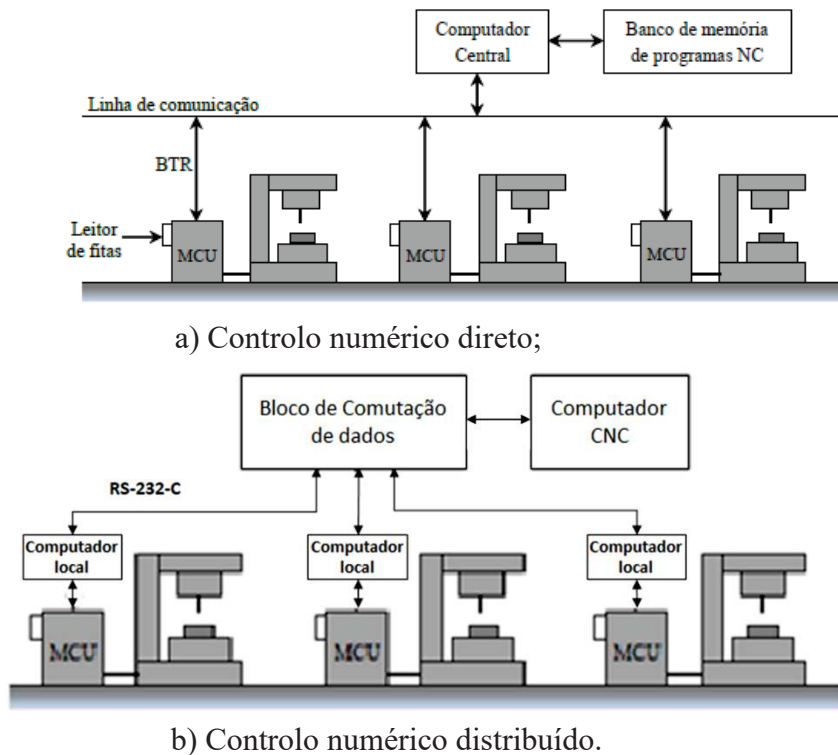
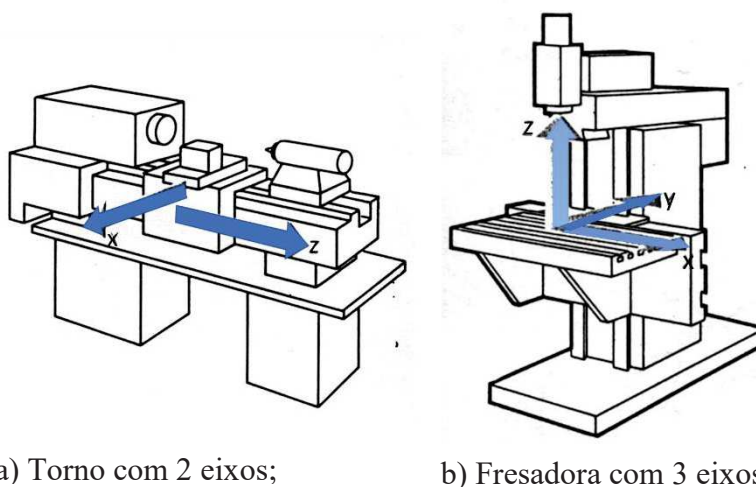


Figura 2.4: Tipos de controle numérico computadorizado, adaptado de [3].

### 2.5.1 Aplicações das máquinas NC e CNC

Normalmente as máquinas NC/CNC são caracterizadas pela sua funcionalidade e pelos eixos de operação e consoante estas características podem ser aplicadas a várias funcionalidades. Tipicamente, contêm um suporte onde é colocada a peça para posteriormente ser trabalhada. Estas máquinas são constituídas por 2 eixos ou 3 eixos, designados por eixos principais ou para além destes podem ter mais eixos, denominados por complementares. Na Figura 2.5 estão representadas duas máquinas NC constituídas somente por eixos principais [2].



a) Torno com 2 eixos;

b) Fresadora com 3 eixos.

Figura 2.5: Tipos de máquinas NC constituídas somente por eixos principais, adaptado de [2].

Outras máquinas NC/CNC, para além dos eixos principais contêm eixos complementares, no qual, dispõem de mesas giratórias ou cabeças orientáveis. Esses eixos sobre o qual giram essas mesas e cabeças são designados por eixos complementares de rotação. A sua rotação e velocidade são controlados de forma independente. Devido à complexidade de algumas peças a maquinar, algumas máquinas, para além destes eixos complementares de rotação, têm também eixos complementares de deslocamento. Na Figura 2.6 é ilustrado duas máquinas, uma com 5 eixos e outra com 6 eixos. As letras A e B são exemplo de eixos complementares de rotação e de deslocamento, respetivamente [35].

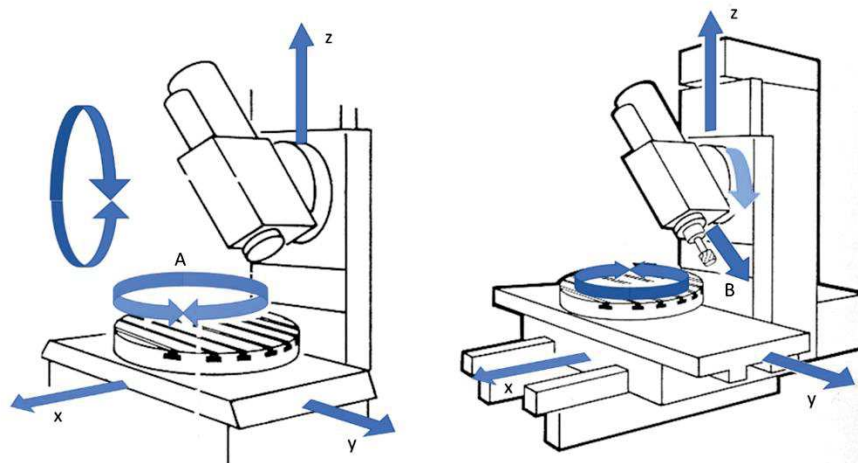


Figura 2.6: Máquinas com 5 (esquerda) e 6 eixos (direita), adaptado de [2].

De acordo com as configurações das máquinas, mais simples ou mais sofisticadas, estas permitem realizar várias operações como por exemplo de corte, de desbaste, de furação e de acabamentos. De seguida, na Figura 2.7 estão apresentadas algumas das operações realizáveis por máquinas CN/CNC [2].

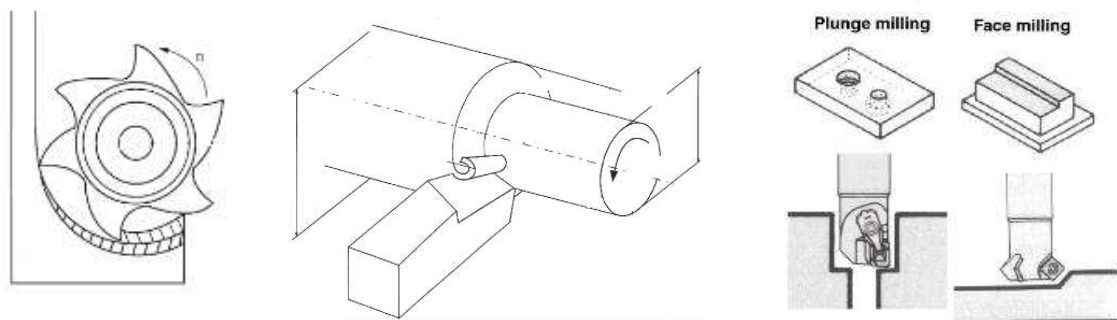


Figura 2.7: várias operações de máquinas CNC, adaptado de [8].

A furação é uma operação de maquinação que visa em abrir, ou alargar furos em peças. Os furos podem ter variadas dimensões, desde alguns milímetros até vários centímetros de diâmetro.

O desbaste é uma operação de maquinação que tem como objetivo a remoção de material de forma a uma peça obter as dimensões próximas das desejadas.

O acabamento é uma operação de maquinação destinada a obter a peça com as dimensões finais, e com todos os acabamentos necessários.

Para efetuar este tipo de operações de maquinação, deve-se determinar os parâmetros de corte necessários. Para uma determinada operação de maquinação, o operador considera principalmente os parâmetros de [2]:

- Velocidade de corte;
- Avanço.

Além desses, existem outros mais complexos e usados durante um projeto:

- Profundidade de corte;
- Área de Corte;
- Força de corte.

Para determinar esses dados de corte é importante considerar alguns aspetos: material da peça, material da ferramenta a utilizar e o tipo de operação a efetuar. Por exemplo, as operações de acabamentos são realizadas com altas velocidades de corte e com avanços pequenos. Para outro tipo de operações as condições já serão diferentes.

A velocidade de corte indica a velocidade da ferramenta para maquinar num determinado material. Vários fatores influenciam a velocidade de corte [2]:

- Tipo de material da ferramenta;
- Tipo de material a maquinar;
- Condições de refrigeração;
- Tipo de operação a realizar;
- Entre outros.

A velocidade de corte (em m/min) é determinada a partir da seguinte equação:

$$V_c = \frac{S \times \pi \times d}{1000} \quad (2.1)$$

Em que:

S= velocidade de rotações (rpm)

d= diâmetro da ferramenta (mm)

A velocidade de corte varia em função do material que se vai maquinar, selecionando no Quadro 2-1, o valor superior do intervalo para acabamentos e o valor inferior para operações de desbaste.

Quadro 2-1: Valores para a velocidade de corte e de avanço [2].

<b>Material a maquinar</b>	<b>Velocidade de Corte (V.C.) [m / min.]</b>	<b>Avanço por dente. (Fresa o Escareador) [mm / dente]</b>
<b>Alumínio</b>	<b>70-100</b>	<b>0.05-0.1</b>
<b>Latão</b>	<b>50-70</b>	<b>0.05-0.1</b>
<b>Ferro fundido</b>	<b>25-40</b>	<b>0.025-0.05</b>
<b>Açero bajo carbono</b>	<b>30-40</b>	<b>0.025-0.05</b>
<b>Acrílico</b>	<b>20-30</b>	<b>0.035-0.075</b>

A escolha da velocidade de corte adequada é importante tanto para obter uma peça final de acordo com o que pretendido como também para prolongar ao máximo a vida útil da ferramenta. No Quadro 2-2, apresentam-se os fatores de correção da velocidade de corte para apenas operações de torneamento.

Quadro 2-2: Fatores de correção de velocidade de corte [2].

<b>AVANÇO (mm / rev)</b>	<b>Factor Zf</b>	<b>PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)</b>	<b>Factor Zd</b>
<b>0.075</b>	<b>2.00</b>	<b>0.125</b>	<b>1.80</b>
<b>0.130</b>	<b>1.70</b>	<b>0.255</b>	<b>1.50</b>
<b>0.205</b>	<b>1.27</b>	<b>0.510</b>	<b>1.40</b>
<b>0.255</b>	<b>1.12</b>	<b>0.785</b>	<b>1.30</b>
<b>0.305</b>	<b>1.00</b>	<b>1.580</b>	<b>1.15</b>
<b>0.455</b>	<b>0.78</b>	<b>3.175</b>	<b>1.00</b>
<b>0.510</b>	<b>0.74</b>	<b>3.810</b>	<b>0.96</b>
<b>0.560</b>	<b>0.70</b>	<b>5.085</b>	<b>0.91</b>
<b>0.635</b>	<b>0.64</b>	<b>6.350</b>	<b>0.87</b>
<b>0.710</b>	<b>0.61</b>	<b>7.665</b>	<b>0.83</b>
<b>0.765</b>	<b>0.58</b>	<b>9.530</b>	<b>0.80</b>
<b>0.915</b>	<b>0.52</b>	<b>12.700</b>	<b>0.76</b>
<b>1.020</b>	<b>0.48</b>	<b>15.885</b>	<b>0.72</b>
<b>1.270</b>	<b>0.42</b>	<b>19.100</b>	<b>0.70</b>
<b>1.525</b>	<b>0.38</b>	<b>25.400</b>	<b>0.66</b>

A velocidade de corte corrigida pelas variações na profundidade de corte e pelos avanços, é calculada recorrendo à seguinte equação:

$$Cz = Cs \times Zf \times Zd \quad (2.2)$$

Em que:

$Cz$  é a velocidade de corte corrigida;

$Cs$  é a velocidade de corte normal;

$Zf$  é o fator de correção por variações do avanço;

$Zd$  é o fator de correção por variações na profundidade de corte.

### **Velocidade de Avanço (*feed rate*)**

Depois de se estabelecer a velocidade de corte, o operador deve compatibilizá-la com o avanço da ferramenta. A velocidade do avanço traduz a velocidade de deslocamento lateral da ferramenta ao longo da peça de trabalho, ou seja, é a velocidade da ferramenta contra a peça de trabalho e é normalmente representada em (mm/min). Esta velocidade é determinada a partir da seguinte equação:

$$F = f \times z \times S \quad (2.3)$$

Em que:

$F$  é a velocidade de avanço em (mm/min);

$f$  é o avanço por dente (mm/dente);

$z$  é o número de dentes da ferramenta;

$S$  é a velocidade de rotação (rpm).

O fundamental na maquinação, é a ferramenta apresentar uma dureza superior à do material a maquinar. Assim, usando a ferramenta de corte adequada e os parâmetros certos não haverá erros na maquinação das peças [2] e [35].

## **2.5.2 CAD/CAM**

Atualmente, os sistemas CAD e CAM são os meios mais utilizados para a elaboração de programas CNC. Tais sistemas permitem realizar, recorrendo a um computador, o desenho das peças a maquinar, sendo um dos aspetos mais importantes nos processos de produção. O CAD/CAM é uma tecnologia que através de um software permite criar e simular uma peça reduzindo o tempo de projeto e aumentando a rapidez de informação para as unidades de fabrico.

### 2.5.2.1 CAD

O CAD é a parte do software em que é utilizado para a criação, modificação, alteração e análise de um desenho de objetos ou produtos (ex: pontos, retas, arcos, letras, etc). Os modelos geométricos produzidos no CAD são apresentados num monitor com uma representação bidimensional ou tridimensional permitindo que o projetista verifique o objeto criado [2]. Na Figura 2.8 é apresentado um exemplo de uma peça desenhada através da ferramenta *Mastercam*.

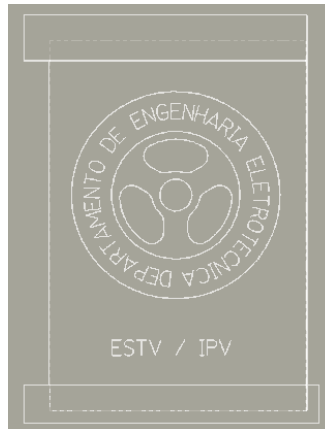


Figura 2.8: Desenho da peça a criar, adquirido através do *Mastercam*.

O CAD tem alguns benefícios tais como: uma maior produtividade devido ao tempo reduzido de desenho; uma maior qualidade do produto, pois, pode-se realizar rapidamente alterações. Outra vantagem é que possibilita o envio dos dados para uma base de dados que possa ser concebida para guardar todos os desenhos realizados [15].

### 2.5.2.2 CAM

O fabrico de peças assistido por computador é a parte do software utilizado para definir as ferramentas e os percursos a partir dos desenhos provenientes do CAD. O CAM é muito importante pois permite a deteção de anomalias que eventualmente possam acontecer durante a realização da peça na máquina. Para efetuar estes testes o software utiliza métodos gráficos computacionais para simular o processo de maquinação. Estes testes permitem a redução de erros de programação [2]. A Figura 2.9 mostra a simulação dos percursos das ferramentas usadas na maquinação e o aspeto final da peça.

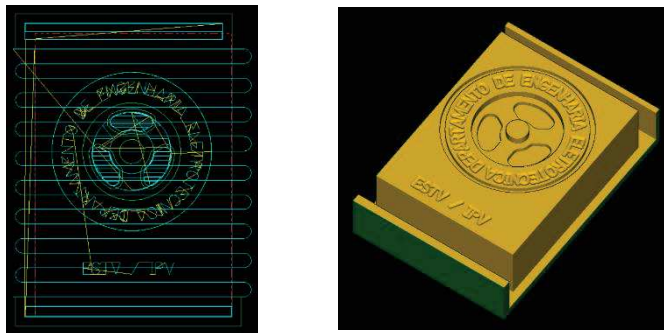


Figura 2.9: Simulação CAM e simulação CAD de uma peça de trabalho desenvolvida a partir do software *Mastercam*.

O CAM possibilita a criação de peças muito complexas com uma maior facilidade de programação em relação ao CNC.

### 2.5.2.3 CAD/ CAM/CNC

A sequência CAD/CAM/CNC é o processo envolvido no fabrico de um produto, desde a elaboração do desenho até à execução da peça na CNC. Visto que a CNC é incapaz de ler desenhos, o CAM é responsável pelo pós-processamento e é responsável por criar um ficheiro NC que é transferido para a máquina. O ficheiro é armazenado no controlador da máquina e cada instrução é convertida numa ação mecânica na ferramenta da máquina [2]. A Figura 2.10 apresenta a sequência do processo total do fabrico de uma peça [15].

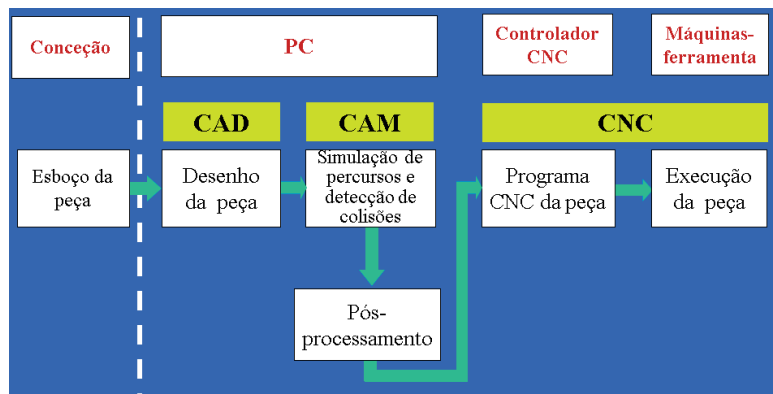


Figura 2.10: Sequência CAD/CAM/CNC, adaptado de [15].

Apesar de acarretar alguns problemas e de não ser utilizado com tanta frequência como as máquinas CNC, o CAD/CAM pode ser utilizado também para robôs industriais, com ferramentas próprias para a maquinação de peças. Na parte do CAM, o programa é convertido através de um pós-processador específico de cada fabricante dos robôs que se estão a utilizar. Este sistema apresenta desvantagens comparado com a aplicação deste sistema nas CNC tais como, requer a calibração do robô, vibrações e deformações associadas à sua baixa rigidez e a dificuldade de programação de percursos de maquinação [28].

## 2.6 Células Flexíveis de Fabrico

Um dos mais recentes desenvolvimentos na área de automação industrial é o conceito de célula flexível de fabrico (CFF). Uma CFF é um sistema automatizado, constituído por vários equipamentos que estão normalmente ligados através de uma rede local (LAN).

A grande vantagem deste tipo de sistemas é a sua flexibilidade, isto é, a sua adaptabilidade a novas exigências de produção que se traduzem num produto com pequenas alterações até um produto completamente novo. Esta vantagem destes sistemas resulta do facto de serem constituídos por sistemas programáveis e facilmente reconfiguráveis como é o caso de robôs, máquinas CNC, sistemas de visão (câmaras), entre outros.

### 2.6.1 Flexibilidade de uma célula flexível de fabrico

Um sistema automatizado para ser considerado de flexível deve satisfazer os seguintes critérios: velocidade, capacidade de reagir e capacidade de produção. Por outras palavras um sistema para ser considerado flexível deve satisfazer os seguintes critérios [3]:

- **Teste de variedade de peças.** O sistema pode processar diferentes tipos de peças sem ser em modo de lote;
- **Teste de mudanças de programação.** O sistema deve aceitar mudanças de programação da produção e mudanças na quantidade de produção;
- **Teste de identificação e recuperação de erros.** O sistema tem que recuperar eficientemente de erros ou más funções de operação e paragens de certos equipamentos que estão presentes nas células;
- **Teste de peças novas.** O sistema deve aceitar novas peças dentro dos diferentes produtos com relativa facilidade.

Se um sistema satisfazer os dois primeiros ou melhor ainda os quatro critérios, é considerado flexível.

#### 2.6.1.1 Níveis de flexibilidade

A flexibilidade de um sistema pode ser dividida em dois níveis: dedicado ou ordem aleatória. Um sistema **dedicado** é projetado para ambientes de produção com um número limitado de peças, onde as diferenças entre elas são reduzidas, só alterando em pequenos pormenores. Por outras palavras este sistema não é projetado para produzir vários tipos de peças com design totalmente diferente. Este sistema permite uma taxa de produção elevadas. Por outro lado, um

sistema de **ordem aleatória**, é projetado para ambientes de produção em que o design das peças é alterado, ou seja, que haja vários tipos de peças.

Visto que este sistema como tem que produzir vários tipos de peças de raiz e, conseqüentemente, tem que estar a alterar ferramentas e operações de processamento a sua taxa de produção é inferior ao do sistema dedicado. A Figura 2.11 apresentada ilustra como são os dois sistemas a nível de flexibilidade e de quantidade de produtos acabados anualmente [3] e [6].

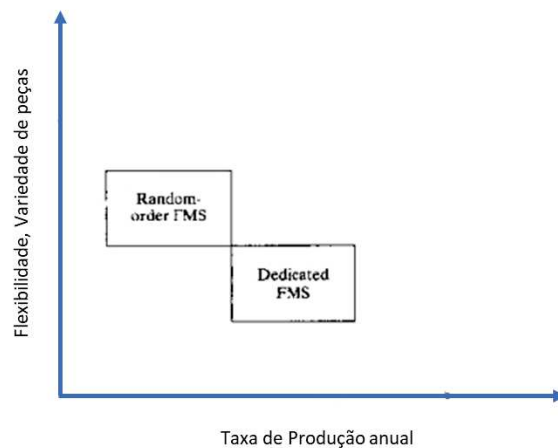


Figura 2.11. Níveis de Flexibilidade, adaptado de [37].

### 2.6.2 Componentes de uma CFF

Dependendo da estrutura e da operação dos sistemas implementados, geralmente os seguintes equipamentos podem fazer parte integrante de uma célula:

- Máquinas CNC;
- Robôs;
- Veículos Guiados Automaticamente (AGVs);
- Tapetes rolantes;
- Armazéns;
- Sistemas de Controlo de Qualidade.

Nas CFF existem quatro elementos básicos: Estações de trabalho, sistema de armazenamento e manipulação/transporte de material, sistema de controlo computadorizado e por fim, os operadores.

### 2.6.2.1 Estações de trabalho

Este subsistema depende muito da aplicação para qual foi implementado o sistema. Atualmente as estações de trabalho mais comuns em ambiente industrial, são sistemas de processamento, que têm como função transformar as matérias primas. Geralmente estes setores são constituídos por máquinas CNC (Tornos, Fresadoras, etc.) que são capazes de executar diversas operações de maquinação sob o controlo de um programa NC. Contudo as estações de trabalho podem ser implementadas para outras operações, como por exemplo:

- **Estações de carga/descarga.** É a interface física entre a CFF e o resto da fábrica. As peças são carregadas para o sistema e ao fim de serem maquinadas são descarregadas. Este processo de carga/descarga pode ser manual ou executado por equipamentos de manipulação automatizados. Estas estações devem incluir uma unidade para a entrada de dados e um monitor para estabelecer comunicação entre o operador e o sistema de controlo do SFF. Devem notificar o operador para carregar as peças nas paletes. Após a paleta estar totalmente carregada, esta deve ser conduzida para o sistema de produção [3] e [6].
- **Estações de processamento/maquinação.** Normalmente nas estações de processamento predominam máquinas CNC. Estas máquinas são capazes de realizar diversas tarefas sob o controlo de um programa de instruções. Permitem o armazenamento e troca automática de ferramentas durante a maquinação sem a ajuda do operador [3] e [6]. Em muitas das estações de maquinação os processos mais presentes são de torneamento, de desbaste e perfuração. Mas há outro tipo de processos, como por exemplo corte de chapa, montagem de peças entre outras.
- **Estações de montagem.** Alguns dos sistemas projetados têm como finalidade executar operações de montagem. Os robôs industriais são um dos equipamentos mais utilizados neste tipo de estações, visto que podem ser programados para executar vários tipos de operação. A implementação deste tipo de estações vai reduzir a mão de obra neste setor [3] e [6].
- **Estações com outro tipo de tarefas.** Em alguns sistemas são projetadas estações com a responsabilidade de inspecionar as operações das estações de maquinação. As máquinas de coordenadas, sondas e câmaras são exemplo de equipamentos para executar este tipo de operações. Estes tipos de estações também podem executar operações de limpeza da célula.

### 2.6.2.2 Sistema de armazenamento e manipulação/transporte de material

É considerado o segundo maior subsistema de uma CFF. Neste subsistema são consideradas as funções do armazenamento de matérias primas e de produtos acabados, dos equipamentos de manipulação e do equipamento de transporte. As funções realizadas neste sistema são [3], [5], [6] [36] e [37]:

- **Movimento aleatório e independente de peças entre estações.** As peças devem ser capazes de se deslocar de uma máquina para outra.
- **Manipulação de vários tipos de peças.** Tem de ser capaz de manipular vários tipos de peças, circulares, prismáticas, entre outras.
- **Armazém temporário.** Geralmente em cada estação de processamento há um pequeno armazém que tem como objetivo armazenar um número pequeno de peças antes de serem processadas.
- **Acesso conveniente para carregar e descarregar peças de trabalho.** Todos os sistemas devem incluir um local para carregar/descarregar o material.
- **Compatibilidade com o controlo do computador central.** O sistema de armazenamento e de manipulação/transporte deve ser controlado através do computador central.
- **Sistema de transporte primário.** É responsável pelo transporte das peças entre as várias estações dentro do sistema, utilizando transportadores e robôs industriais. É este sistema de transporte que define a configuração do sistema flexível de fabrico.
- **Sistema de transporte secundário.** É responsável pela transferência das peças do transporte primário para as estações de trabalho e pela manipulação das peças dentro dessas estações.

O sistema de transporte primário implementado na célula define a configuração da mesma. As configurações encontradas nas CFF nos dias de hoje podem dividir-se em cinco categorias: em linha, em ciclo, em escada, em campo aberto e em célula com robô ao centro [36] e [37].

Na configuração em linha o sistema de manipulação dos materiais e as máquinas estão implementados em linha reta, como mostra a Figura 2.12. Os materiais movem-se numa só direção de estação em estação e sem possibilidade de retorno. No entanto em sistemas de fabrico que necessitam uma maior flexibilidade, pode ser implementado um sistema de transporte secundário que permite o movimento nos dois sentidos.

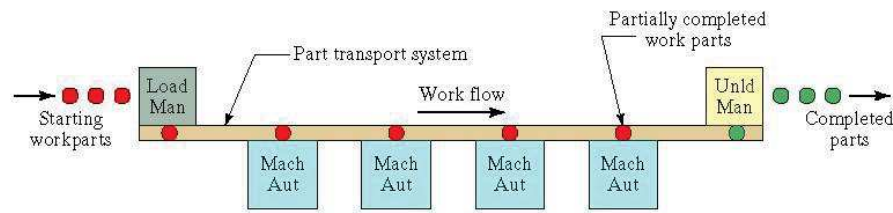
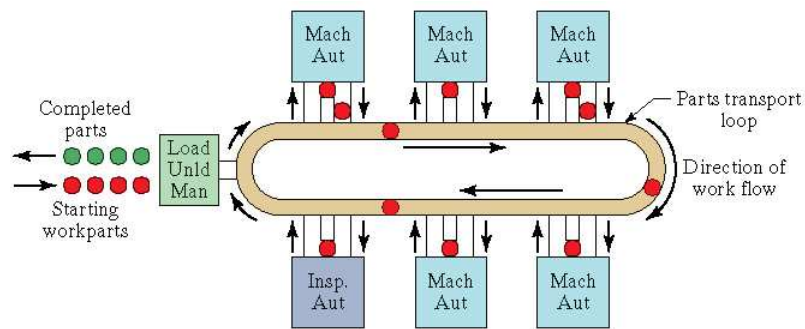
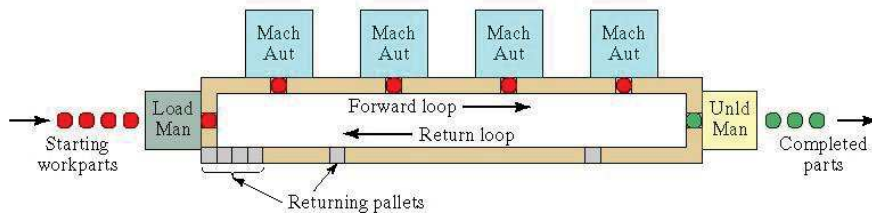


Figura 2.12: Configuração em linha [3] e [36].

Na configuração em ciclo (loop) os materiais, como na configuração em linha, circulam num só sentido ao longo do circuito, podendo ser transferidas para qualquer das estações como é apresentado na imagem a) da Figura 2.13. A configuração em retângulo é semelhante à em ciclo em que tem uma estação para o carregamento e outra para o descarregamento das peças, imagem b) da mesma Figura.



a) Configuração em loop;



b) Configuração retangular;

Figura 2.13: Configurações em malha fechada [3] e [36].

A configuração em escada (ladder) consiste num ciclo com vários degraus ou secções onde estão localizadas as estações de trabalho, como é apresentada na Figura 2.14. Estes degraus permitem uma maior flexibilidade ao sistema e evita assim a necessidade de implementar um sistema de transporte secundário.

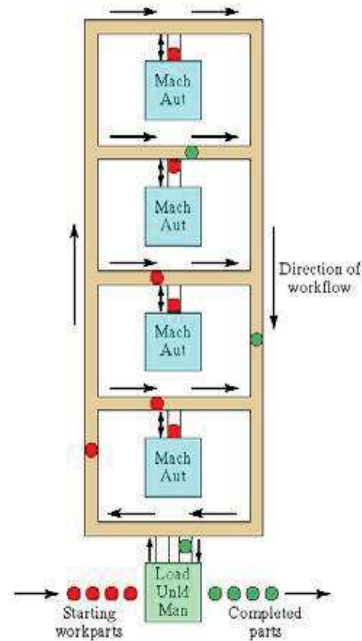


Figura 2.14: Configuração *ladder* [3] e [36].

A configuração em campo Aberto (open field) consiste em vários ciclos e degraus, como se pode observar na Figura 2.15. Normalmente é apropriado para o processamento e transporte de uma variedade de peças. As peças são encaminhadas para a máquina que se tornar disponível em primeiro lugar.

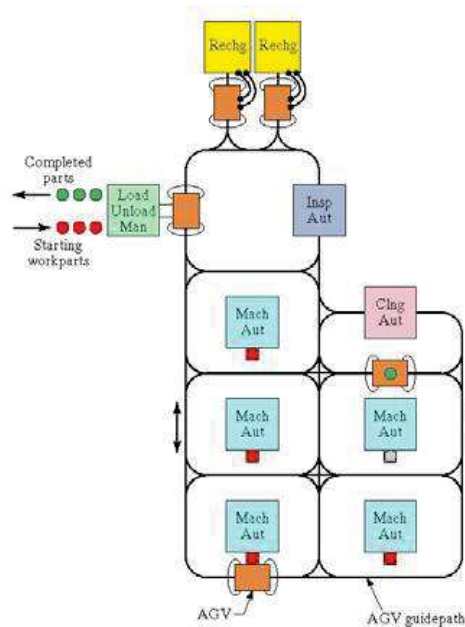


Figura 2.15: Configuração *open field* [3] e [36].

Na configuração do robô ao centro os equipamentos de manipulação dos materiais estão instalados no centro da célula, como é exibido na Figura 2.16. Estes equipamentos são robôs industriais com pinças para poderem manipular vários tipos de peças.

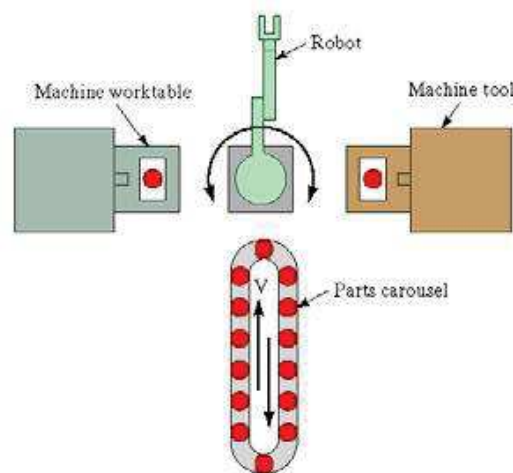


Figura 2.16: Configuração robô ao centro [3] e [36].

### 2.6.2.3 Sistema de controlo computadorizado

Este subsistema tem como função controlar e monitorizar toda a CFF. Geralmente é constituído por um computador central e controladores para o controlo de cada equipamento ou também pode ter somente um computador para controlar todos os equipamentos. O computador central tem como função coordenar todas as atividades dos equipamentos para alcançar o bom funcionamento geral da célula. As funções realizadas por este sistema podem ser agrupadas nas seguintes categorias [3], [36] e [37]:

- **Controlo da estação de trabalho.** Num sistema totalmente automatizado as estações de processamento e montagem de produtos estão, geralmente, sob o controlo de um computador central. Na parte de maquinação o CNC é usado para controlar todas as máquinas existentes na célula.
- **Distribuição das instruções de controlo para as estações de trabalho.** O sistema DNC permite que o descarregamento dos programas para cada uma das máquinas existentes num sistema flexível de fabrico. Também permite o armazenamento, e a alteração de programas existentes e a apresentação de novos programas.
- **Controlo de Produção.** É responsável por gerir os vários tipos de produtos acabados e a sua taxa de produção. O controlo de produção gere as taxas diárias de produção de cada peça, a matéria-prima ainda disponível e a quantidade de produtos acabados. A função de controlo também alerta de possíveis falhas que possam vir a acontecer e notifica o operador para carregar/descarregar a palete.

- **Controlo de tráfego.** É responsável pela gestão do controlo primário de transporte e também o controlo do transporte das peças de trabalho entre estações de trabalho. Este controlo bloqueia a circulação das peças nos locais de transferência e ainda ativa o movimento das paletes para carregar/descarregar nas respetivas estações.
- **Controlo de transporte (*Shuttle*).** É responsável pelo controlo do transporte secundário em cada estação de trabalho. Este deve estar sincronizado com o transporte primário e com a operação da máquina CNC.
- **Controlo de ferramenta.** Num sistema de maquinação são necessárias ferramentas de corte. O controlo de ferramentas é responsável por dois aspetos:
  - Localização da ferramenta – Envolve a localização de uma determinada ferramenta. Caso seja necessária uma ferramenta para maquinar uma peça, e não estiver presente nessa máquina, o controlo de localização é responsável por verificar se existe essa ferramenta em outra máquina presente na célula.
  - Vida útil da ferramenta – Monitoriza a vida útil de cada ferramenta de corte existente na célula flexível e envia uma notificação ao operador quando será necessário a substituição da mesma.
- **Monitorização e relatórios de desempenho.** Realiza periodicamente relatórios sobre a operação e o desempenho de todos os equipamentos.
- **Diagnósticos.** Esta função é responsável pela verificação de erros no programa de instruções ou um mau funcionamento de cada equipamento sendo o objetivo reduzir falhas e o tempo de inatividade dos equipamentos.

#### 2.6.2.4 Recursos Humanos

Um elemento adicional no SFF é o trabalho do ser humano os quais são necessários para controlar as operações da célula. Algumas das funções realizadas por eles incluem o carregamento das peças para o armazém ou o descarregamento dos produtos acabados, a montagem de vários componentes provenientes das máquinas e também são responsáveis pela manutenção, reparação de equipamentos e elaboração dos programas NC [36] e [37].

### 2.6.3 Benefícios de uma Célula Flexível de Fabrico

Há uma série de benefícios na implementação de células flexíveis de fabrico num ambiente industrial comparando a um sistema convencional, como por exemplo [38]:

- **Aumento da utilização das máquinas.** Os SFF conseguem uma utilização em média das máquinas maior comparativamente do que um sistema convencional, permitindo que num ambiente industrial para a mesma produção de lotes seja necessário menos máquinas.
- **Ocupação de uma menor área de trabalho.** Geralmente um SFF requer uma menor área de ocupação comparativamente com um sistema convencional.
- **Maior capacidade de resposta a mudança (aumento da flexibilidade).** Um SFF tem uma maior capacidade para alterações no design, ou seja, na implementação de novas máquinas no sistema, na produção de novos produtos ou de quantidades de diferentes de produtos.
- **Redução de inventários.** Através da redução de tempo de montagem, minimizando a necessidade de stocks.
- **Redução da mão de obra e maior produtividade.** Taxas de produção mais altas e uma menor dependência da mão de obra direta o que se traduz numa maior produtividade por hora de trabalho com um SFF comparativamente a um sistema convencional, permitindo que as encomendas sejam entregues ao cliente mais rapidamente.
- **Oportunidade de uma produção autónoma.** Visto que estes sistemas são automatizados permite que ele funcione por longos períodos de tempo sem a intervenção do ser humano.
- **Maior qualidade no produto final.** Os produtos acabados têm uma maior qualidade comparando com uma máquina convencional.
- **Aumento de segurança dos operadores.** Com a implementação destes sistemas permite uma maior qualidade e segurança para os operadores, pois começaram a implementar alarmes, e outros equipamentos para esses fins.

Como todas as tecnologias, também as CFF apresentam desvantagens:

- **Investimento inicial.** O custo inicial, para a implementação dos equipamentos presentes num sistema, é elevado.
- **Formação de operadores.** Os operadores para trabalhar nas máquinas e nos outros equipamentos presentes no sistema têm que tirar uma formação.
- **Diminuição do número de operadores na empresa.** Ao implementar um sistema automatizado com vários tipos de estações (de maquinação, montagem transporte, etc.) vai levar à diminuição da mão de obra.

### 2.6.4 Sistemas Flexíveis de Fabrico (SFF)

Um SFF não é mais que um conjunto de Células Flexíveis de Fabrico (CFF), que comunicam entre si, ao qual está associado um sistema de transporte e armazenamento automático, como se pode observar na Figura 2.17. No fundo podemos apresentar um SFF como várias estações de trabalho industrial totalmente automatizado e onde os operadores, desempenham, essencialmente um papel de controladores.



Figura 2.17: Exemplo de um SFF [39].

Geralmente um sistema flexível de fabrico viável possui estações de suporte à produção, que monitorizam e controlam o processo de fabrico. Devido à complexidade das máquinas e dos outros equipamentos, estes sistemas necessitam de operadores formados que façam o controlo das operações dos robôs manipuladores, máquinas CNC de forma a conseguir um trabalho eficiente com o mínimo de erros e máximo rendimento possível.

## 2.7 Controlo de Qualidade na indústria

Um dos aspetos mais importantes na atualidade, no ambiente industrial, é o controlo de qualidade nas linhas de produção, controlando todo o processo de fabrico desde da matéria prima até ao produto final, de forma a que este satisfaça as necessidades dos consumidores finais. O controlo de qualidade passa por um conjunto de técnicas e ferramentas que permitem detetar erros nos processos de produção assim como tomar medidas adequadas para evitar esses defeitos de forma a que os produtos estejam dentro dos parâmetros e das normas padrão. Deste modo, os produtos finais que não estejam dentro dos requisitos mínimos são colocados de parte, garantindo que os produtos ou os serviços sejam de acordo com as expectativas dos consumidores [34]. Algumas das vantagens do controlo de qualidade num processo industrial são:

- Aumento da produtividade;
- Redução dos custos;
- Diminuição de perda de materiais;
- Melhor qualidade do produto final.

### 2.7.1 Visão Artificial

Atualmente, a visão artificial é uma ferramenta muito utilizada para realizar o controlo de qualidade industrial podendo ser aplicada em áreas de eletrónica, indústria farmacêutica, aeronáutica, automobilística, processos de embalagens, entre outras [11]. Este método, passa por captar imagens por uma ou mais câmaras em tempo real com a finalidade de serem tratadas e processadas num computador. Este processamento pode ser utilizado para diferentes fins como, a deteção de movimentos, deteção de cores, deteção de limites, reconhecimento de objetos entre outras finalidades [12] e [13].

Mais voltado para sistemas flexíveis de fabrico, a visão artificial é utilizada com frequência em conjunto com robôs, sendo denominado por RGV (Robótica Guiada pela Visão). Deste modo permite, para além de analisar e ajudar no controlo de qualidade, obter informação que posteriormente possa ser enviada aos equipamentos industriais, como apresentado na Figura 2.18. Ou seja, essa informação obtida através do processamento, pode ser utilizada para enviar sinais lógicos a máquinas CNC, a robôs industriais, a transportadores, entre outros, de forma a que o processo de fabrico tenha um maior desempenho. Por exemplo, num ambiente industrial, pode auxiliar operações de palatização, de soldadura ou pintura, em sistemas de carga e descarga de máquinas CNC entre outras aplicações.



Figura 2.18: Sistema de Visão Artificial aplicado num processo industrial [40].

Dentro da tecnologia RGV destacam-se dois tipos de aplicações genéricas: *Pick & Place* e *BinPicking* [17].

A *Pick & Place* resulta de guiar um robô estático até ao ponto onde este deve exercer uma determinada tarefa. Anteriormente da visão artificial, os robôs para manipular um determinado objeto tinham que deslocar-se para uma posição bem definida. Com a incorporação da visão artificial, não é necessário que os objetos estejam exatamente nessa posição porque a visão artificial ajuda a guiar o robô.

A *BinPicking* é similar à *Pick & Place* apesar de apresentar uma complexidade superior. Esta aplicação permite seleccionar e recolher objetos empilhados aleatoriamente num contentor ou nouro local. Para recolher um objeto ao acaso é necessário ter informação em três dimensões deste objeto. Deste modo, a visão artificial nesta aplicação tem um processamento de imagem mais complexo do que na *Pick & Place*.

## 2.8 Resumo do Capítulo

Neste capítulo foi abordado o estado da arte ao nível dos sistemas automatizados existentes atualmente na maioria das empresas. Inicialmente fez-se uma pequena introdução à evolução da automação e dos processos de fabrico ao longo dos anos até à atualidade e o que levou às empresas a implementar estes sistemas. Foi explicado como surgiu o controlo numérico (CN) e posteriormente a sua evolução para o controlo numérico computadorizado (CNC). No final do capítulo, foi descrito o que é uma célula flexível de fabrico (CFF), os possíveis equipamentos que possam fazer parte da célula e as suas possíveis configurações enunciando algumas das vantagens destes sistemas comparativamente aos convencionais.

## 3. Configuração do setor de fabrico

### 3.1 Introdução

Como referido anteriormente, o trabalho proposto tem como objetivo estudar a Célula Flexível de Fabrico (CFF) presente no laboratório de automação da ESTGV e posteriormente melhorar o sistema de fabrico. Este melhoramento passa por uma maior rentabilidade dos equipamentos presentes neste setor. Outra vertente do trabalho, passa por desenvolver um sistema de controlo e monitorização online que permita a visualização da CFF em tempo real, permitindo o acesso a todos os ficheiros relacionados com as tarefas executadas na célula e por outro lado o envio remoto de comandos para o robô, a receção de e-mails e de mensagens de texto para o telemóvel em caso de alarmes.

### 3.2 Configuração da Célula Flexível de Fabrico

Antes de aprofundar a configuração do setor de fabrico, vai ser exposta, de um modo geral, a configuração de toda a célula onde este setor se enquadra. A CFF em estudo é um exemplo de uma que pode ser encontrada num ambiente industrial. Esta, como mostrado na Figura 3.1 e como referido no Capítulo 1, é constituída por 4 setores [14], [27], e [30]:

- O **setor de fabrico**, constituída por duas máquinas CNC (fresadora e torno), um robô ABB IRB140 e um *buffer*;
- O **setor de montagem de peças**, constituída por um robô Scorbot ER VII, um *conveyor* e uma mesa de montagem;

- O **setor de transporte**, constituído por um transportador retangular;
- O **setor de armazenamento**, constituído por cinco armazéns e por um robô ABB IRB1400.

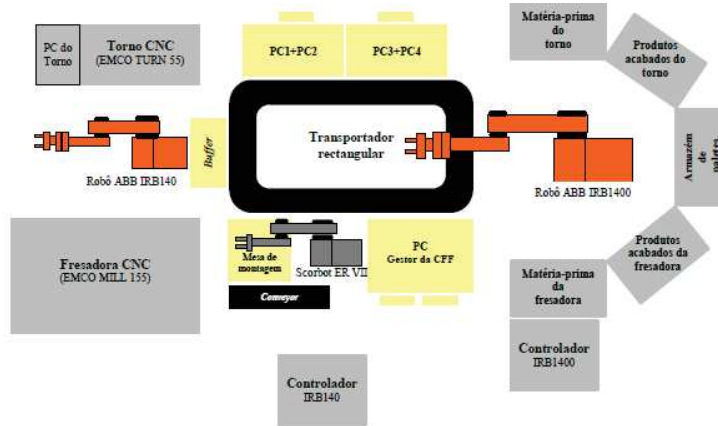


Figura 3.1: Esquema da célula fléxivel de fabrico [2].

### 3.3 Setor de fabrico

Este setor é responsável pelo processamento da matéria-prima proveniente do setor de armazenamento. Como apresentado na Figura 3.2, este é constituído por uma fresadora EMCO MILL 155, um torno EMCO TURN 55, um robô manipulador ABB IRB140 e um *buffer*. O *buffer* foi colocado no centro deste setor, junto ao robô manipulador, com o intuito de otimizar o processo de produção. Este, por um lado, tem como função armazenar temporariamente as matérias-primas provenientes do setor de armazenamento para posteriormente serem processadas e por outro lado, permite também armazenar as peças maquinadas para depois serem transportadas para o setor de montagem.



Figura 3.2: Setor de Fabrico da CFF.

### 3.3.1 Máquinas CNC

O setor de fabrico é constituído por duas máquinas-ferramenta CNC responsáveis pelo processamento das matérias-primas provenientes do setor de armazenamento. Cada máquina destina-se à maquinação de um tipo de peça de trabalho. A fresadora do fabricante EMCO, (modelo Mill 155) foi utilizada para maquinar peças prismáticas e o torno EMCO, (modelo turn 55) para maquinar peças cilíndricas.

A fresadora CNC, apresentada na Figura 3.3, é uma máquina com capacidades para estar instalada num ambiente industrial. Esta, executa operações em três eixos (x, y e z).



a) Fresadora EMCO, modelo Mill 155; b) Ferramenta ATC system; c) *Vice* pneumático.

Figura 3.3: Fresadora CNC presente no setor de fabrico.

A fresadora é constituída, interiormente, por um sistema de controlo automatizado de ferramentas (*Automatic Tool Changer - ATC system*) e por um *vice* pneumático. Este sistema é responsável por selecionar a ferramenta de acordo com o programa realizado no CAD/CAM e com a ferramenta escolhida nesse software. O *vice* é responsável por fixar as peças de trabalho. Por outro lado, externamente é constituída por uma porta automática, um painel e um teclado. A porta automática, ao fim de se colocar a peça de trabalho e de se ativar a saída responsável pelo fecho, fecha por uma questão de segurança. O painel permite fazer a interface entre o operador e a máquina CNC. O teclado é utilizado para realizar várias tarefas, sendo algumas delas, a abertura dos ficheiros NC, a movimentação do *vice* nos eixos, entre outras [19] e [30].

Como mostrado na Figura 3.4, o torno presente no laboratório, é uma máquina que permite maquinar vários tipos de peças e de diferentes tamanhos, apesar de ter um tamanho para ambiente académico. Esta máquina, à semelhança de qualquer outro torno CNC, executa operações a dois eixos (x e z).



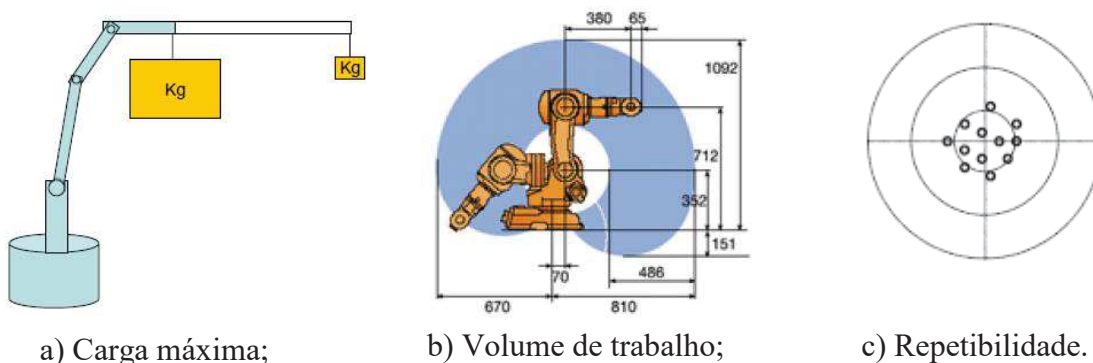
a) Torno EMCO, modelo Turn 55;    b) *Chuck* pneumático;    c) *Tailstock* eletromecânico.

Figura 3.4: Torno presente no setor de fabrico.

Esta máquina, à semelhança da anterior, pode ser utilizada de forma individual ou pode ser integrada num sistema automatizado. Esta é constituída por um *chuck* pneumático no qual permite fixar a peça para maquinar, uma porta automática, uma mesa giratória constituída por um teclado e um ecrã, uma interface robótica e um ATC que permite colocar 8 ferramentas [20] e [30].

### 3.3.2 Robô manipulador

Aquando da escolha de um robô manipulador é necessário verificar se as suas características se adequam às funções a desempenhar. Uns dos aspetos importantes a tomar em conta aquando da sua utilização é a carga máxima que suporta, o seu volume de trabalho e a repetibilidade. Na Figura 3.5 estão exemplificadas essas três caraterísticas. A carga é a capacidade de transportar materiais sem prejuízo das suas caraterísticas dinâmicas, estáticas ou da sua fiabilidade. O volume de trabalho é toda a região espacial onde o braço do robô pode posicionar o seu punho. A repetibilidade é a capacidade de o robô repetir a mesma tarefa colocando o objeto no mesmo ponto.



a) Carga máxima;    b) Volume de trabalho;    c) Repetibilidade.

Figura 3.5: Aspetos importantes a considerar num robô [2].

Na operação de um robô, como exemplificado na Figura 3.6, para além do braço robótico estão envolvidos outros elementos, tais como: um controlador, um manipulador, uma consola de programação (*Teaching Pendant*) e um computador.

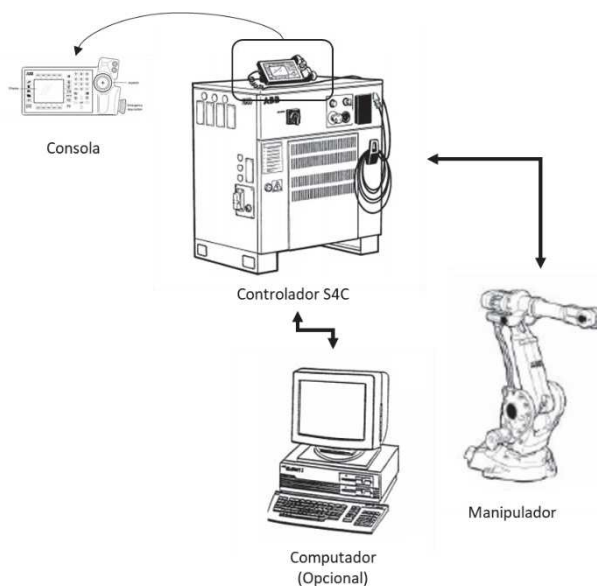


Figura 3.6: Elementos de um robô manipulador industrial, adaptado de [2].

O controlador, como o nome indica, é responsável pelo controlo do manipulador. Este dispositivo é baseado num computador com funções particulares. Este baseia-se no controlo dos movimentos e outros dispositivos que podem estar associados às tarefas do robô. Por outro lado, o controlador recebe e envia sinais a outras máquinas-ferramentas por meio de sinais digitais, utilizando entradas e saídas digitais.

Juntamente com o controlador existe uma consola portátil *Teaching Pendant*, sendo esta constituída por um LCD, um teclado, um *joystick* e um botão de emergência. A partir desta consola pode-se controlar e manipular o robô, abrir programas, receber mensagens e alterar o estado das entradas e saídas.

O computador, utilizado pelo operador, é responsável pela elaboração dos programas em modo *off-line* para controlar o robô. Após da elaboração dos programas, este é descarregado para o controlador do robô.

### 3.3.3 Robô IRB 140

Como referido anteriormente, neste setor há um robô manipulador do fabricante ABB (modelo IRB140), representado na Figura 3.7. Este robô de seis graus de liberdade, tem uma capacidade de carga de 6kg, com uma repetibilidade de  $\pm 0.03\text{mm}$  e com um alcance máximo de 0.81m. Foi concebido para realizar tarefas num ambiente industrial, tais como:

soldadura, pintura, montagem de equipamentos, entre outras. Neste caso, a principal tarefa dele é a carga e descarga de máquinas CNC presentes neste setor e, também, a carga e descarga das paletes que trazem matéria prima e levam os produtos acabados [21].

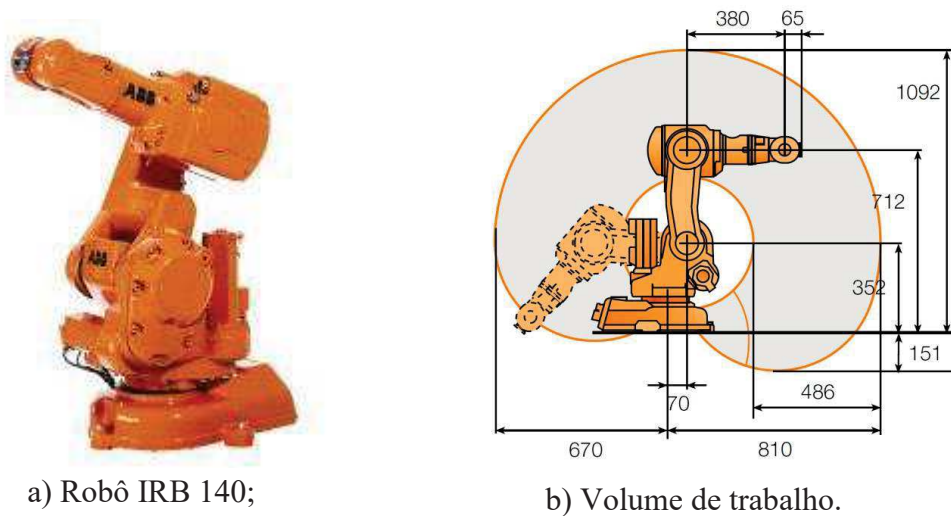


Figura 3.7: Robô presente no setor de fabrico [41].

No Quadro 3-1 estão outras características para além daquelas referidas anteriormente.

Quadro 3-1: Outras características do robô ABB IRB140 [21] e [30].

Robô IRB140	
<b>Tipo</b>	Antropomórfico
<b>Número de Eixos</b>	6
<b>Movimentos dos eixos:</b>	
<b>Eixo 1</b>	+180° a -180°
<b>Eixo 2</b>	+110° a -90°
<b>Eixo 3</b>	+50° a -230°
<b>Eixo 4</b>	+200° a -200°
<b>Eixo 5</b>	+115° a -115°
<b>Eixo 6</b>	+400° a -400°
<b>Velocidade dos eixos:</b>	
<b>Eixo 1</b>	200°/s
<b>Eixo 2</b>	200°/s
<b>Eixo 3</b>	260°/s
<b>Eixo 4</b>	360°/s
<b>Eixo 5</b>	360°/s
<b>Eixo 6</b>	450°/s
<b>Altura</b>	810 mm
<b>Peso</b>	98kg
<b>Dimensões da base</b>	400x450 mm
<b>Velocidade máxima</b>	0.85 m/s

Como mencionado, no início desta secção, para o robô executar qualquer ação, é necessário um controlador. Neste caso, o controlador para este robô é um IRC5 S4C, apresentado na Figura 3.8. Este controlador é responsável pelo movimento do manipulador. Por outras

palavras, de acordo com a informação obtida pelos sensores, presentes no manipulador, e pelos dados colocados pelo operador no programa a ser executado (velocidade de juntas, posição, etc.) o controlador faz movimentar o braço robótico. Sendo assim o controlador está constantemente a efetuar cálculos necessários para enviar sinais aos atuadores.

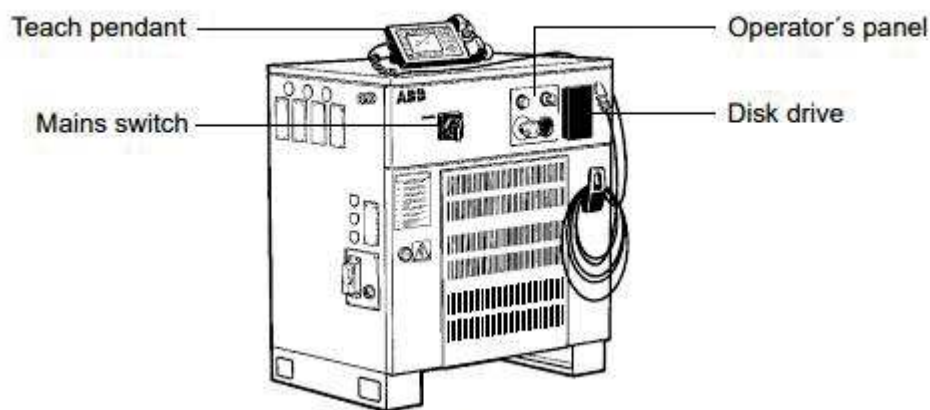


Figura 3.8: Controlador S4C [42].

Este controlador é constituído por um painel de operação, um *switch*, uma consola e uma *disk drive*, como se pode verificar na Figura 3.8. O *switch* é responsável por ligar e desligar o controlador e por sua vez o robô. O painel de operação tem dois botões (de emergência e outro para dar potência aos motores), um *led* para sinalização e o *switch* permitindo colocar o robô em modo manual ou em modo automático. Este robô utiliza uma linguagem de programação própria do fabricante da ABB, linguagem *Rapid*, sendo orientada aos objetos.

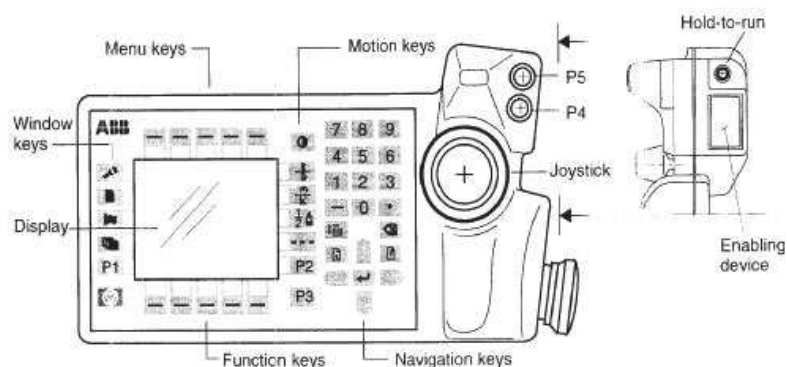


Figura 3.9: Consola Portátil do robô [42].

A consola portátil (*Teaching Pendant*), que vem juntamente com o controlador, é formada por um LCD, um teclado, um *joystick* e um botão de emergência, como mostrado na Figura 3.9. A partir desta consola pode-se controlar e manipular o robô, abrir programas, receber mensagens e alterar o estado das entradas e saídas.

Todas as consolas, para segurança dos operadores, têm um botão, designado homem-morto. Este serve para manipular o robô. Em modo manual, o operador deve pressionar este botão para que o robô se movimente. Caso contrário, pára imediatamente.

#### 3.3.3.1 Ferramenta de trabalho do robô (*End Effectors*)

Atualmente os robôs são usados em diversas aplicações na indústria sendo, para cada tarefa desempenhada por um robô, necessário verificar qual a ferramenta mais adequada. A maioria destas aplicações podem ser classificadas nas categorias de manipulação de materiais, operações de processamento ou montagem.

O robô presente neste setor, é utilizado para manipular peças, mais concretamente, para carregamento e descarregamento de máquinas CNC. Para desempenhar esta tarefa, o robô é equipado por um *gripper* pneumático, como apresentado na Figura 3.10. Esta ferramenta tem que ser suficientemente robusta e flexível para assegurar o transporte de peças com formas geométricas diferentes, sendo neste caso, peças cilíndricas e peças prismáticas.

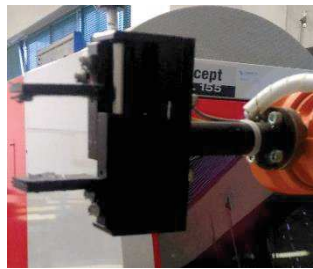


Figura 3.10: Ferramenta do robô ABB IRB140 (*gripper*).

Esta ferramenta de trabalho é equipada com sensores indutivos, usados na deteção de peças, como representado na Figura 3.11. Através da combinação dos sinais emitidos por estes, foi desenvolvido um algoritmo que permite verificar se o robô pegou, ou não, numa peça.

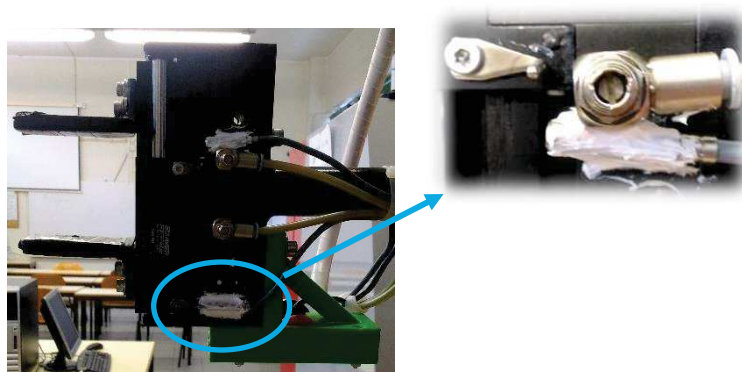


Figura 3.11: Sensores indutivos presentes na ferramenta do robô.

### 3.3.4 Buffer

No setor de fabrico existe um *buffer*, ver Figura 3.12, que tem como função armazenar temporariamente as matérias-primas (MP) e os produtos acabados (PA). Os *buffers*, fresa MP e Torno MP, armazenam as peças provenientes do setor de armazenamento para posteriormente serem processadas nas duas máquinas CNC. Por outro lado, os *buffers*, fresa PA e torno PA, armazenam as peças maquinadas nas máquinas CNC, para depois serem transportadas para o setor de armazenamento dos produtos acabados.

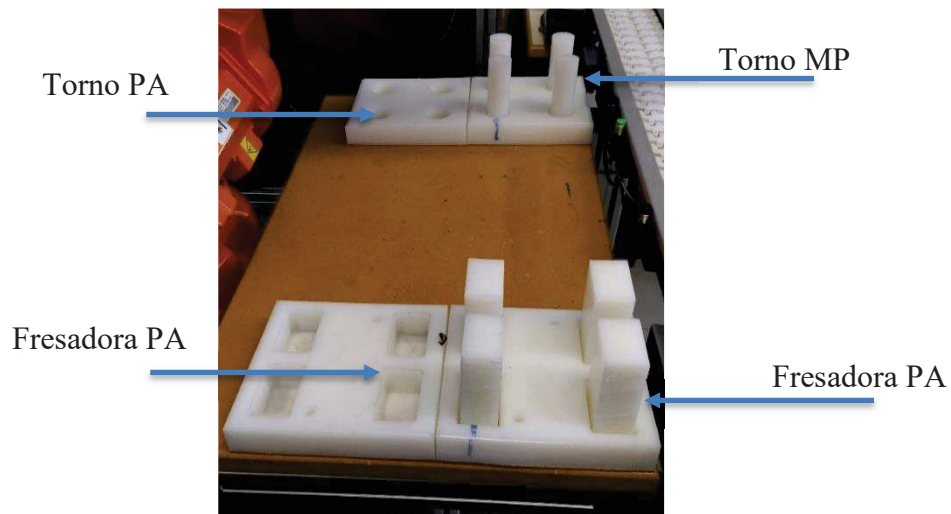


Figura 3.12: *Buffer* para colocar a MP e os PA.

O *buffer* foi colocado no centro deste setor, junto ao robô manipulador, com o intuito de otimizar o processo de produção.

### 3.4 Setor de Armazém

Este setor é responsável pelo armazenamento da matéria prima e dos produtos acabados. Como exemplificado na Figura 3.13, este setor é constituído por um robô do fabricante ABB do modelo IRB1400, por armários para o armazenamento da matéria prima e por uma rampa para a colocação dos produtos acabados.

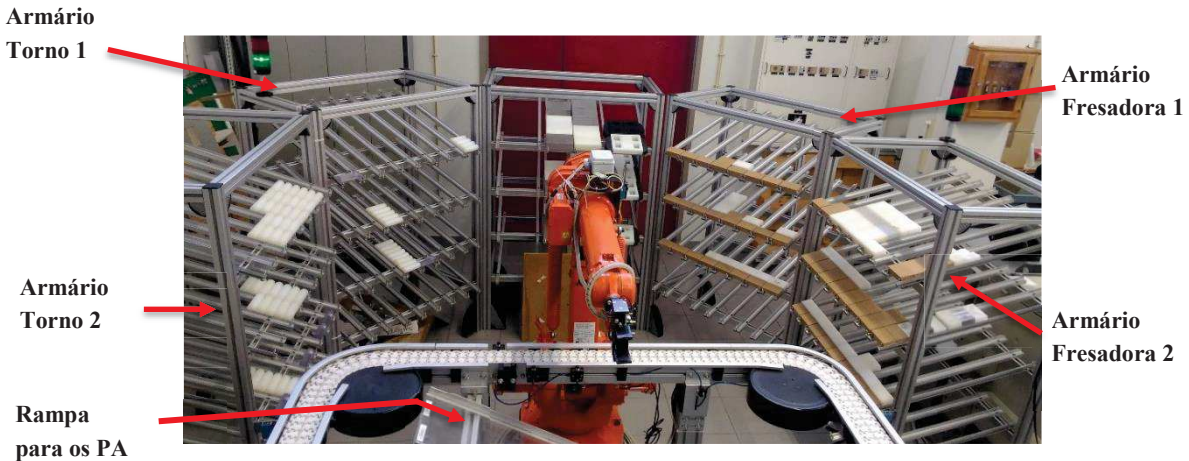


Figura 3.13: Setor do Armazém.

#### 3.4.1 Armários e Rampa de armazenamento

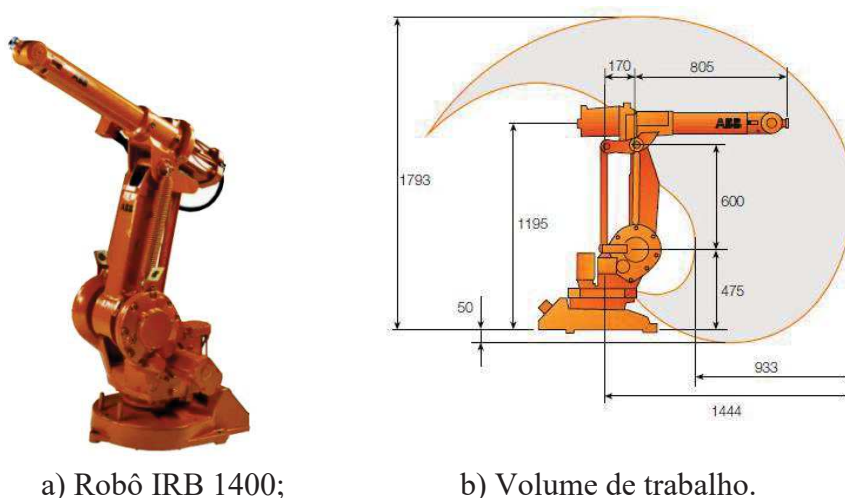
Os armários são feitos em perfil de alumínio e constituídos por quatro prateleiras e cada uma está dividida em oito posições. O armazém está distribuído de forma a que haja 2 armários para a matéria prima que posteriormente será processada no Torno CNC e outros 2 armários com matéria prima para depois ser processada na Fresadora CNC. Por outro lado, como referido anteriormente, neste setor também existe uma rampa em material de acrílico, representado na Figura 3.14, que é utilizada para colocar os produtos acabados provenientes do setor de fabrico.



Figura 3.14: Rampa para colocar os produtos acabados.

### 3.4.2 Robô IRB1400

Como referido anteriormente, neste setor está instalado um robô da ABB do modelo IRB 1400, como mostra a Figura 3.15. Este robô tem uma capacidade de carga de 5kg, uma repetibilidade de  $\pm 0.05\text{mm}$  e um alcance máximo de 1.44m. Trata-se de um manipulador com uma estrutura antropomórfica, com seis graus de liberdade e um punho esférico. Foi concebido para ser aplicado em várias tarefas a nível industrial, tais como soldadura, pintura, montagem de equipamentos entre outras, sendo que neste caso está a ser utilizado para efetuar a carga e descarga das paletes que circulam no transportador, bem como a gestão do armazém. No Quadro 3-2 estão referidas outras características deste robô [22].



a) Robô IRB 1400;

b) Volume de trabalho.

Figura 3.15: Robô presente no setor do armazém [43] e [44].

Quadro 3-2: Outras características do robô ABB IRB 1400 [22] e [30].

Robô ABB IRB 1400	
Tipo	Antropomórfico
Número de eixos	6
Movimento de eixos:	
Eixo 1	+340° a - 340°
Eixo 2	+140° a - 140°
Eixo 3	+135° a - 135°
Eixo 4	+300° a - 300°
Eixo 5	+230° a - 230°
Eixo 6	+600° a - 600°
Velocidade dos eixos:	
Eixo 1	110°/s
Eixo 2	110°/s
Eixo 3	110°/s
Eixo 4	280°/s
Eixo 5	280°/s
Eixo 6	280°/s
Carga máxima	5 kg
Dimensões da base	620 x 450 mm
Peso	225 kg
Altura total	1310 mm

### 3.4.2.1 Controlador

O controlador e a consola responsável pelos movimentos deste robô são iguais ao do robô presente no setor de fabrico, mostrado na secção 3.3.3. Sendo utilizados para as mesmas funções.

### 3.4.2.2 Ferramenta de trabalho

A ferramenta de trabalho é igual ao do robô presente no setor de fabrico. No qual contém também os sensores indutivos para verificar se numa determinada posição existe ou não uma peça. Por outro lado, ao contrário da ferramenta presente no robô IRB140, este tem também sensores de fibra ótica, como é apresentado na Figura 3.16. Estes, estão diretamente ligados ao controlador do manipulador permitindo ao utilizador usar os seus sinais na programação do robô. Neste trabalho, estes sensores são usados para fazer “scan” às paletes e assim verificar se estas estão completas (com 4 peças), ou não.

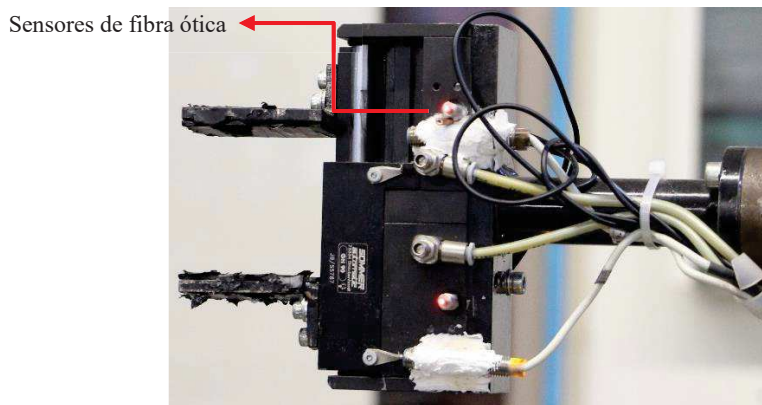


Figura 3.16: Ferramenta de trabalho com sensores de fibra ótica.

### 3.5 Transportador

Os sistemas de transporte em ambiente industrial, são utilizados, normalmente, para transportar matéria prima para locais de processamento e posteriormente para armazéns de produtos acabados.

O sistema de transporte presente na CFF, como apresentado na Figura 3.17, é constituído por uma esteira transportadora com uma configuração retangular, montado de forma a percorrer todos os setores da célula.



Figura 3.17: Setor do Transportador.

Neste caso, independentemente do tipo de paletes, todas circulam no mesmo sentido, anti-horário. No setor do armazém, o robô transfere a matéria-prima para as paletes de matéria prima e descarrega os produtos acabados provenientes do setor de fabrico. No setor de fabrico a matéria prima proveniente do armazém é descarregada para o *buffer* e, ao fim de serem maquinadas, são colocadas novamente no transportador, mais concretamente, nas paletes dos Produtos Acabados (PA). Mais detalhadamente, no transportador circulam quatro paletes como mostra a Figura 3.18, duas das quais são destinadas para o transporte de matéria prima (MP) e as outras duas para o transporte de produtos acabados (PA).



a) Paleta PA e MP Torno;



b) Paleta PA e MP Fresa.

Figura 3.18: Tipos de paletes presente no setor do transportador.

Para cada paleta foi definido um código específico que permite identificá-las e diferenciá-las umas das outras. Como apresentado na Figura 3.19, as paletes, na parte inferior, são constituídas por peças metálicas colocadas de forma específica e diferente em cada paleta. No Quadro 3-3 é apresentada a respetiva combinação de cada paleta.

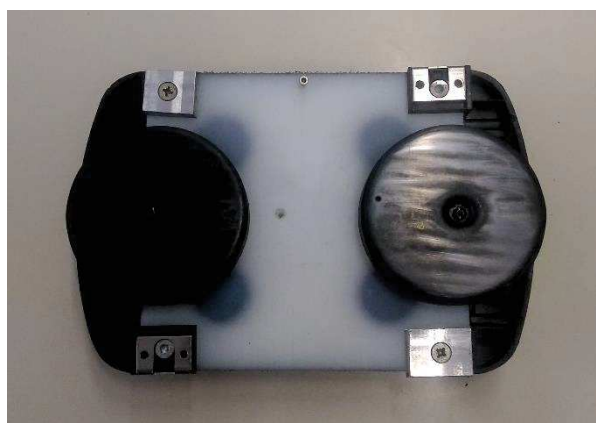


Figura 3.19: Peças metálicas.

Quadro 3-3: Combinação dos sensores para cada paleta.

Paletes	Codificação				
	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4	Sensor 5
<b>MP Torno</b>	✓	✓	✓	✓	✓
<b>MP Fresa</b>	✓	✗	✗	✓	✓
<b>PA Torno</b>	✓	✓	✗	✓	✓
<b>PA Fresa</b>	✗	✗	✓	✓	✓

### 3.5.1.1 Sensores indutivos e Stoppers

Para a deteção do tipo de palete, o transportador presente na célula possui nos setores de fabrico e de armazém um conjunto de sensores indutivos. Estes dois conjuntos de sensores estão colocados da mesma forma que as peças metálicas nas paletes, por outras palavras, para cada peça metálica, está associado um sensor indutivo. Na Figura 3.20 mostra os sensores e os *stoppers* principais em ambos os setores.

Estes sensores são responsáveis pela deteção das peças metálicas, em que se encontram em cada palete. Caso o sensor que está associado a cada peça, detetar a presença da mesma, envia um sinal para o gestor da célula, ou seja, para o PLC. E de acordo com a combinação dos sinais que o PLC receber, é identificado o tipo de palete.

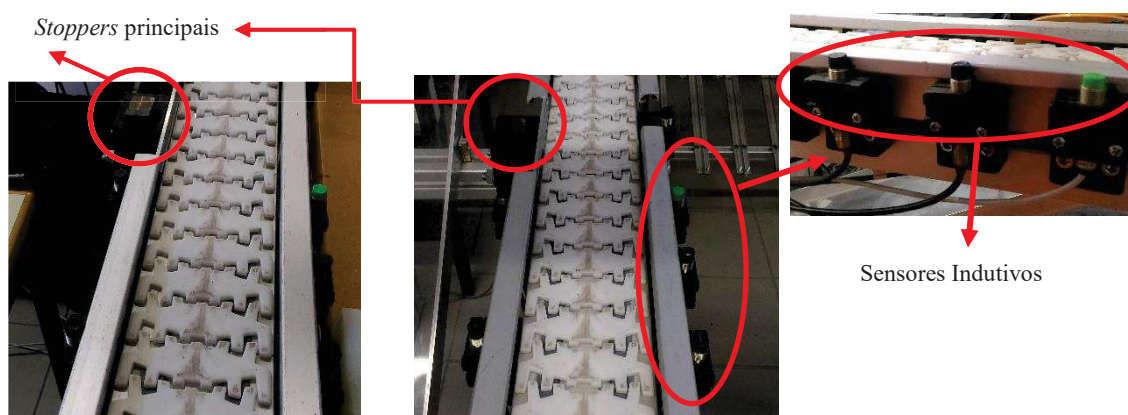


Figura 3.20: Sensores indutivos presentes nos setores de fabrico e do armazém.

Para efetuar a paragem das paletes em cada setor é utilizado um *stopper* automático que é comandado pelo PLC. Quando uma paleta, solicitada num dos setores, passa pelos sensores, estes enviam o sinal ao autómato o qual vai ativar uma saída que é responsável pela subida do *stopper*, levando a que a paleta pare. Para além destes dois *stoppers* auxiliares instalados nos setores de fabrico e do armazém, existem mais outros dois no transportador, como mostra a Figura 3.21, os quais têm como objetivo prevenir o congestionamento das paletes nos setores de fabrico e do armazém.

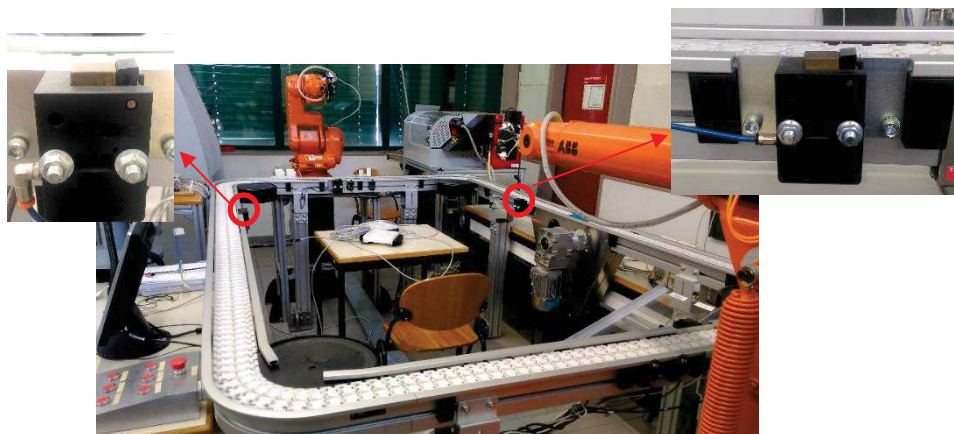


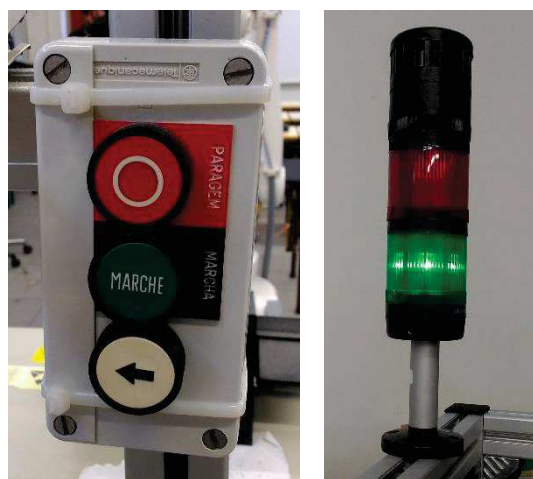
Figura 3.21: *Stoppers* auxiliares.

### 3.5.2 Sistema de controlo e de sinalização

O sistema de controlo e de sinalização permite que o operador esteja a realizar outras tarefas e só em caso de algum alarme é que o operador se deve deslocar à célula para verificar. Este sistema passa por duas botoneiras, uma instalada no setor de fabrico e outra no setor do armazém e uma baliza de sinalização em cada um destes setores. A botoneira responsável pelo controlo do setor de fabrico é constituída por 6 botões de impulso, no qual só estão a ser utilizados 4 e cada um é responsável por uma ação de controlo distinta. Esta permite que o utilizador controle o sistema de uma forma mais simples e mais eficaz. No caso do setor do armazém, a botoneira é constituída por 3 botões dos quais só são utilizados 2. Por outro lado, de acordo com o programa colocado nos robôs e da ação de cada botão vai acionar o sistema de sinalização. Este, como demonstrado na Figura 3.22, é constituído por uma baliza de sinalização que tem duas lâmpadas e um sinal sonoro.



a) Botoneira e baliza de sinalização do setor de fabrico;



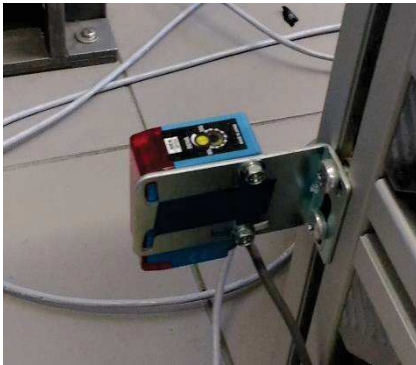
b) Botoneira e baliza de sinalização do setor do armazém;

Figura 3.22: Sistema de sinalização e controlo implementado na CFF.

### 3.5.3 Sistema de segurança

O sistema de segurança instalado nos setores de fabrico e do armazém tem como objetivo garantir a proteção do operador e prevenir possíveis danos dos equipamentos presentes neste local de trabalho.

Este sistema de segurança é composto por quatro sensores de presença, colocados cada um nas quatro entradas destes setores, como exibido na Figura 3.23. O local onde está instalado, não interfere com os movimentos do robô manipulador enquanto o seu funcionamento, e quando se verificar a presença de pessoas na zona de entrada deste setor o movimento do manipulador é interrompido. Após esta interrupção, é ativado o sistema de controlo e a sinalização local (1 baliza de sinalização sonora e luminosa).



a) Sensor de presença do setor de fabrico;



b) Sensor de presença do setor do armazém.

Figura 3.23: Sistema de segurança implementado na CFF.

### 3.6 PLC, o gestor da CFF

O PLC presente na CFF é um S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly da SIEMENS que tem como função gerir todos setores bem como todas as tarefas executadas em cada um deles, por outras palavras, é o “cérebro” da célula. Este é constituído por 14 entradas digitais e 10 saídas digitais que são utilizadas para receber e/ou enviar sinais aos robôs e aos sensores indutivos presentes no sistema de transporte. Para além disso, ainda integra uma fonte de alimentação própria de 24 VDC que neste caso, é utilizada para alimentar as saídas digitais. O modelo apresentado é alimentado com uma tensão de 230 VAC e possui uma porta RJ 45 utilizada para comunicar por *Ethernet* [25] e [29]. A programação deste autómato é feita através do software TIA PORTAL V14 fornecido pelo fabricante do PLC [24].

A função de controlo e de monitorização do PLC gestor da CFF é estabelecida através de uma interface I/O digital entre o controlador do robô do setor do armazém e do setor de fabrico, e entre o transportador no qual estão presentes os sensores indutivos e *stoppers*. Na Figura 3.24 está esquematizado essa interface entre o PLC e os vários setores.

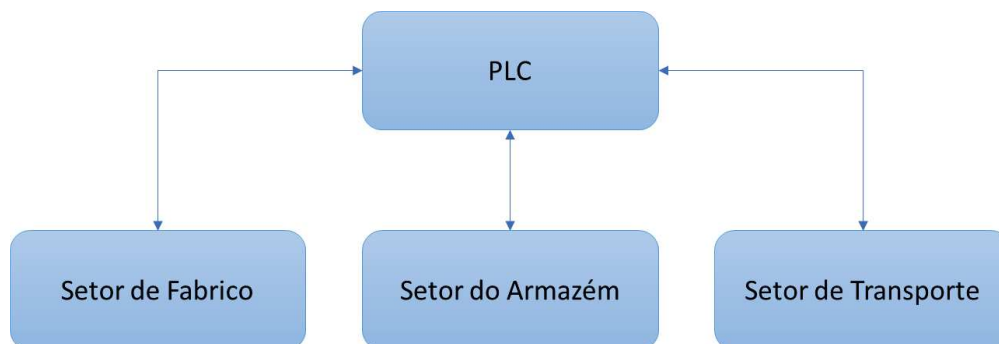


Figura 3.24: Interface de comunicação do PLC.

No setor de transporte, o PLC é responsável por monitorizar o estado das paletes de MP e PA (se estão cheias ou vazias). Quando uma paleta está a passar por um dos setores no qual foi solicitada, esta irá parar. Mais detalhadamente, quando a paleta passa pela zona dos sensores, o PLC, através da combinação dos sensores ativos e inativos (ver Quadro 3-3 da secção 3.5), verifica que se trata da paleta correta, dando assim, ordem às válvulas (*stoppers*) para subirem levando a que a paleta se imobilize.

No setor do armazém, é feita sempre a paragem das paletes de MP caso estejam vazias e das paletes de PA caso estejam cheias. Após a paragem das paletes, o PLC envia um sinal ao controlador do robô do armazém que o informa qual a paleta que parou, para posteriormente este carregar ou descarregar.

### 3 – Configuração do setor de fabrico

---

No setor de fabrico, é feita sempre a paragem das paletes de MP quando estão cheias e das paletes de PA quando estão vazias e quando são solicitadas neste setor, de acordo com o programa elaborado pelo operador.



Figura 3.25: PLC instalado na célula.

Visto que o número de entradas e saídas do PLC são insuficientes para assegurar todas as tarefas da CFF, foi instalado em projetos anteriores um módulo de entradas e saídas digitais. Na Figura 3.25 estão representados o PLC e o módulo de entradas e saídas que estão instalados na célula.

### 3.7 Microcomputador *Raspberry Pi*

Para desempenhar as funções do servidor *web* e da visão artificial foram utilizados dois microcomputadores *Raspberry Pi* 3. Na Figura 3.26 está ilustrado o modelo do *Raspberry Pi* utilizado.

Este microcomputador está equipado com um processador ARMv7 Quad Core com uma velocidade de processamento de 1.2 GHz, um processador gráfico, 1 GB de RAM, uma slot para cartões de memória micro-SD, uma interface com quatro portas USB e uma porta HDMI, uma porta de rede *Ethernet*, um adaptador *wireless* e de *Bluetooth*, uma saída de áudio 3.5 mm, saída para um *display*, saída para uma câmara e um conjunto de portas GPIO (*General Purpose Input/Output*) [29], [45].



Figura 3.26: *Raspberry Pi* 3 [45].

Neste trabalho todos os equipamentos estão ligados via *Ethernet*. Os controladores dos robôs, e o PLC estão ligados a um *switch* sem rede de Internet e, os *Raspberrys Pi* estão ligados a um *router wireless* que por sua vez também se encontra ligado ao *switch*. Todos os equipamentos estão identificados por um endereço IP, como apresentado na Figura 3.27.

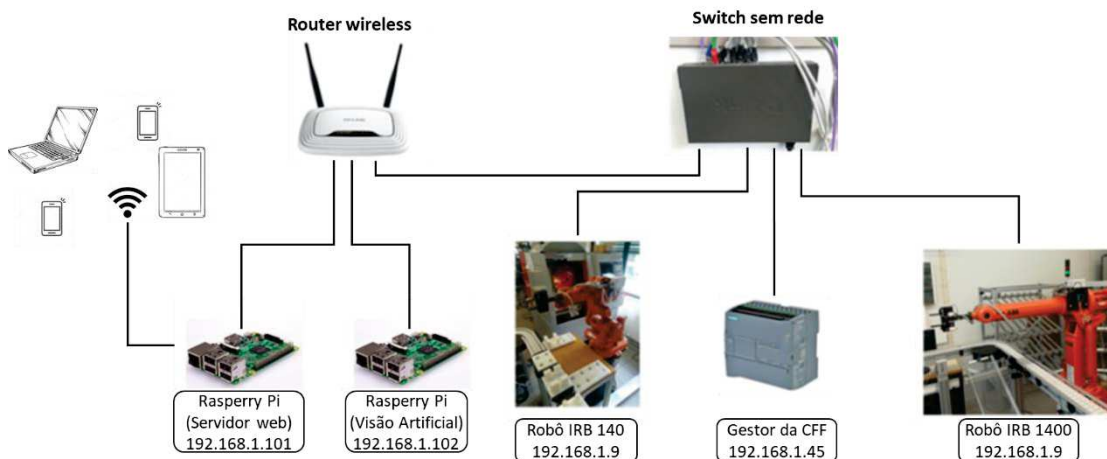


Figura 3.27: Esquema de ligação entre os equipamentos envolvidos.

Como está representado na Figura 3.27 neste projeto foram utilizados dois *Raspberrys Pi*. O primeiro *Raspberry Pi* tem como função alojar a página web. Como nesta página são apresentados os ficheiros de texto criados ao longo da produção, os quais estão, inicialmente, armazenados no disco dos controladores, o *Raspberry Pi* tem que fazer o download destes. Por outro lado, como na página, são realizadas algumas funções de controlo, o *Raspberry Pi* tem também que comunicar com o PLC.

Como os objetivos para este trabalho exigem uma capacidade de processamento maior do que um *Raspberry Pi* é capaz de fornecer, foi utilizado um segundo. Este último tem como função reproduzir o sistema de visão artificial, e para tal foi ligado uma câmara via USB.

#### 3.7.1 Visão Artificial

Neste trabalho foi elaborado um pequeno sistema de visão artificial com o objetivo de verificar se as paletes de MP do torno e da fresa estão completas ou se tem falta de peças. A câmara, para este fim, está instalada na ferramenta do robô com um suporte feito numa impressora 3D, como mostra a Figura 3.28 e está ligada diretamente ao *Raspberry Pi* via USB.

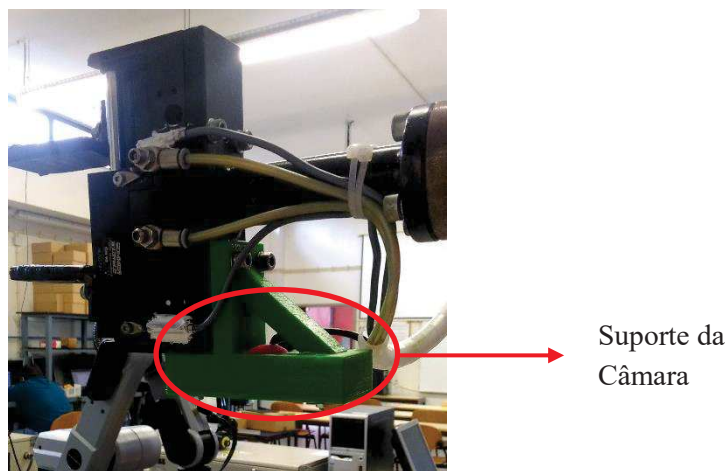


Figura 3.28: Suporte para a câmara.

O programa elaborado para este sistema foi realizado numa ferramenta do software MATLAB, o Simulink. Este foi realizado através de uma programação em blocos, que será explicado mais detalhadamente no capítulo seguinte.

### 3.7.2 Servidor *Web*

Visto que para dispositivos portáteis, como por exemplo *smartphones*, poderem aceder à página *web* via *wireless* foi instalado um *router* da marca TP-LINK representado na Figura 3.29. Este também foi ligado à mesma rede *Ethernet* disponibilizando assim uma rede *wireless* para que todos os dispositivos possam aceder a página.



Figura 3.29: *Router* da TP-LINK.

Uma vez que um dos objetivos da página *web* é acompanhar em tempo real ambos os setores da CFF, foram instaladas num local do laboratório, duas *webcams* HP HD 2300, como mostra a Figura 3.30. Desta forma o operador pode ver remotamente os setores de fabrico, do armazém e uma parte do setor de transporte. Estas duas câmaras estão ligadas diretamente, via USB, ao primeiro *Raspberry Pi*, ou seja, ao *Raspberry Pi* que faz de servidor *web*.



Figura 3.30: Câmaras instaladas na célula.

### 3.7.2.1 Sistema de controlo e alerta remoto

Outro objetivo da página *web* é a possibilidade de o operador, via *web*, controlar a célula, ou seja, poder executar as mesmas funções do sistema de controlo e de sinalização instalado no local. Assim, o operador a partir da página pode enviar os mesmos comandos que os executados na botoneira instalada nos setores.

O sistema de alerta/sinalização remoto é assegurado pelo envio de um email e de um SMS para o telemóvel. O email é enviado para a conta de correio eletrónico do operador sempre que alguém invade um dos setores da CFF e que seja solicitada a sua presença na célula. Por outro lado, o SMS, é enviado para um número previamente definido.

Para o envio de SMS decidiu-se utilizar um *Arduíno Due* e um módulo GSM. O *Arduíno* está ligado ao *Raspberry Pi* e quando alguém invade um dos setores, o *Raspberry Pi* envia um sinal ao *Arduíno* e este através do módulo GSM envia um SMS. No capítulo seguinte será explicado com mais detalhe como funciona o envio dos SMS de alarme.

### 3.7.2.2 Arduíno Due

Para o serviço de SMS foi utilizado um *Arduíno Due*, como é ilustrado na Figura 3.31, para efetuar a interligação entre o *Raspberry Pi* e o módulo GSM. Foi utilizado este modelo devido ao facto de já existir no departamento, na posse do Co-orientador, e por ser um dos microcontroladores mais rápidos da família *Arduíno*. Este está equipado com um microcontrolador ATMEL SAM3X8E ARM de 32 *bits*, 54 portas digitais, 12 portas analógicas e 12 portas PWM. A alimentação pode ser entre os 7 e os 12 VDC, sendo que a tensão máxima que os pinos de entradas e saídas digitais toleram é de 3.3V [46].



Figura 3.31: *Arduíno Due* [46].

### 3.7.2.3 Módulo GSM SIM 808

O envio do SMS propriamente dito, é feito através do módulo GSM. Este suporta redes GSM e GPRS quad-band. Possui conexão para antena GSM e GPS e a entrada para um cartão de comunicação. A alimentação para o bom funcionamento deste é de 12 VDC. Na Figura 3.32 é ilustrado um exemplo deste módulo [47].

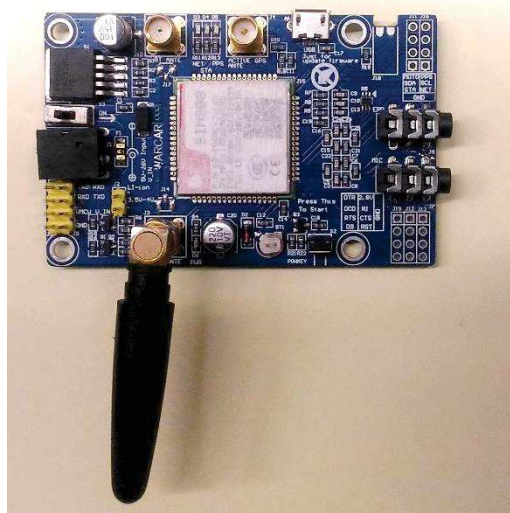


Figura 3.32: Módulo GSM SIM808.

## 3.8 Resumo do capítulo

Neste capítulo foi apresentada, a configuração da célula flexível de fabrico estudada. Verificando todos os setores presentes e a sua funcionalidade para que a CFF funcione de forma autónoma. Por outro lado, foi também abordado como foram desenvolvidos o servidor *web* e o sistema de visão artificial.

## 4. Proposta de Solução

Neste capítulo são apresentadas as soluções desenvolvidas para resolver os problemas e objetivos propostos nesta dissertação. São apresentados todos os algoritmos para os robôs do setor do armazém e do setor de fabrico, para o gestor da CFF (PLC) e para os dois microcontroladores (*Raspberry Pi*). A Figura 4.1, mostra a interligação entre os vários equipamentos presentes na célula.

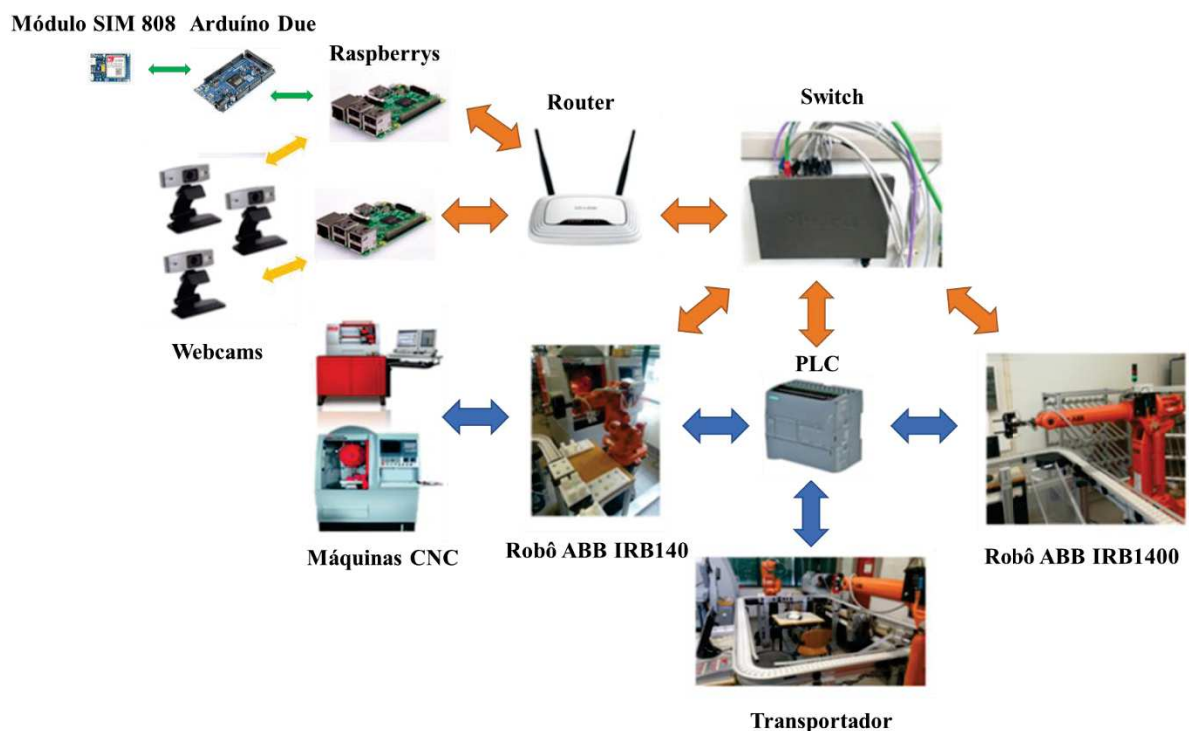


Figura 4.1: Comunicação entre os diversos equipamentos.

Como foi referido anteriormente, todos os equipamentos estão ligados através de uma rede LAN, criada pelo *switch*, via *Ethernet*, como está representado na figura através das setas a cor laranja.

As restantes ligações entre os controladores dos robôs, o PLC e o transportador são feitas com base em sinais digitais I/O, representado na figura através das setas a cor azul, onde o PLC assume o papel de master da CFF, tendo como função designar as várias tarefas para cada setor. As ligações entre as *webcams* e os *Raspberrys Pi* são através USB, representado na mesma figura com as setas a cor amarelo. Por último a ligação entre o Arduino, o *Raspberry Pi* e o módulo GSM, representadas através das setas a verde, são através de sinais digitais. A linguagem do programa utilizado no PLC foi em diagrama de contatos (Programação em *Ladder*).

Foram elaborados quatro programas para os robôs, desenvolvidos a partir de uma linguagem própria do fabricante ABB, “*RAPID*” [23]. Dois desses programas foram desenvolvidos para o robô do setor de fabrico e os outros dois para o robô do setor do armazém. O programa principal para o robô IRB140 denominado “*StFabrico.prg*”, é responsável por desempenhar as tarefas de carga e descarga das máquinas CNC e das paletes PA e MP, respetivamente. O segundo programa para este robô denominado “*AlarmesCFF3.prg*” tem como objetivo garantir a segurança dos operadores. Este funciona em simultâneo com o programa principal, em modo “*multitask*” e garante, aquando a invasão no setor de fabrico, a paragem imediata do robô e a ativação do alarme.

Para o robô IRB1400, presente no setor do armazém, foi desenvolvido um programa principal denominado “*stArmazem1.prg*” e é responsável por desempenhar as tarefas de carga e descarga das paletes MP e PA, respetivamente. O outro programa, “*AlarmeCFF.prg*” também foi desenvolvido com o objetivo de garantir a segurança dos operadores neste setor.

O transportador é controlado e monitorizado apenas pelo PLC, sendo que os sensores se encontram ligados a entradas e os *stoppers* a saídas. Deste modo, todos os equipamentos presentes na célula são *slaves* e o PLC é o *master*.

Por fim, o servidor *web* foi criado com o objetivo de o operador poder monitorizar e controlar a célula remotamente, sendo a página *web* a interface homem/máquina (HMI). Por um lado, o servidor é responsável por apresentar todos os ficheiros criados por ambos os robôs durante o processo de fabrico. Por outro lado, permite ao operador monitorizar e controlar ambos setores.

## 4.1 Robô do setor do Armazém

No desenvolvimento de uma CFF é necessária a comunicação entre todos os elementos que a constituem para que esta funcione corretamente, em tempo real e com um bom desempenho. Para a interface robótica implementada no setor do armazém são usadas entradas e saídas do controlador do robô, e a sua interface de comunicação com o gestor da CFF está presente nos Quadros (Quadro 4-1 e Quadro 4-2) respetivamente.

Quadro 4-1: Entradas do controlador do robô IRB1400.

Saídas do PLC	Entradas no Controlador do robô IRB 1400	Descrição
Q0.4	DI10_12	Carrega Palete MP Torno
Q0.5	DI10_13	Carrega Palete MP Fresa
Q9.0	DI10_14	Descarregar Palete PA Torno
Q9.1	DI10_15	Descarregar Palete PA Fresa
Q9.2	DI10_3	Botão de pressão “Start”
Q9.3	DI10_4	Botão de pressão “Stop”
Q8.1	DI10_5	Botão de pressão “Repor”
-	DI10_10PincaDesp	Sensor Indutivo 1 da Ferramenta de Trabalho
-	DI10_11PincaAper	Sensor Indutivo 2 da Ferramenta de Trabalho
-	DI10_10PincaDesp	Sensor indutivo do órgão terminal
-	DI10_11PincaDesp	Sensor indutivo do órgão terminal
-	DI10_6	Sensor ótico do órgão terminal
-	DI10_7	Sensor ótico do órgão terminal

Quadro 4-2: Saídas do controlador do robô IRB1400.

Entradas do PLC	Saídas no Controlador do robô IRB 1400	Descrição
I1.0	DO10_9	Palete MP Torno Carregada
I1.1	DO10_10	Palete MP Fresa Carregada
I9.0	DO10_11	Palete PA Torno Descarregada
I9.1	DO10_12	Palete PA Fresa Descarregada
I9.2	DO10_13	Peça PA Descarregada
-	DO10_2	Baliza de sinalização (luz Verde)
I9.1	DO10_3	Baliza de sinalização (luz Vermelha)
-	DO10_1Pinca	Abrir/Fechar <i>Gripper</i>

### 4.1.1 Start/Stop do Setor do Armazém

Como referido anteriormente, a função principal do robô deste setor é efetuar a carga das paletes de matéria-prima e a descarga das paletes de produtos acabados. Como se pode observar pelo fluxograma da Figura 4.2, o robô do setor do Armazém fica à espera de alguma paleta. Inicialmente, todas as paletes estão vazias. Se uma das paletes MP (MP Torno ou MP Fresa) passar neste setor esta pára informando o PLC. Este por sua vez envia um sinal digital ao controlador do robô para carregar a respetiva paleta. Após a carga, o controlador envia um sinal ao PLC a informar que a paleta está cheia de matéria-prima, e, enquanto esta não for descarregada pelo robô do setor de fabrico, ao passar pelo setor do armazém não irá parar. Após ser descarregada no setor de fabrico, o robô presente nesse setor, informa o Gestor da CFF que a paleta foi descarregada, e assim esta ao passar pelo setor do armazém e se o robô do armazém estiver livre, a paleta pára e irá ser novamente carregada. Isto repete-se ciclicamente, sendo o mesmo procedimento aplicado para a outra paleta MP. Para as paletes de PA, como referi anteriormente, no início do processo estão vazias e desta forma irão passar pelo setor do armazém e não irão parar. Quando o robô do setor de fabrico informar o PLC que uma das paletes PA (PA Torno ou PA Fresa) estiver carregada, esta irá parar no setor do armazém, caso este esteja disponível, para que seja descarregada.

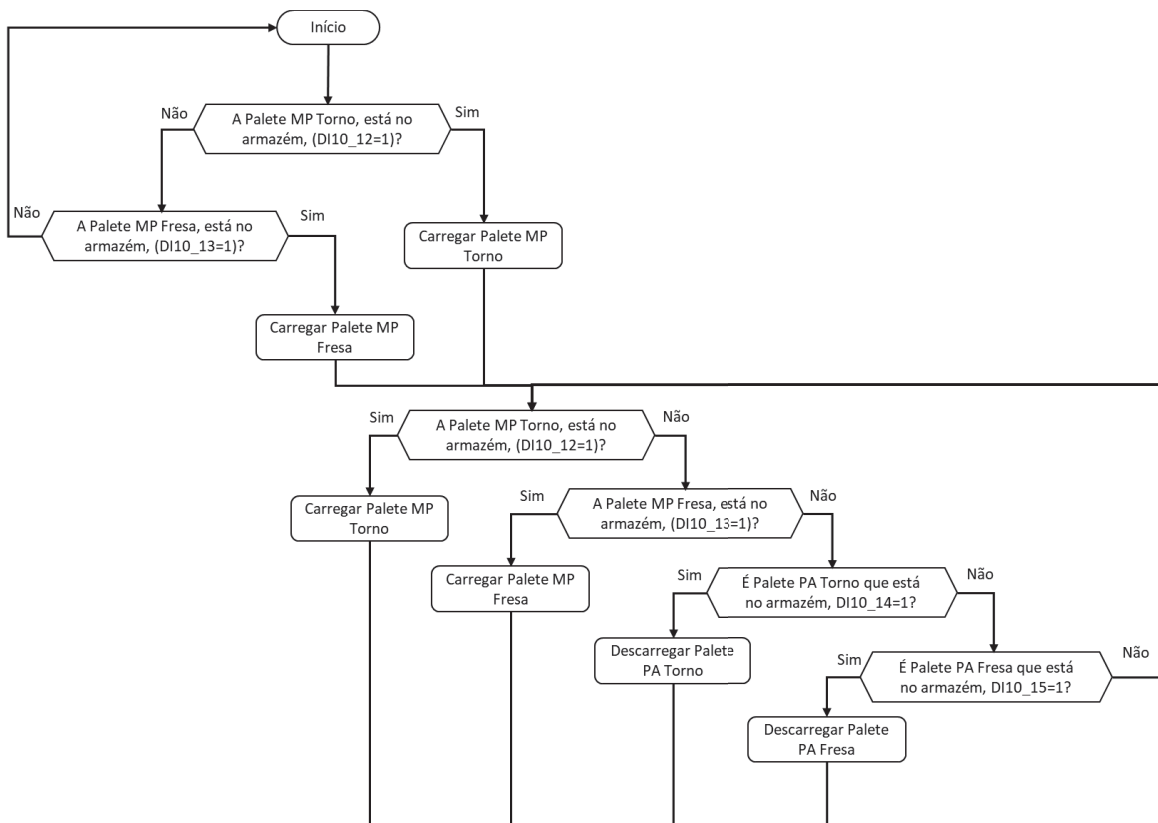


Figura 4.2: Fluxograma do programa “StArmazem1.prg”.

No programa encontra-se definida uma interrupção que é sempre ativada quando o operador pressiona o botão “Stop”. Quando é pressionado este botão, a execução da tarefa que o robô estava a realizar é interrompida e é direcionado para a rotina *trap*. A Figura 4.3 apresenta o fluxograma da rotina “rTrapStop”. Quando é direcionada para esta rotina, a luz vermelha da baliza de sinalização é ativada, o robô pára através da instrução “StopMove” e apresenta uma mensagem na consola a referir “Stop ativo” como ilustrado na Figura 4.4 a). De seguida, para dar seguimento à execução das tarefas, o operador terá de pressionar o botão “Ok”. Após o botão ser pressionado, aparece uma nova mensagem a referir “Retorno da Produção” como ilustrado na Figura 4.4 b), o robô, através da instrução “StartMove”, irá continuar a partir do ponto onde ficou parado e a luz verde da baliza de sinalização é novamente ligada indicando o bom funcionamento do setor.

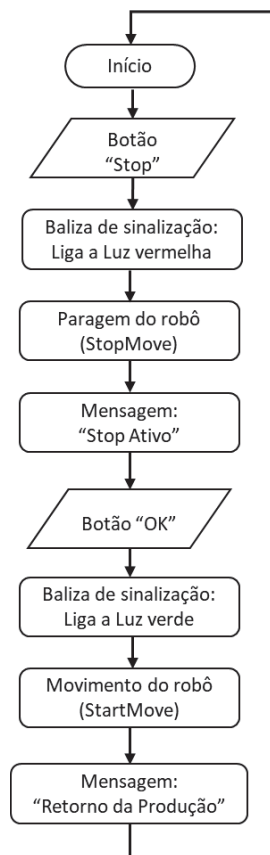
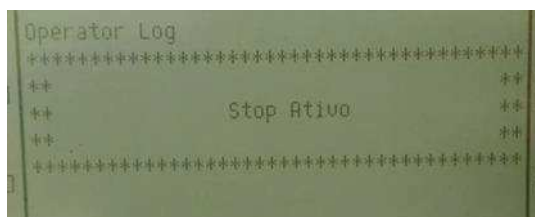
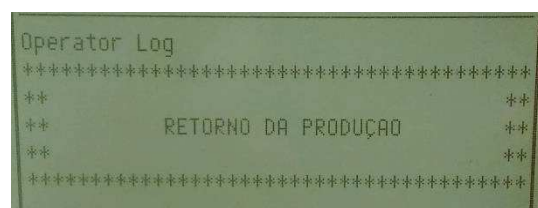


Figura 4.3: Fluxograma da rotina “rTrapStop”.



a) Mensagem Stop Ativo;



b) Mensagem Retorno da Produção.

Figura 4.4: Mensagens apresentadas na consola quando o operador pressiona o botão Stop e posteriormente o botão Ok para retomar o processo.

Todas as vezes que a *Trap* é executada, é chamada uma rotina “rInterrup” que cria um ficheiro “InterrupcoesSA.txt”. Este ficheiro regista todas estas interrupções realizadas pelo operador durante o processo. A Figura 4.5 apresenta o fluxograma da rotina.

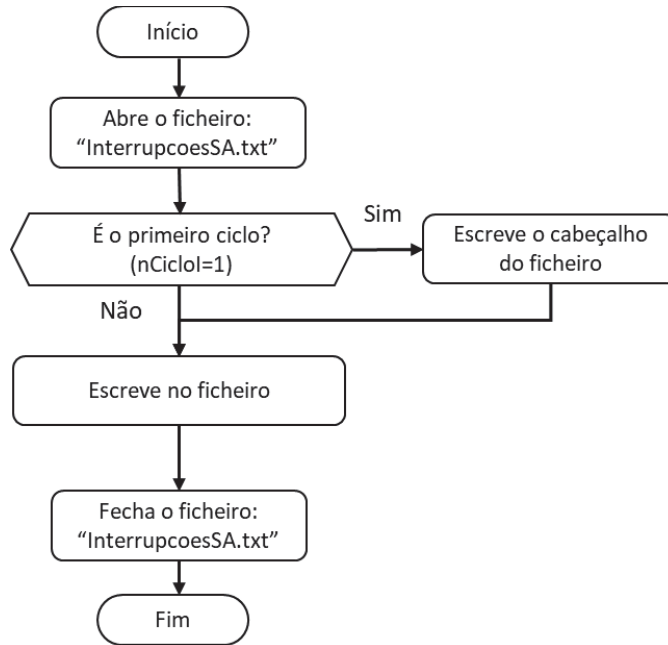


Figura 4.5: Fluxograma da rotina “rInterrup”.

A Figura 4.6 ilustra um exemplo do ficheiro “interrupcoesSA.txt”. Neste ficheiro são registadas a data, a hora e por fim a descrição.

Avisos no Setor do Armazém	Data	Hora	Descrição
Stop	2018-08-31	15:08:02	Stop, Paragem no processo
Retorno da Producao	2018-08-31	15:08:02	Botao Marcha Ligado
Stop	2018-08-31	15:12:47	Stop, Paragem no processo
Retorno da Producao	2018-08-31	15:12:47	Botao Marcha Ligado
Stop	2018-08-31	15:23:02	Stop, Paragem no processo
Retorno da Producao	2018-08-31	15:23:02	Botao Marcha Ligado

Figura 4.6: Exemplo do ficheiro “InterrupcoesSA.txt”.

### 4.1.2 Sistema de Carga das Paletes de matéria prima (MP)

Na Figura 4.7 é apresentado o fluxograma do funcionamento da rotina “rCarregaPaletaMP” responsável por efetuar a carga de matéria-prima nas respectivas paletes. Se alguma das paletes MP, MP Torno (DI10\_12=1) ou MP Fresa (DI10\_13=1), estiver no setor do Armazém, é chamada a rotina “rCarregaPaletaMP”. Dentro desta rotina, são chamadas 5 pequenas rotinas. A rotina “rIrrArmazem”, responsável por mover o robô ao armazém retirar peças como ilustrado na Figura 4.8, e as rotinas “LargaPeca1”, “LargaPeca2”, LargaPeca3” e LargaPeca4” responsáveis por colocar as peças na paleta nas suas diferentes posições, como exemplificado na Figura 4.9.

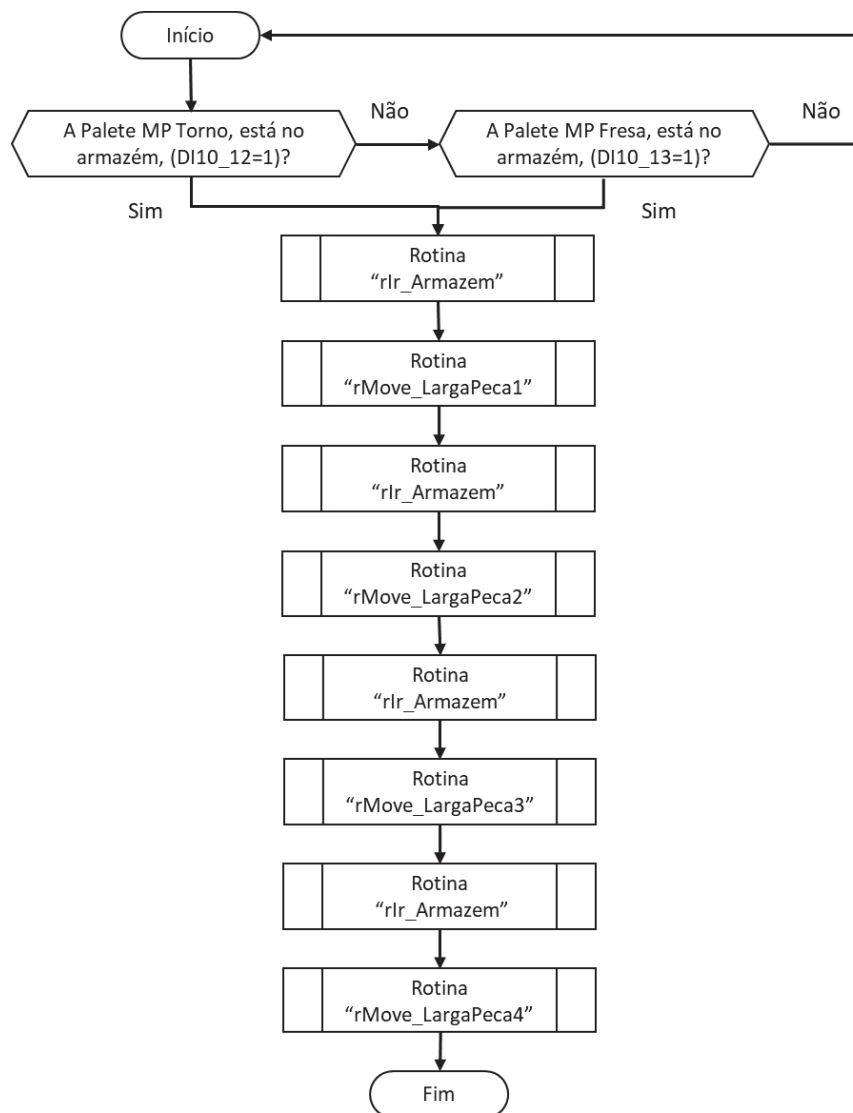
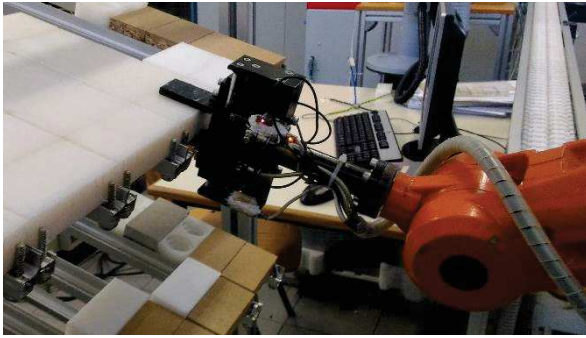
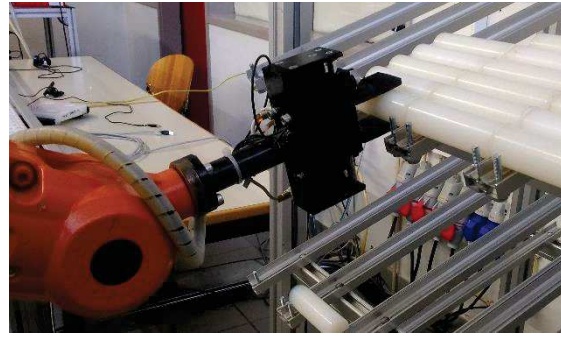


Figura 4.7: Fluxograma da rotina “rCarregaPaletaMP”.



a) Armazém das peças para a Palete MP Fresa;

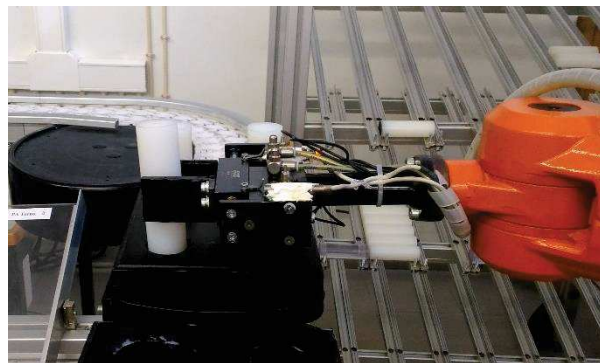


b) Armazém das peças para a Palete MP Torno.

Figura 4.8: Acção da rotina “rIr\_Armazem”.



a) Rotina “LargaPeca2” na Palete MP Fresa;



b) Rotina “LargaPeca3” na Palete MP Torno.

Figura 4.9: Acção das rotinas para largar peças nas paletes MP.

Após a carga da última matéria-prima na paleta, o robô vai para o ponto “nVerPeca” e posteriormente ao “nVerpeca1”, e através das fibras óticas (DI10\_6 e DI10\_7) localizadas na ferramenta do robô, verifica se a paleta está completa ou incompleta. Se numa determinada posição não existir peça a variável “nPecaMPx” vai a 1 se for a paleta PA Torno, e se for a paleta PA Fresa será a variável “nPecaMPFx”. Estas variáveis serão posteriormente utilizadas no ficheiro para descrever que a “pecax” não estava na paleta. Na Figura 4.10 pode-se observar o posicionamento do robô no ponto “nVerPeca”.

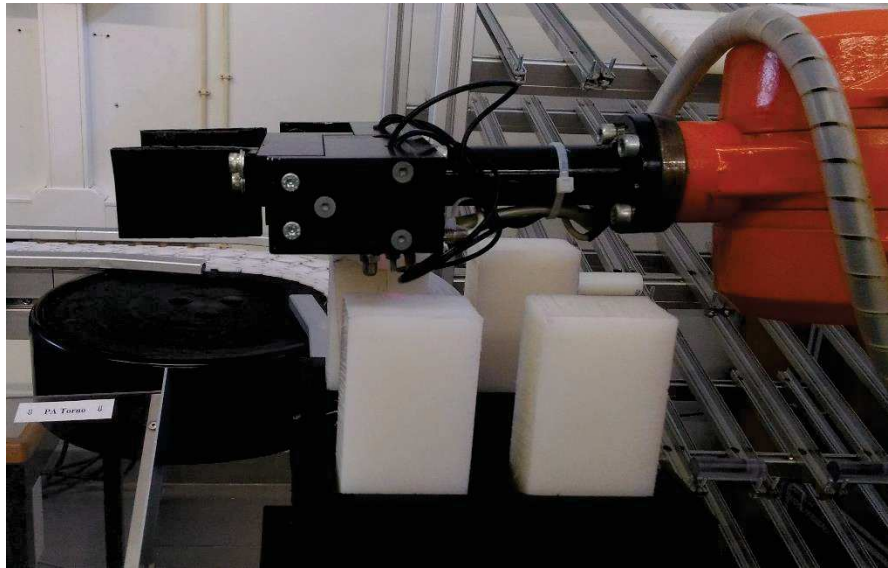


Figura 4.10: Robô no ponto “nVerPeca”.

No final desta tarefa, são executadas as rotinas “rPaletesMP” e “rPaletesMPF” responsáveis por criar, respetivamente, os ficheiros “rRegistaPaletesAMPT.txt” e “rRegistaPaletesAMPF.txt”. A primeira rotina é executada ao fim de efetuar a carga da Paleta MP Torno e a segunda ao fim de efetuar a carga da Paleta MP Fresa. A Figura 4.11 apresenta o fluxograma de ambas as rotinas.

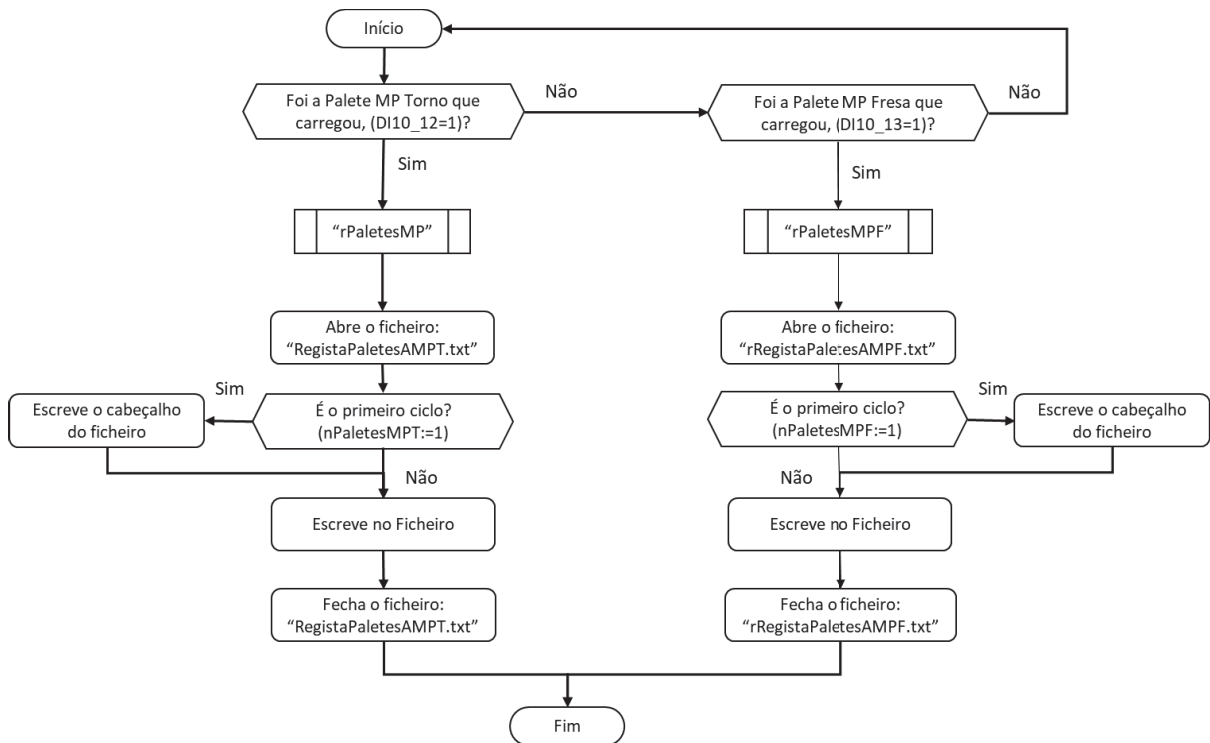


Figura 4.11: Fluxograma das rotinas “rPaletesMP” e “rPaletesMPF”.

A Figura 4.12 ilustra um exemplo do ficheiro “rRegistaPaletesAMPT.txt”. É de notar, que o ficheiro “rRegistaPaletesAMPF.txt” apresenta o mesmo formato. Neste ficheiro é descrito o número da paleta, a data, a hora e refere a situação da paleta, ou seja, descreve se a paleta estava completa, incompleta ou vazia. Se estiver incompleta, é descrito no ficheiro qual ou quais peças que caíram durante a carga.



n. Paleta MP	Data	Hora	Descricao
1	2018-08-31	14:50:47	A Paleta MP estava incompleta: A peca 3 nao estava na Paleta MP A peca 4 nao estava na Paleta MP
2	2018-08-31	14:59:07	A Paleta MP estava completa

Figura 4.12: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesAMPT.txt”.

No final, o robô desloca-se para o ponto de repouso e informa o PLC que a paleta está carregada, através da ativação das saídas da DO10\_9 para paleta do Torno e DO10\_10 para a paleta da Fresa.

### 4.1.3 Sistema de Descarga das Paletes de produtos acabados (PA)

Como mencionado na secção 4.1.1, o robô do setor do armazém também é responsável por efetuar a descarga das paletes dos produtos acabados. Na Figura 4.13 é apresentado o fluxograma do funcionamento das rotinas “rDescarregaPAT1” e “rDescarregaPAF1” responsáveis por efetuar a descarga das paletes. Quando é ativada a entrada I1.4 no PLC ou a I1.5, significa que a paleta de PA do Torno ou a paleta PA Fresa, respetivamente, está carregada. Assim quando uma das paletes passar pelo setor do armazém e, este estiver disponível, a paleta pára. Após a qual, é ativada a saída Q9.0 ou Q9.1 no PLC e estas posteriormente vão ativar a entrada DI10\_14 ou DI10\_15 no controlador do robô, iniciando assim o processo de descarga da paleta.

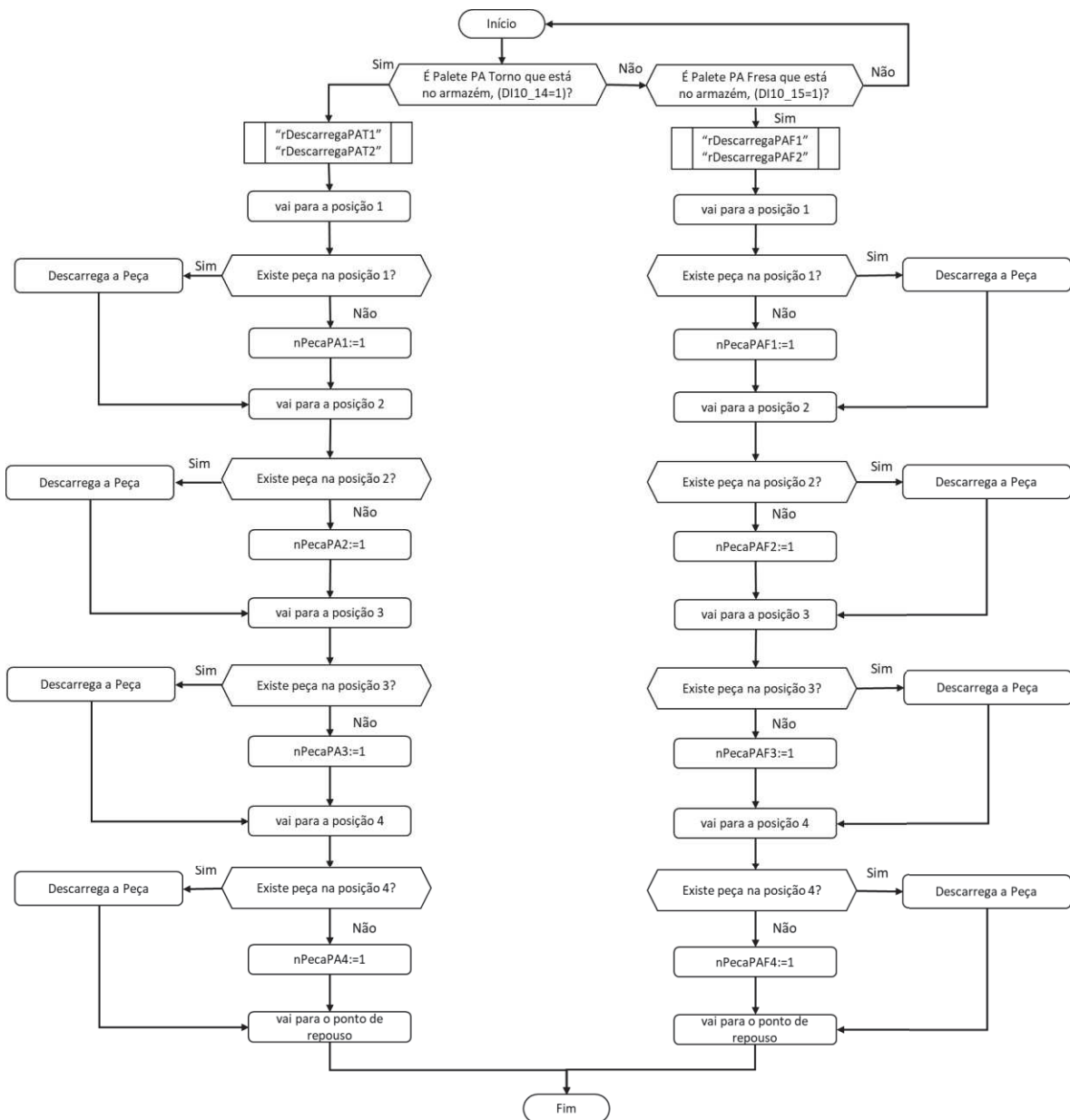


Figura 4.13: Fluxograma das rotinas “rDescarregaPAT1” e “rDescarregaPAF1”.

Quando o robô estiver a executar esta tarefa e numa determinada posição não estiver uma peça maquinada, a variável “nPecaPAx” no caso seja a paleta PA Torno, ou “nPecaPAFx” no caso da Paleta PA Fresa vai a 1, para posteriormente ser utilizada na escrita do ficheiro informando que a “Pecax” não estava na paleta. Na Figura 4.14 é ilustrado o robô a descarregar a Paleta PA Fresa.

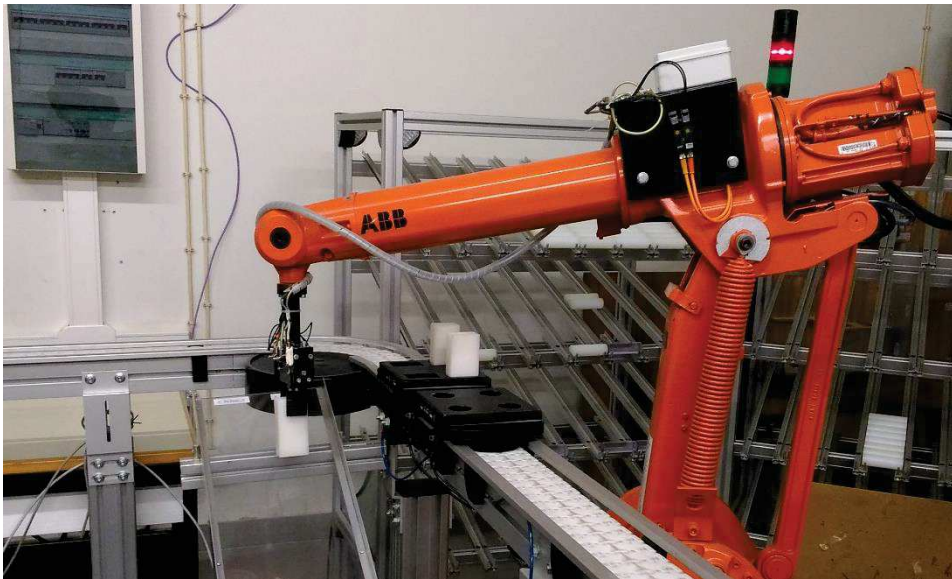


Figura 4.14: Tarefa de descarregamento da Paleta PA Fresa.

No final do descarregamento da paleta o robô desloca-se para o ponto de repouso, informa o PLC que a paleta foi descarregada, através da ativação das saídas DO10\_11 caso seja a paleta PA Torno ou DO10\_12 caso seja a paleta PA Fresa e são executadas as rotinas “rPaletesPAT” ou “rPaletesPAF” responsáveis por criar um ficheiro e referir a situação da paleta. Na Figura 4.15 é apresentado o fluxograma das rotinas “rPaletesPAT” e “rPaletesPAF” responsáveis por criar os ficheiros “RegistaPaletesAPAT.txt” e “RegistaPaletesAPAF.txt” respetivamente.

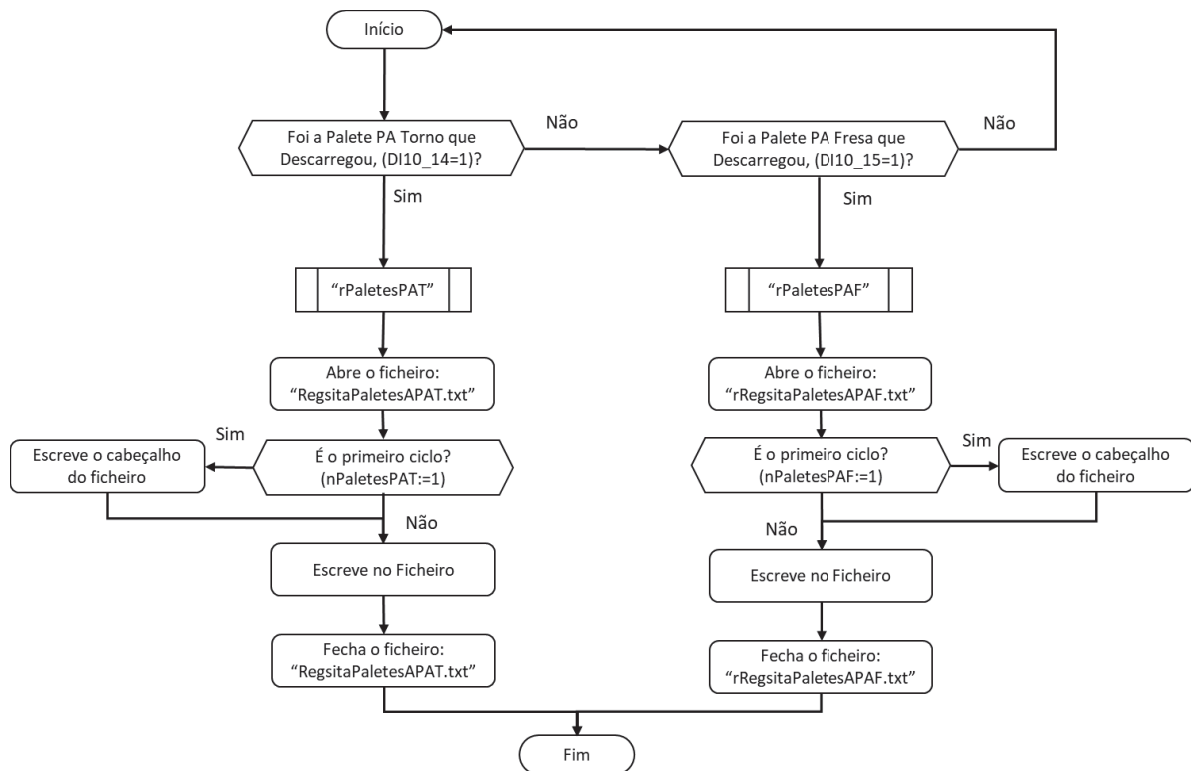


Figura 4.15: Fluxograma das rotinas “rPaletesPAT” e “rPaletesPAF”.

A Figura 4.16 apresenta um exemplo do ficheiro “RegistaPaletesAPAT.txt”. O ficheiro “rRegistaPaletesAPAF.txt” apresenta o mesmo formato. Os ficheiros contêm a informação do número da paleta, a data, a hora e por fim descreve se a paleta estava completa, incompleta ou vazia. Se a paleta PA vier incompleta é descrito no ficheiro qual ou quais as peças que faltavam.

RegistaPaletesAPAT - Bloco de notas

Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda

h	Paleta PA	Data	Hora	Descricao
1		2018-08-31	14:55:23	A Paleta PA estava incompleta: A peça 2 nao estava na Paleta PA
2		2018-08-31	15:10:48	A Paleta PA estava incompleta: A peça 1 nao estava na Paleta PA A peça 4 nao estava na Paleta PA

Figura 4.16: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesAPAT.txt”.

#### 4.1.4 Sistema de emergência e segurança no setor do armazém

Um dos pontos mais importantes em qualquer empresa é garantir a segurança dos operadores e a integridade dos equipamentos. O programa “AlarmeCFF.prg” tem como função garantir a segurança dos operadores da CFF. Este programa, como referido anteriormente, funciona em simultâneo com o programa principal, em “*multitask*”.

Na Figura 4.17 é exibido o fluxograma do programa “AlarmeCFF.prg”. Como se pode observar, o programa verifica se algum dos sensores está ou foi ativo, através das entradas DI10\_2 e DI10\_3. Se alguma destas entradas, mudar o seu estado de 0 para 1, significa que houve uma invasão no setor, dentro do volume de trabalho do robô. Pelo que é imediatamente executada a instrução “StopMove”, parando o movimento do robô. Por conseguinte, o alarme sonoro e a luz vermelha da baliza de sinalização são ativados e no ecrã da consola de programação é mostrada uma mensagem referindo que houve uma intrusão, como está ilustrado na Figura 4.18 a).

De forma a dar continuidade às tarefas que estavam a ser realizadas pelo robô, o operador deve deslocar-se para uma zona segura, fora do setor, e pressionar o botão “Ok” presente na botoneira instalada neste setor. Antes de pressionar o botão, o operador deve verificar se existem equipamentos danificados ou pessoas dentro do espaço de trabalho do robô. Depois de pressionar o botão “Ok”, o alarme sonoro é desativado, a luz verde da baliza de sinalização é ativada e o robô, através da instrução “StartMove”, continua a tarefa que estava a executar, aparecendo outra mensagem na consola a referir que o alarme está ok, como exemplificado na Figura 4.18 b).

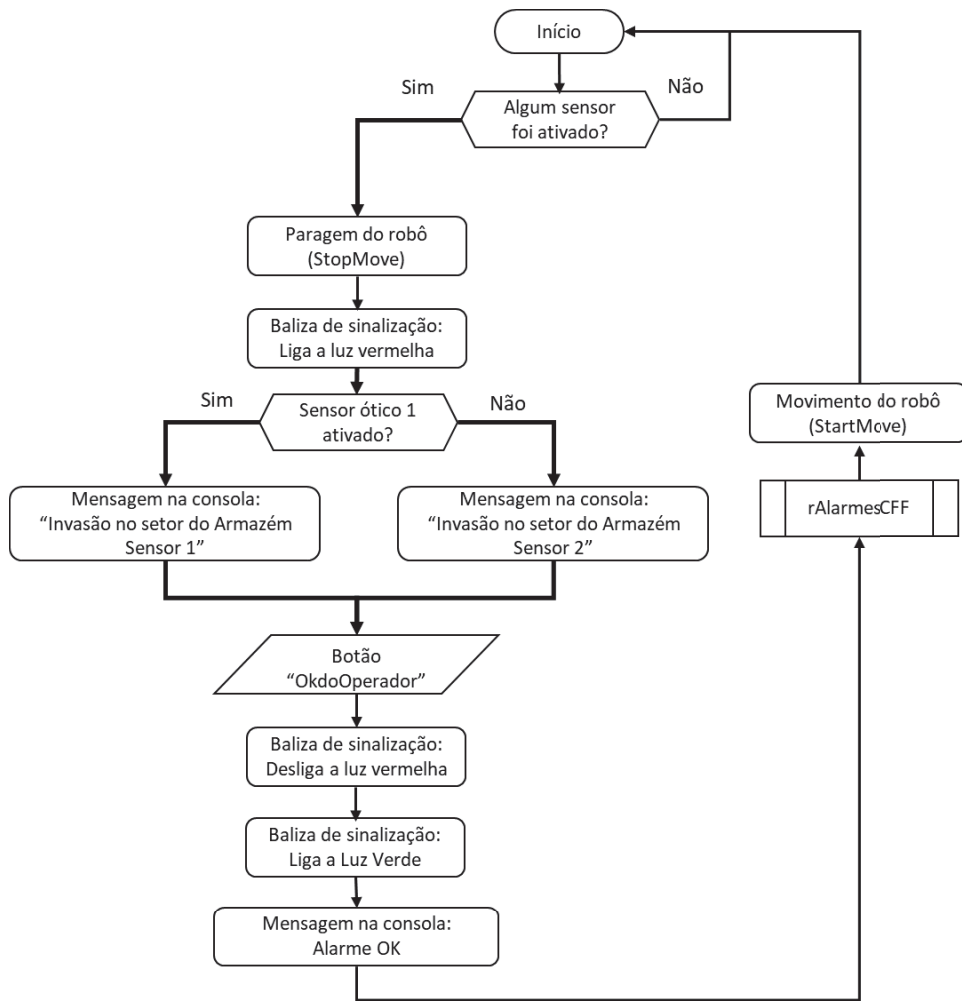
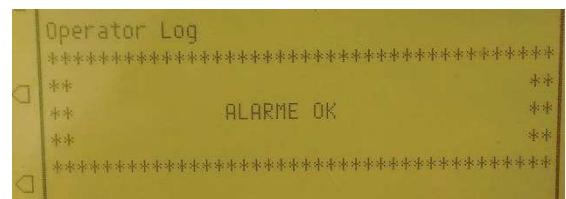


Figura 4.17: Fluxograma do programa “AlarmeCFF.prg”.



a) Mensagem quando ocorre uma invasão;



b) Mensagem quando é reposto o alarme.

Figura 4.18: Mensagens apresentadas na Consola numa situação de alarme neste setor.

Por fim através da rotina “rAlarmeCFF”, o alarme ocorrido é registado no ficheiro “AlarmesSA.txt”. A Figura 4.19 apresenta o fluxograma da rotina “rAlarmesCFF”. Inicialmente é aberto o ficheiro e, se for o primeiro alarme ocorrido no processo, é criado um cabeçalho e posteriormente são registados os alarmes ocorridos. Após ser registado cada alarme ocorrido, é fechado o ficheiro.

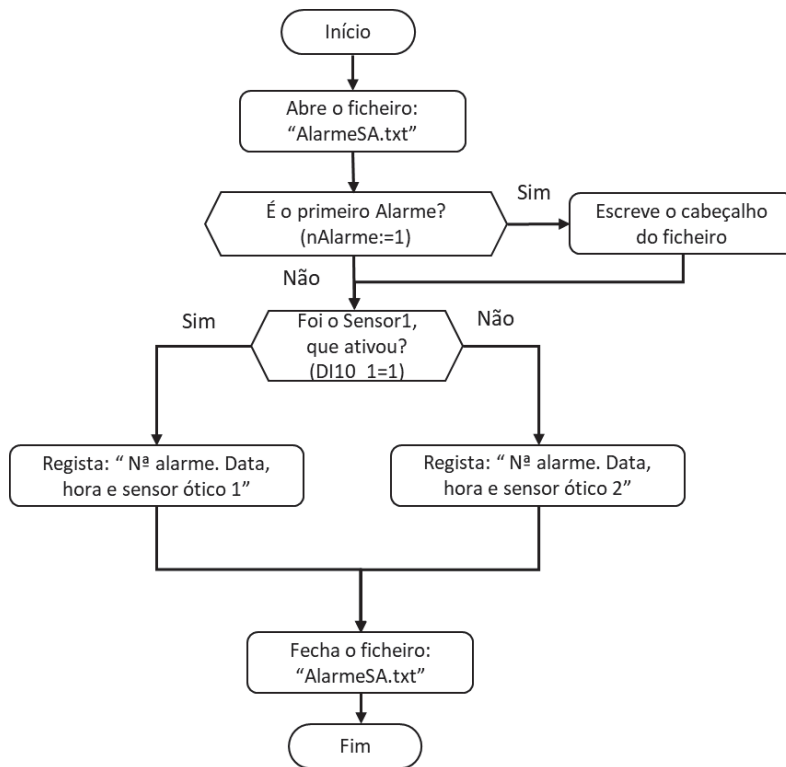


Figura 4.19: Fluxograma da rotina “rAlarmeCFF”.

A Figura 4.20 expõe um exemplo do ficheiro “AlarmesSA.txt”. Este ficheiro apresenta um inventário de todas as intrusões detetadas no setor do armazém. Mais detalhadamente, apresenta, o número de alarmes, a data, a hora e por fim qual dos sensores foi ativado.

nº Alarme	Data	Hora	Descricao
1	2018-07-26	14:48:05	sensor 2
2	2018-07-26	14:48:09	sensor 2
3	2018-07-26	14:48:12	sensor 1
4	2018-07-26	14:48:15	sensor 2
5	2018-07-26	14:48:20	sensor 1

Figura 4.20: Exemplo do ficheiro “AlarmeSA.txt”.

Todos estes ficheiros produzidos ao longo destas tarefas, são armazenados na memória do controlador do robô IRB1400. Assim quando o operador quiser analisá-los e/ou guardá-los terá que aceder ao robô para depois fazer o seu *download*.

## 4.2 Robô do setor de fabrico

Neste setor, como nos outros setores presentes na CFF, é necessária uma interface de comunicação entre os vários equipamentos existentes no setor e o Gestor da CFF, para que haja uma interação em tempo real entre todos os elementos. Nos Quadros (Quadro 4-3 e Quadro 4-4) são apresentadas, as entradas e saídas, respetivamente, do controlador do robô IRB 140 e a sua interface com o PLC.

Quadro 4-3: Entradas do controlador do robô IRB140.

Saídas do PLC	Entradas no Controlador do robô IRB 1400	Descrição
-	DI12_1	Sensor ótico 2- sensor de intrusão
<b>Q9.5</b>	DI12_2	Botão de impulso “Stop”
<b>Q9.4</b>	DI12_3	Botão de impulso “OKdooperador”
<b>Q8.0</b>	DI12_15	Botão de impulso “ProduçãoCancelada”
-	DI12_6	Sensor ótico 1- sensor de intrusão
-	DI12_7	Sensor indutivo do órgão terminal
-	DI12_8	Sensor indutivo do órgão terminal
<b>Q0.6</b>	DI12_9	Descarregar Palete MP Torno
<b>Q0.7</b>	DI12_10	Descarregar Palete MP Fresa
<b>Q1.0</b>	DI12_11	Carregar Palete PA Torno
<b>Q1.1</b>	DI12_12	Carregar Palete PA Fresa

Quadro 4-4: Saídas do controlador do robô IRB140.

Entradas do PLC	Saídas no Controlador do robô IRB 1400	Descrição
-	DO12_1	Baliza de sinalização (luz verde)
-	DO12_2	Baliza de sinalização (luz vermelha)
<b>I8.0</b>	DO12_3	Buffer MP Torno Carregado
<b>I8.1</b>	DO12_4	Buffer MP Fresa Carregado
<b>I8.2</b>	DO12_5	Buffer PA Torno Carregado
<b>I8.3</b>	DO12_6	Buffer PA Fresa Carregado
<b>I1.2</b>	DO12_9	Palete MP Torno Descarregada
<b>I1.3</b>	DO12_10	Palete MP Fresa Descarregada
<b>I1.4</b>	DO12_11	Palete PA Torno Carregada
<b>I1.5</b>	DO12_12	Palete PA Fresa Carregada
<b>I9.4</b>	DO12_13	Palete PA Fresa Vazia
<b>I9.5</b>	DO12_14	Palete PA Torno Vazia
-	DO10_1Pinça	Abertura/Fecho Gripper

Para o bom funcionamento deste setor é necessário que, para além da comunicação entre o robô e o gestor da CFF, as máquinas CNC estejam a comunicar em tempo real com o robô. De seguida é apresentada a interface de comunicação entre as máquinas e o controlador. Nos

Quadros (Quadro 4-5 e Quadro 4-6) são apresentadas as entradas e as saídas, respetivamente, das máquinas e a sua ligação ao PLC. Esta interface permite o controlo e a monitorização das máquinas CNC, por exemplo: o robô sabe, em tempo real, por um lado se as máquinas CNC estão a maquinar alguma peça, por outro lado se alguma máquina tem algum problema tais como, a porta não abriu ou não fechou, entre outras coisas.

Quadro 4-5: Interface robótica com a máquina CNC Torno.

Entradas no Controlador do robô IRB 140	Descrição
DI10_1	Stop no Programa
DI10_2	Chuck Aberto
DI10_3	Chuck Fechado
DI10_4	Porta Aberta
DI10_5	Porta Fechada
DI10_8	Emergência/Alarme Ativo
Saídas no controlador do robô IRB 140	Descrição
DO10_2	Start ao Programa
DO10_3	Fechar Porta
DO10_4	Abrir Porta
DO10_7	Fechar Chuck
DO10_8	Abir Chuck

Quadro 4-6: Interface robótica com a máquina CNC Fresa.

Entradas no Controlador do robô IRB 140	Descrição
DI10_9=1 /DI10_10=0	Alarme Ativo
DI10_9=0/DI10_10=1	Emergência Ativa
DI10_12	Stop ao Programa
DI10_13	Vice Fechado
DI10_14	Vice Aberto
DI10_15	Porta Fechada
DI10_16	Porta Aberta
Saídas no controlador do robô IRB 140	Descrição
DO10_9	Fechar Porta
DO10_13	Start ao Programa
DO10_14	Fechar Vice
DO10_15	Abrir Vice
DO10_16	Abrir Porta

### 4.2.1 Start do setor de fabrico

Como referido anteriormente, neste setor, o robô é responsável por efetuar várias tarefas. Essas tarefas passam pelo descarregamento das paletes MP, o carregamento das paletes PA e o carregamento/d Descarregamento das máquinas CNC, Torno e Fresa.

Inicialmente, na rotina principal é chamada uma rotina “rCondiçõesIniciais” em que verifica se as máquinas têm algum alarme/avaria. Caso não tenham, o processo de fabrico continua, caso contrário, o robô espera pelo “Ok” do operador para continuar. Para que o robô carregue e descarregue as máquinas CNC desde o início do processo, é necessário o operador colocar matéria-prima em ambos os *buffers* MP. Contudo, por vezes, devido a alguma falha do operador os *buffers* permanecem vazios. Assim, o robô terá que esperar até que alguma das paletes MP chegue a este setor, atrasando deste modo o processo de fabrico. Numa situação normal, em que os *buffers* de MP contêm matéria prima, o robô irá carregar as máquinas CNC e posteriormente, descarregá-las após a peça estar maquinada. Por fim, quando os *buffers* PA estiverem carregados, o robô aguarda a chegada das Paletes PA para efetuar o carregamento das mesmas. Ao fim de estarem carregadas o robô irá aguardar pelas Paletes MP e efetuar o seu descarregamento e assim repetindo-se o processo. Na Figura 4.21 está um fluxograma com as tarefas que o robô executa neste setor.

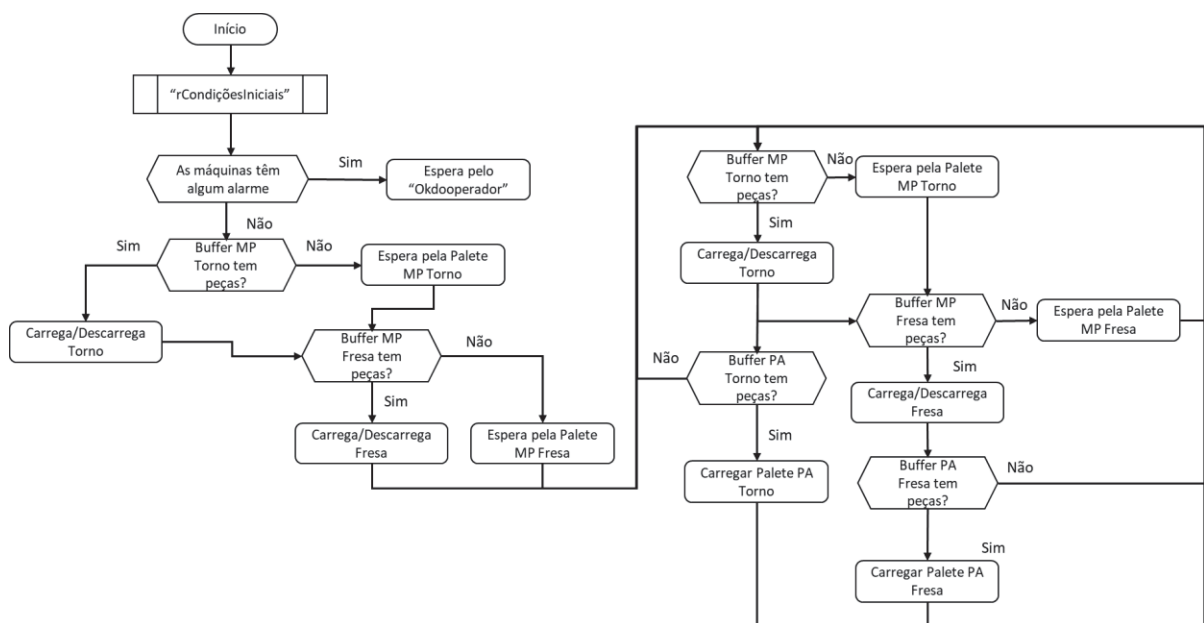


Figura 4.21: Fluxograma das rotinas executadas na rotina principal do programa.

À semelhança do robô do setor do armazém, no robô IRB140 encontra-se definida uma interrupção que é sempre ativada quando o operador pressiona o botão “Emergencia”. Quando é pressionado este botão, a tarefa que o robô estava a executar é interrompida e é direcionado para a rotina *trap*. A Figura 4.22 apresenta o fluxograma da rotina “rTrapEmergencia”. Quando é direcionada para esta rotina, a luz vermelha da baliza de sinalização é ativa, o robô

pára através da instrução “StopMove” e aparece uma mensagem na consola a referir “Emergencia Ativa. Deseja Retomar ou Cancelar a Produção?” como mostra na Figura 4.23. Se o operador optar por retomar a produção, e dar seguimento à execução das tarefas, terá que acionar o botão “Ok”. Assim, o robô retomará do ponto onde parou, e a luz verde é novamente ativada. Se o operador optar pelo cancelamento da produção, terá que pressionar o botão “ProducaoCancelada”. Com esta ação, o alarme sonoro permanece ativo, bem como a luz vermelha da baliza de sinalização e, caso os equipamentos não estejam danificados, através da instrução “MoveAbsJ Home” o robô desloca-se para uma posição de repouso, e as máquinas CNC por segurança fecham as portas.

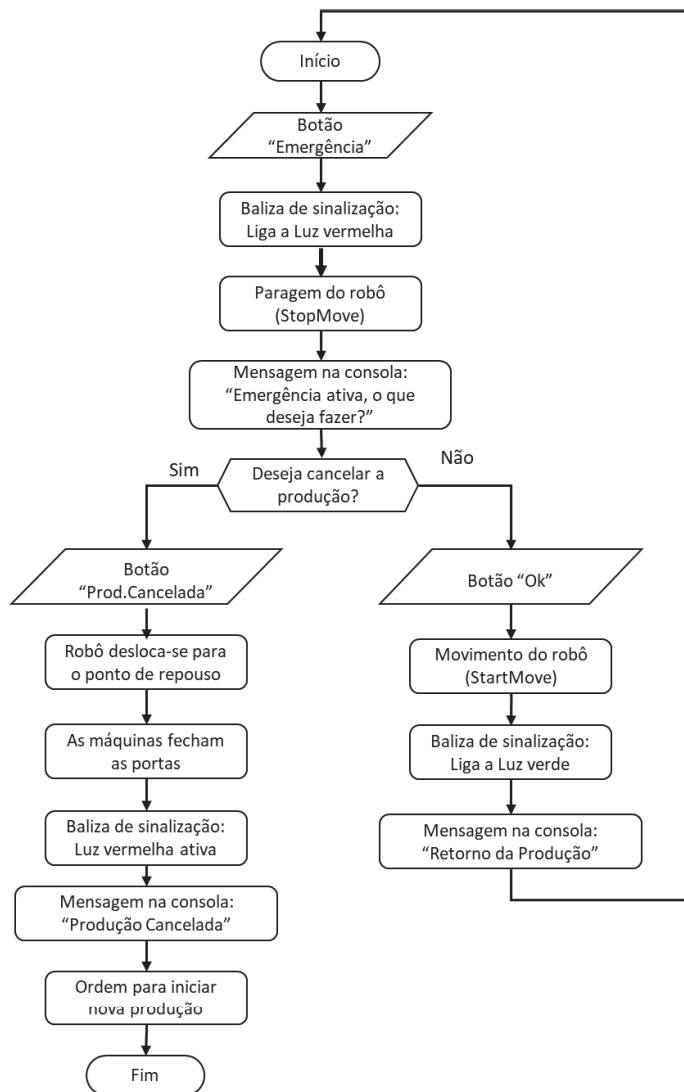
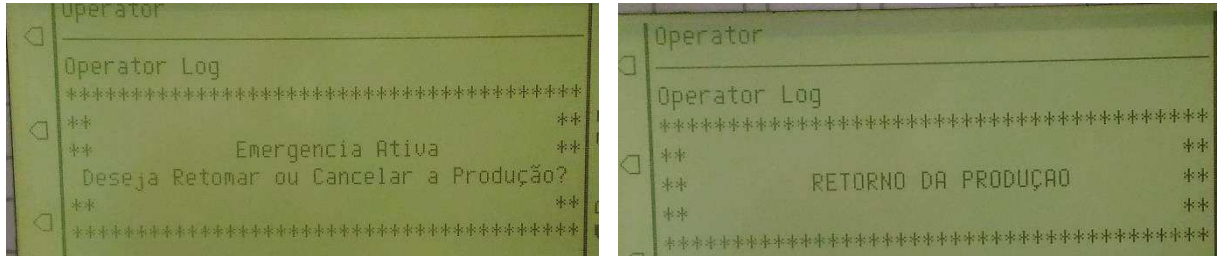


Figura 4.22: Fluxograma da rotina “rTrapEmergência”.

Como referido na página anterior na Figura 4.23 é ilustrado um exemplo da mensagem que aparece na consola do robô quando é direcionada esta rotina *trap* e posteriormente a mensagem quando o operador pressiona no botão “Ok”.



a) Mensagem quando se pressiona o botão “Emergência”;

b) Mensagem quando se pressiona o botão “Ok”.

Figura 4.23: Mensagens que aparecem na consola quando é ativada a rotina *trap* Emergência.

## 4.2.2 Avarias/ Emergências nas máquinas CNC

Um dos fatores que pode afetar a produtividade do setor de fabrico é a ocorrência de avarias nas máquinas CNC. Na ocorrência de uma falha, o robô deixa de realizar as tarefas de carregamento/descarregamento associadas a essa máquina, para não correr o risco de danificar os equipamentos (robô e máquina) e assim não comprometer todo o processo de fabrico neste setor. Neste sentido, quando ocorrer uma falha numa das máquinas CNC, o robô continua a executar as tarefas de carregamento/descarregamento da outra máquina não comprometendo assim todo o processo de fabrico.

Na situação em que ocorra uma falha em ambas as máquinas, como por exemplo, a falta de ar comprimido, o operador pode optar por continuar a produção, acionando o botão “Ok” e assim, o robô deixa de executar as tarefas em ambas as máquinas e executa somente as tarefas de descarregamento das paletes MP Torno ou Fresa, caso, os *buffers* MP e PA das máquinas estejam livres, e o carregamento das paletes PA Torno ou Fresa, caso os *buffers* PA estejam cheios. Por outro lado, caso a avaria seja mais grave o operador pode optar por cancelar a produção, acionando o botão “ProducaoCancelada”.

Assim, se for detetada uma falha numa das máquinas ou em ambas, é executada a rotina “rTrapMaquinas” como apresentado na Figura 4.24. Com mais detalhe, inicialmente, no fluxograma, é analisado em que máquina ocorreu o alarme. Consoante o alarme que ocorreu é apresentada uma mensagem na consola e são ativadas umas variáveis.

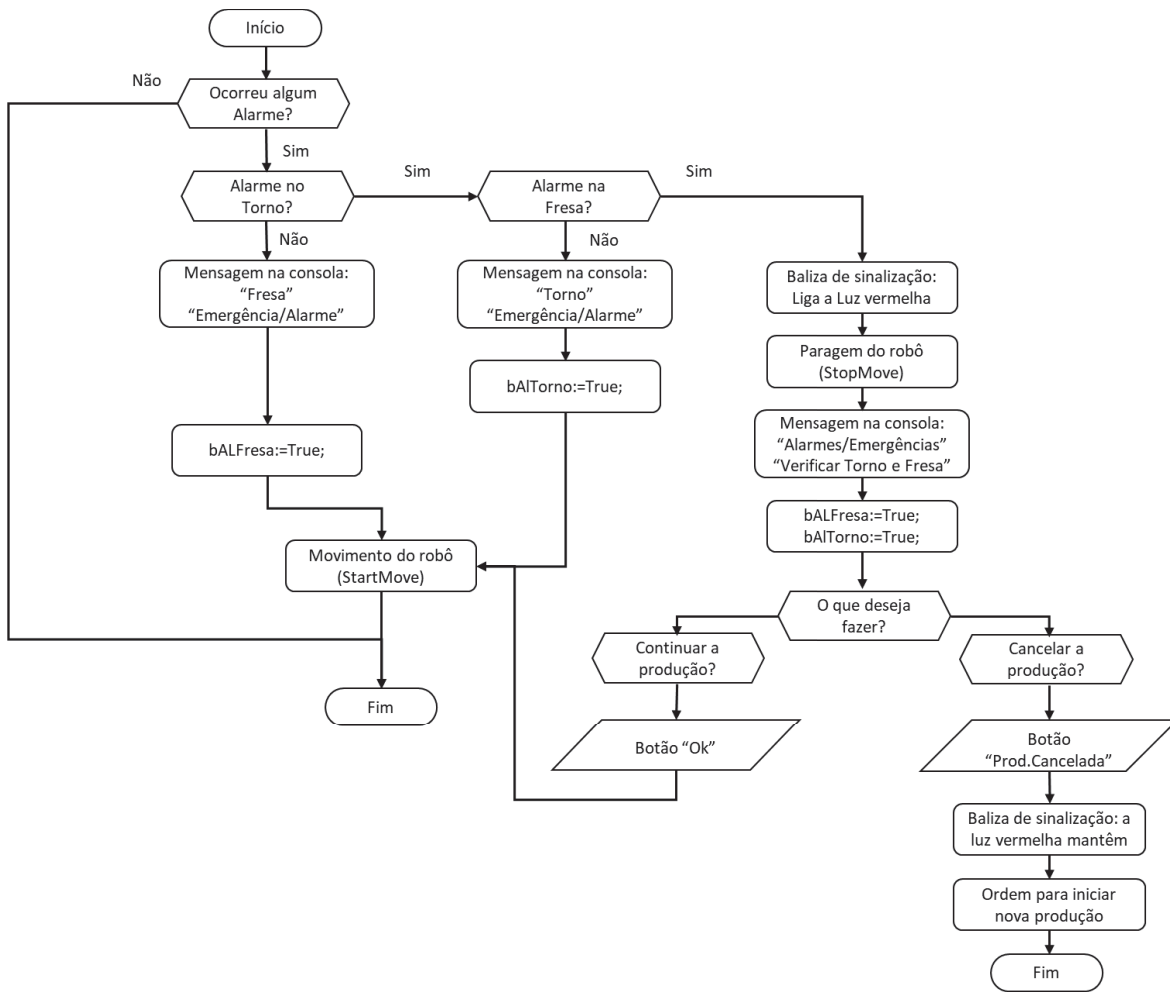
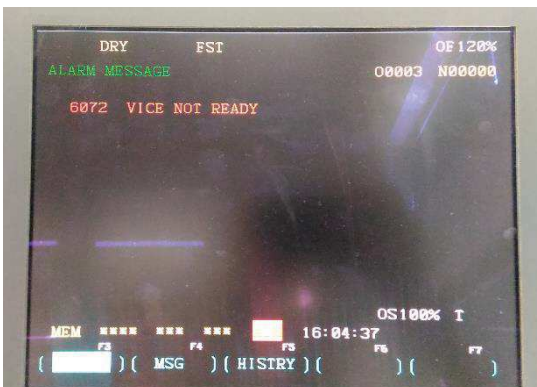
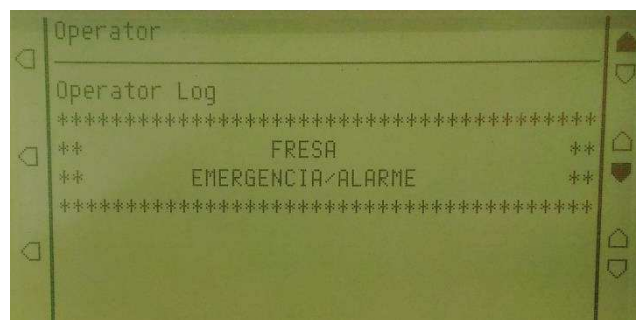


Figura 4.24: Fluxograma da rotina “rTrapMaquinas”.

Na Figura 4.25 está apresentado um exemplo de uma mensagem que aparece na interface da Fresa CNC em caso de alarme e posteriormente a que aparece na consola. Para o Torno as mensagens são semelhantes.



a) Mensagem de alarme na Fresa;



b) Mensagem de alarme na consola.

Figura 4.25: Mensagens apresentadas quando ocorre algum alarme nas máquinas.

Por fim, após o operador verificar as máquinas, resolver a anomalia e retirar o Alarme, o botão Reset (presente no teclado das máquinas) deverá ser acionado, o qual executa a rotina “rTrapMaquinas2” em que coloca as variáveis bALTorno, bALFresa a *False*, como representado na Figura 4.26.

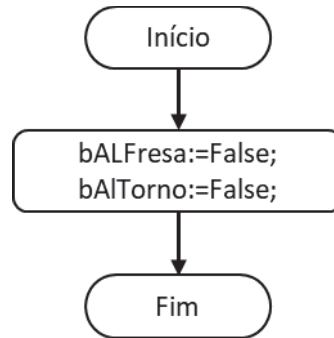


Figura 4.26: Fluxograma da rotina “rTrapMaquinas2”.

### 4.2.3 Manutenção das Máquinas CNC

Como referido na secção 4.2.2, quando ocorre uma avaria/alarme numas das máquinas CNC, o robô vai efetuar as tarefas de carregamento/descarregamento da outra máquina que está em funcionamento. Se a falha acontecer em ambas, o robô executa somente as tarefas de descarregamento das paletes MP e carregamento das paletes PA.

Por vezes, mesmo com ambas as máquinas em funcionamento normal, pode existir uma pequena anomalia ou falha, como por exemplo, um parafuso mal apertado, um tubo de ar comprimido mal colocado, entre outras situações. Assim, para não afetar todo o processo de fabrico o operador coloca a máquina que tem essa pequena falha em manutenção e o robô executa as tarefas relacionadas com a outra máquina CNC.

Deste modo, quando o operador pressionar o botão de “Manutenção”, é executada a rotina “rTrapManutenção” como ilustrado na Figura 4.27. Assim, é ativada a luz vermelha da baliza de sinalização, o robô pára no ponto onde se encontrava e o operador escolhe qual a máquina que quer colocar em Manutenção como representado na Figura 4.28. Posteriormente aparece uma mensagem na consola a referir qual a máquina que foi colocada em Manutenção como mostrado na Figura 4.29 e é ativada uma variável e o robô retorna o seu movimento do ponto onde se encontrava.

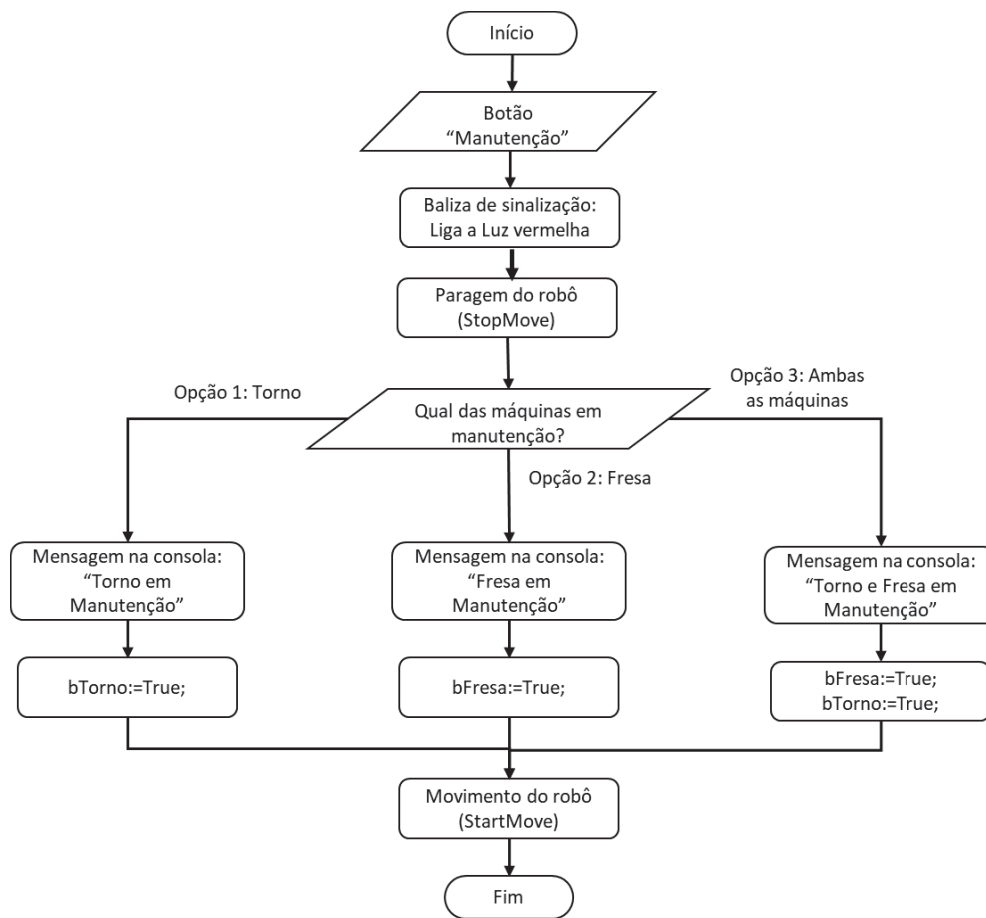


Figura 4.27: Fluxograma da rotina “rTrapManutencao”.

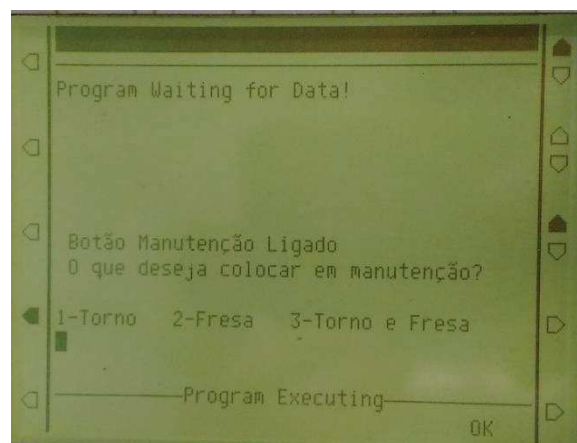


Figura 4.28: Menu de escolha das máquinas que o operador quer colocar em manutenção.

Na situação em que o operador coloca ambas as máquinas em manutenção, o robô funciona de forma idêntica à situação em que as máquinas tivessem ambas um alarme ou avaria. Por outras palavras, o robô somente irá executar as tarefas de descarregamento de paletes MP e carregamento de paletes PA, caso se verifiquem as condições para estas tarefas. Como mencionado anteriormente, na Figura 4.29 aparece um exemplo da mensagem que aparece na consola quando a Fresa fica em manutenção.

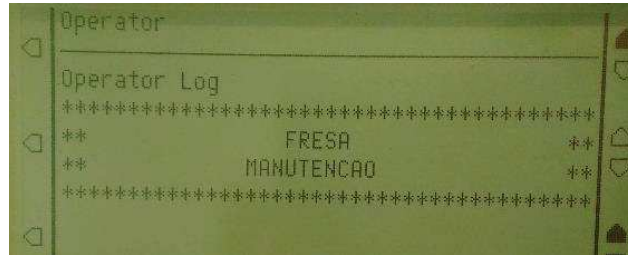


Figura 4.29: Fresa em Manutenção.

Assim que a manutenção da respetiva máquina esteja concluída, e a máquina tiver as condições para voltar a funcionar, o operador terá que rodar o mesmo botão de manutenção para terminar, e para o processo de fabrico voltar a funcionar normalmente. Portanto, quando o operador roda o botão para a posição normal é executada outra rotina “rTrapFimManut” que coloca as variáveis bFresa e bTorno a False. A Figura 4.30, apresenta a mensagem de quando é terminada a manutenção.



Figura 4.30: Mensagem de Fim de Manutenção.

#### 4.2.4 Descarregamento das Paletes MP

Na Figura 4.31 é apresentado o fluxograma da execução da tarefa do descarregamento das paletes MP do Torno. Como se pode observar na figura, este processo só é iniciado quando o Gestor da CFF ativar no controlador do robô a entrada DI12\_9. Depois da entrada ser ativada e caso o robô esteja disponível, este coloca-se no ponto “pTiraFoto” como apresentado na Figura 4.32 e através do sistema de visão artificial, (ver secção 4.4) verifica quais as peças que estão presentes e as que não são detetadas são sinalizadas com a variável “nBufferPecaxTCMP”.

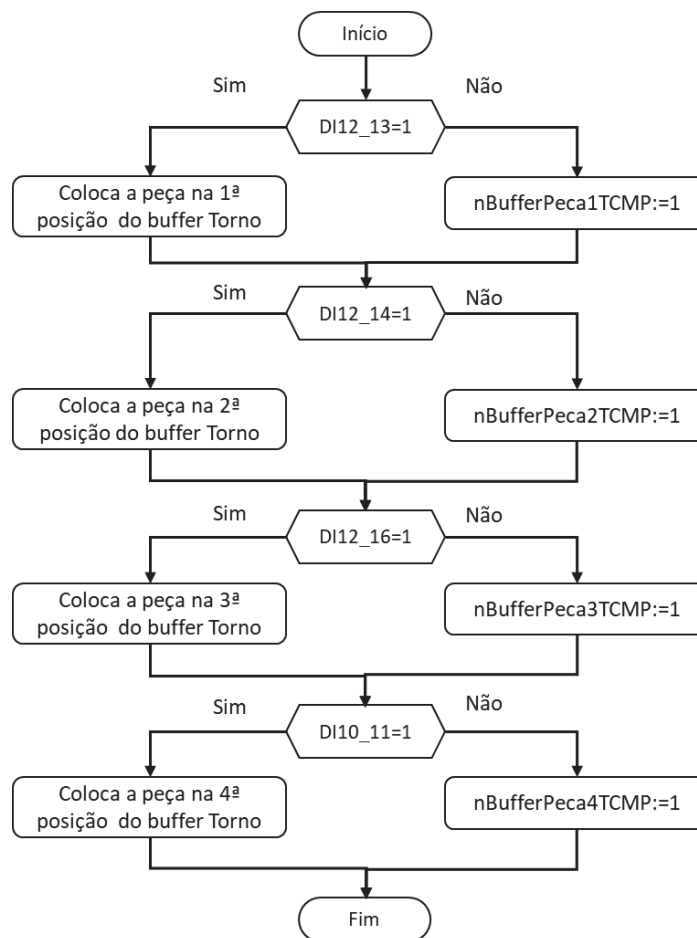


Figura 4.31: Fluxograma das rotinas “rDesPaleteMP1” e “rDesPaleteMP2”.

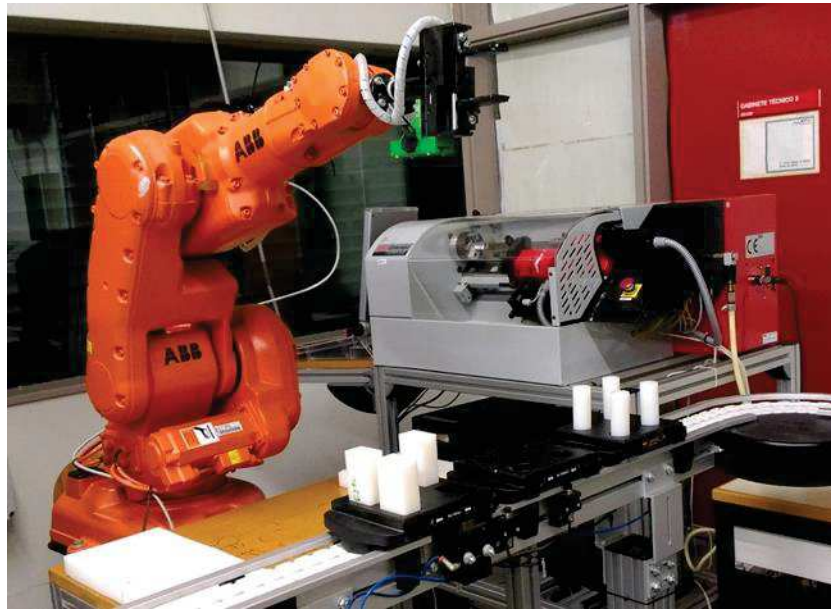


Figura 4.32: Robô no ponto “pTiraFoto”.

Na Figura 4.33 é ilustrado o fluxograma do processo do descarregamento da paleta MP da Fresa. Esta tarefa, só é realizada depois do Gestor da CFF ativar a entrada DI12\_10. Este processo é semelhante ao anterior, diferindo somente na sequência das entradas.

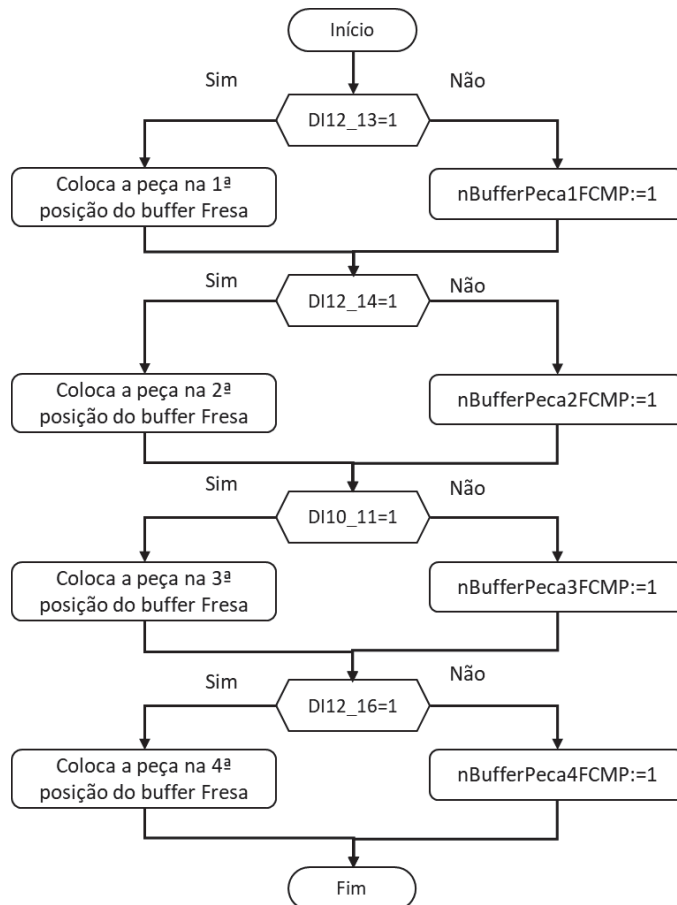


Figura 4.33: Fluxograma das rotinas “rDesPaletaMPF1” e “rDesPaletaMPF2”.

Depois de concluído o processo do carregamento dos buffers, o robô informa o Gestor da CFF que os buffers foram carregados. Caso as paletes não tenham nenhuma matéria-prima, o Gestor da CFF é informado que as paletes estão vazias através da ativação da saída do controlador DO12\_14 que por sua vez irá ativar a entrada I9.5 no autômato para a paleta MP do Torno, ou através da saída DO12\_13 que irá ativar a entrada no autômato I9.4 caso seja a paleta MP Fresa. Por outro lado, caso as paletes tenham pelo menos uma peça, o robô irá efetuar o descarregamento das paletes e informar o PLC que as paletes foram descarregadas. Após o descarregamento das paletes, o robô irá informar o PLC, através da ativação das saídas DO12\_3 e DO12\_4, que o buffer MP Torno e buffer MP Fresa respetivamente têm matéria prima. A Figura 4.34 mostra o robô a descarregar a Paleta MP Fresa. O descarregamento da outra paleta MP é feito da mesma forma.

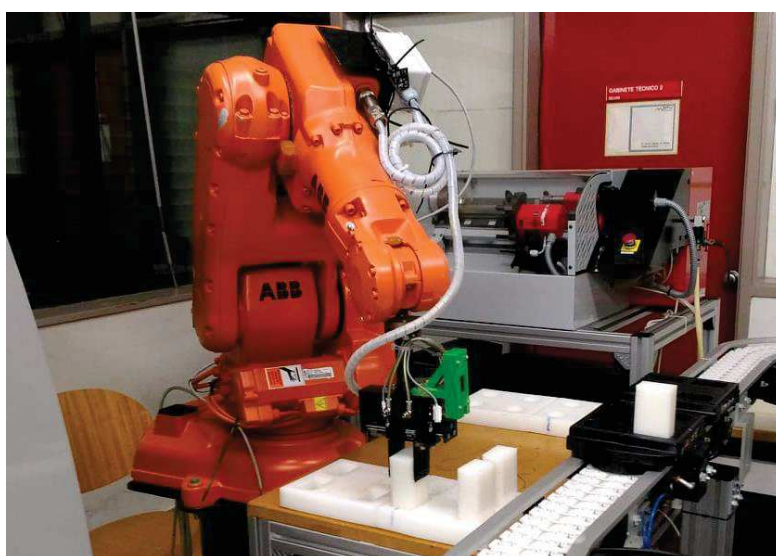


Figura 4.34: Descarregamento da Paleta MP Fresa.

Por último, as sub-rotinas “rPaletesMP” e “rPaletesMPF” são responsáveis por criar os ficheiros “RegistaPaletesMPT” e “RegistaPaletesMPF”. Nas secções 4.2.9 e 4.2.10 será explicado mais detalhadamente como são criados estes ficheiros.

### 4.2.5 Torno CNC

Após o descarregamento da paleta MP Torno, o robô IRB 140 tem a função de carregar e descarregar a máquina CNC Torno. O robô inicialmente começa por verificar se a máquina possui algum alarme/avaria através da rotina “rCondiçõesIniciais”, como referido na secção 4.2.1. Caso se verifique esta situação, o robô não executa qualquer tarefa associada ao torno. Contudo, isto não significa a paragem total do processo de fabrico, o robô continuará a executar as tarefas relacionadas com a outra máquina.

Se o Torno não possuir qualquer anomalia, o robô começa por verificar as condições para carregar o Torno. Para tal o *buffer* MP deve estar carregado e o *buffer* PA deve estar vazio. De seguida é executada a rotina “rCarregaT1” que é responsável por atualizar a localização de cada peça e por chamar outra rotina “rCarregaT2”, responsável por levar a matéria-prima para a máquina.

Posteriormente, o robô só irá descarregar as peças maquinadas quando a entrada DI10\_1 for ativada. Esta entrada indica que a máquina concluiu o programa de maquinação. Depois de executada a rotina responsável por descarregar a máquina, “rDescarregaT2”, o robô coloca outra matéria-prima na máquina. O objetivo é rentabilizar o tempo de utilização da máquina e evitar tempos mortos no processo de fabrico. Todo este processo encontra-se descrito pelo fluxograma apresentado na Figura 4.35.

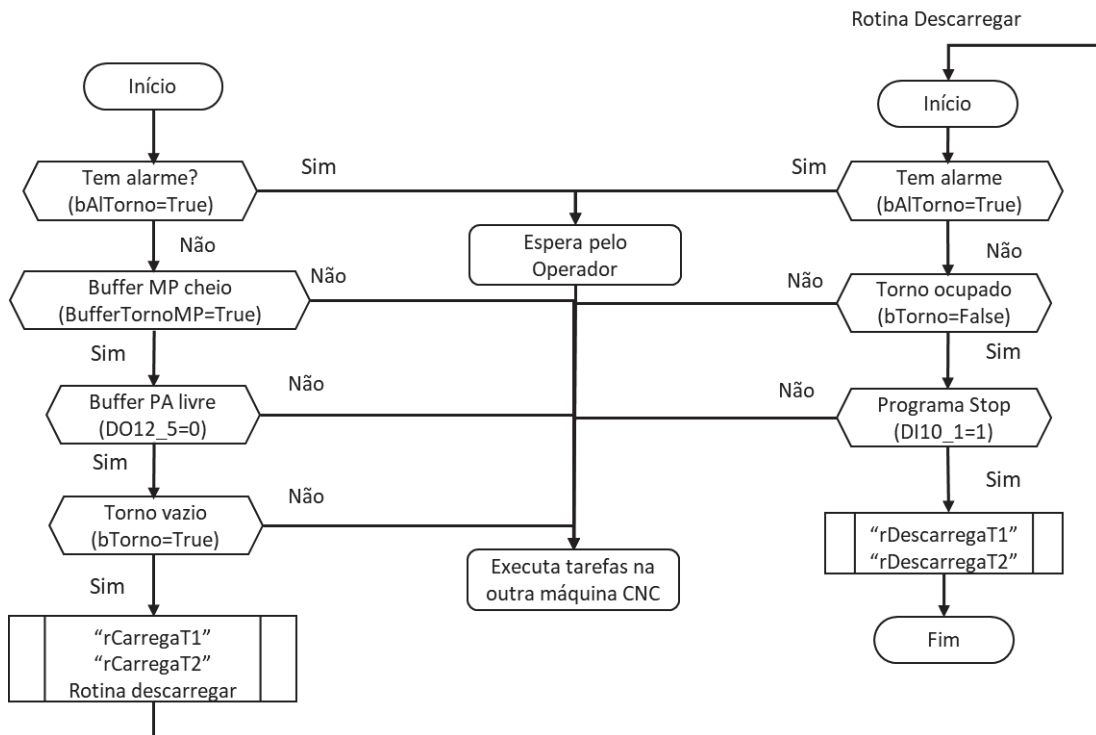


Figura 4.35: Fluxograma das rotinas que são executadas na rotina principal do programa.

A Figura 4.36 apresenta o fluxograma das rotinas “rCarregaT1” e “rCarregaT2”, responsáveis por carregar o Torno CNC. A variável “nPecaT” indica a posição da matéria prima no *buffer* MP Torno que irá ser maquinada, e as variáveis, “nChuckx”, “nPecaPax”, “nBuffPecaxT” e “nBuffPecaxTD” serão ativadas se numa determinada posição não for detetada uma peça.

Após verificar as condições da máquina CNC e caso esta esteja a funcionar, o robô começa por carregar a peça que se encontra na primeira posição do *buffer* MP Torno. Se for detetada a matéria prima, o robô carrega o Torno e ordena a execução do programa na máquina CNC, através da saída DO10\_2. A variável que indica a posição é incrementada após o torno ser

carregado, ou seja, a variável *nPecaT* toma os valores (0,1,2 e 3) consoante a posição das peças. Enquanto a máquina estiver a executar o programa, ou seja, a maquinar a peça, o robô pode executar outras tarefas relacionadas com o setor de fabrico.

Caso a peça não seja detetada, a variável *nPecaT* é incrementada e o robô desloca-se para a posição seguinte do *buffer* e repete o processo. As variáveis “*nBuffPeca1T...4T*”, quando ativadas indicam as posições onde não foram detetadas peças. Assim as variáveis “*nChuck1...4*”, “*nBuffPeca1TD...4TD*”, e “*nPecaPA1...4*” irão ser ativadas quando nas respetivas posições do *buffer* não for localizada a matéria-prima.

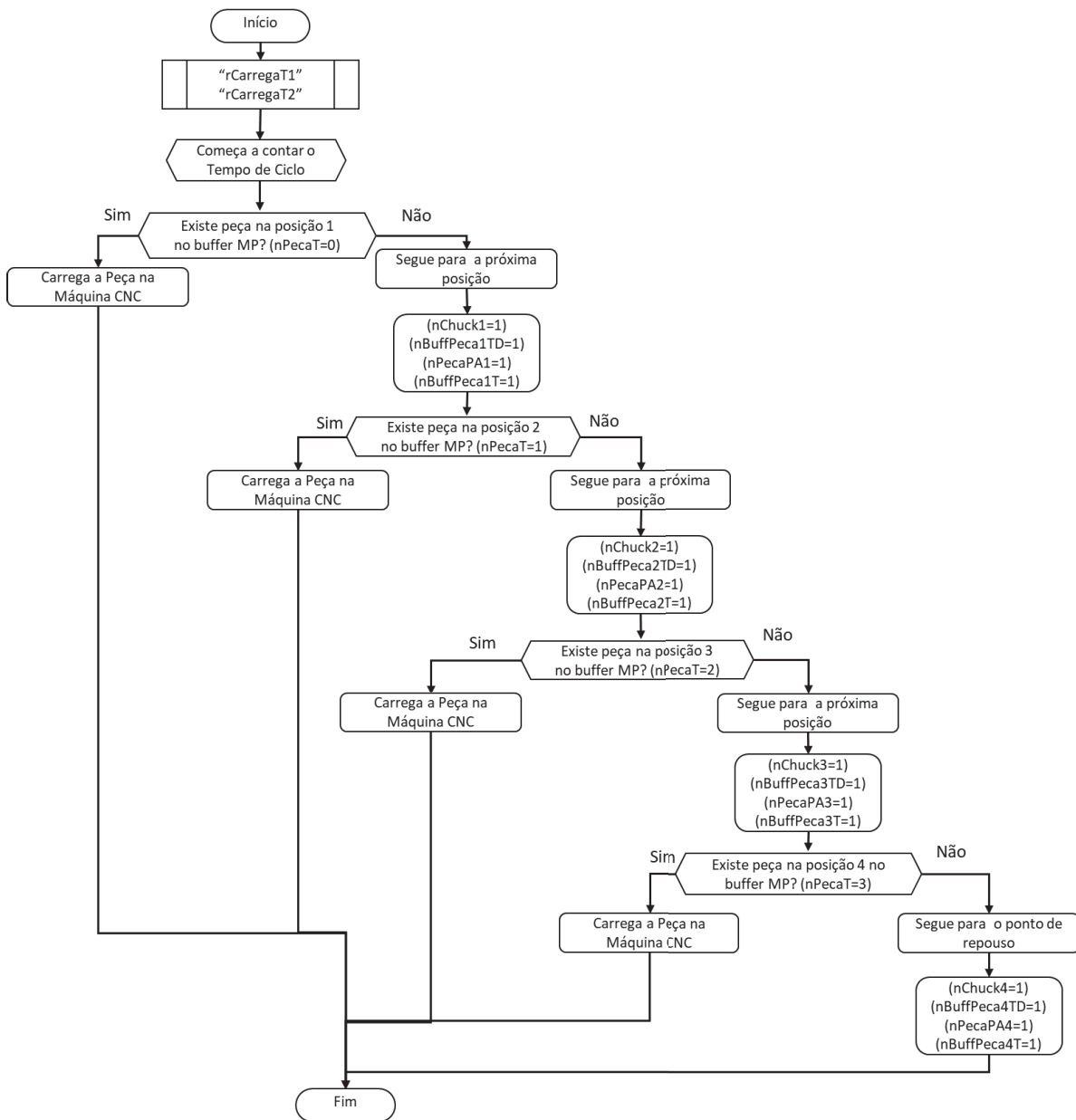


Figura 4.36: Fluxograma das rotinas “rCarregaT1” e “rCarregaT2”.

A Figura 4.37 representa o fluxograma da rotina “rDescarregaT1” e “rDescarregaT2” responsável por efetuar a descarga do Torno CNC. Nestas rotinas o robô descarrega a peça maquinada no buffer PA. Posteriormente, a rotina “rCarregaT1” é novamente executada. Quando não é detetada a peça no chuck do Torno, esta é identificada através da variável “nChuck1”, “nChuck2”, “nChuck3” e “nChuck4” dependendo da posição que a peça ocupava no buffer MP. Assim, também as variáveis, “nBuffPeca1TD...4TD” e “nPecaPA1...4” serão ativadas.

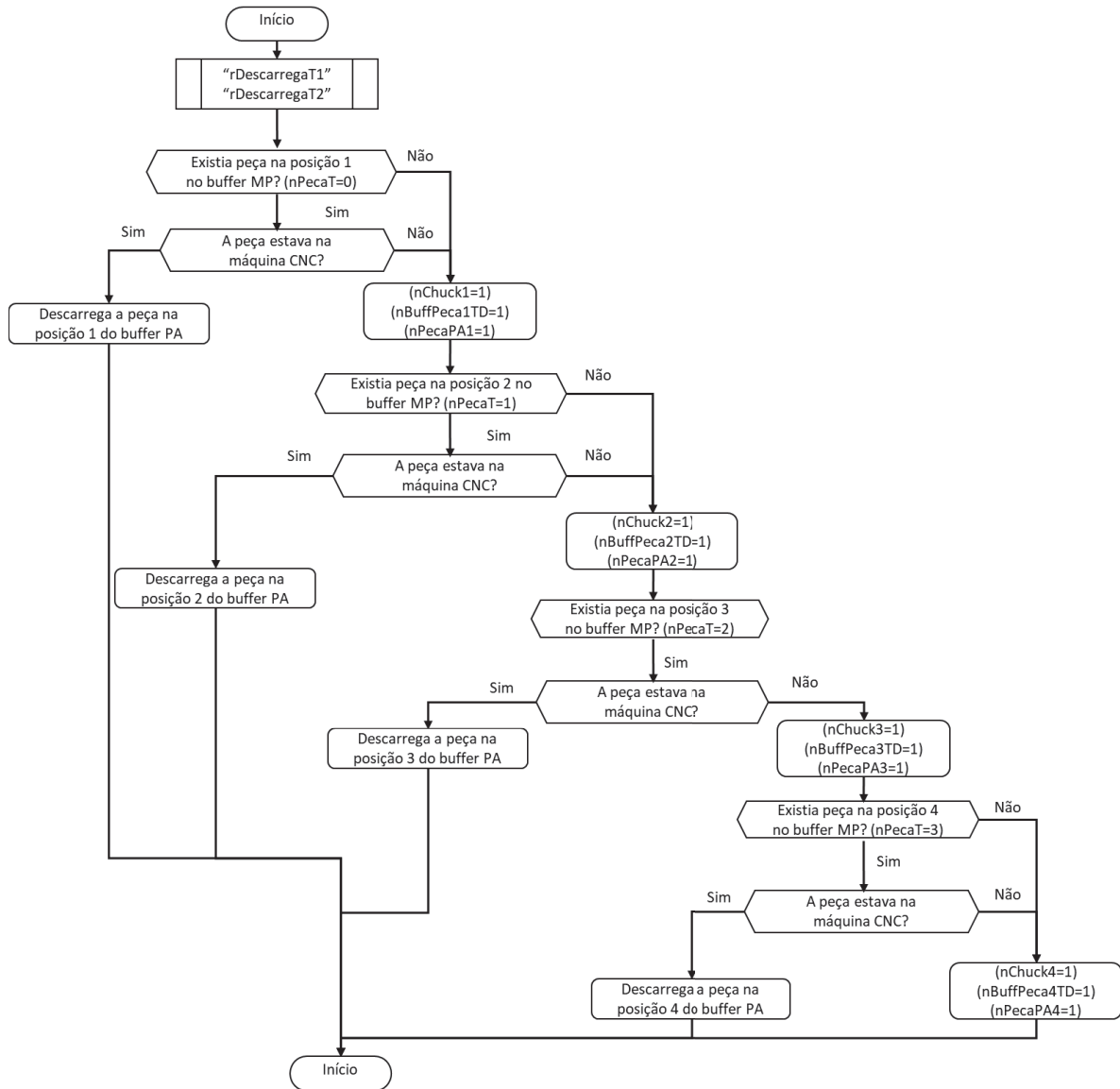
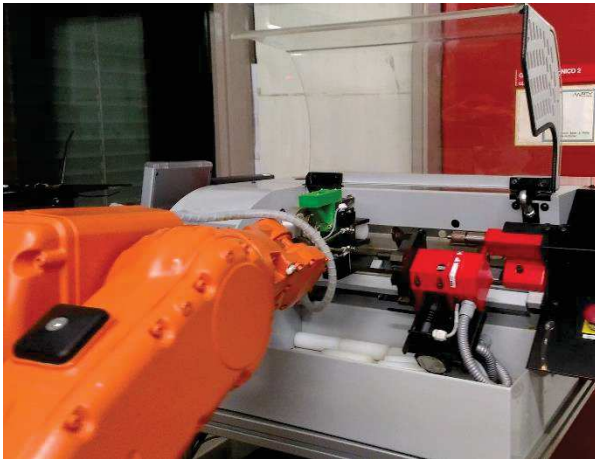
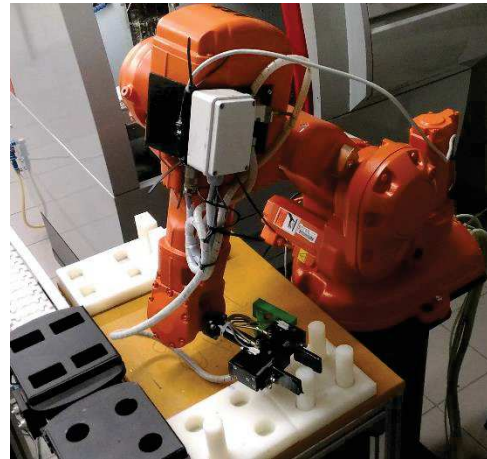


Figura 4.37: Fluxograma das rotinas “rDescarregaT1” e “rDescarregaT2”.

Na Figura 4.38 é apresentado um exemplo do robô quando está a carregar (Figura 4.38 a) e a descarregar (Figura 4.38 b)).



a) Robô a carregar o Torno CNC;



b) Robô a descarregar a peça maquinada.

Figura 4.38: Operações do robô com o Torno CNC.

Todas estas variáveis que são ativadas durante o processo de carga e descarga serão posteriormente utilizadas nas rotinas responsáveis por criar os ficheiros. Ou seja, irão ser utilizadas nas rotinas “rRegistaPecasBuff”, “rPaletesMP”, “rRegistaPaletesPAT” e na “rRegistaTorno”. Estas rotinas serão explicadas com mais detalhe na secção 4.2.9.

### 4.2.6 Fresa CNC

O funcionamento da Fresa CNC é semelhante ao Torno CNC descrito na secção anterior. O robô tem a função de carregar as matérias-primas na Fresa e posteriormente retirá-las ao fim de serem maquinadas. Assim, o robô através da mesma rotina “rCondiçõesIniciais” verifica se há alguma anomalia nesta máquina e, se houver, o robô não irá executar as funções de carga e descarga desta máquina. Contudo, poderá efetuar outras tarefas, como por exemplo: carregar e descarregar a outra máquina CNC, descarregar as paletes MP e carregar as paletes PA. A Figura 4.39 mostra as rotinas que são executadas no programa principal do programa.

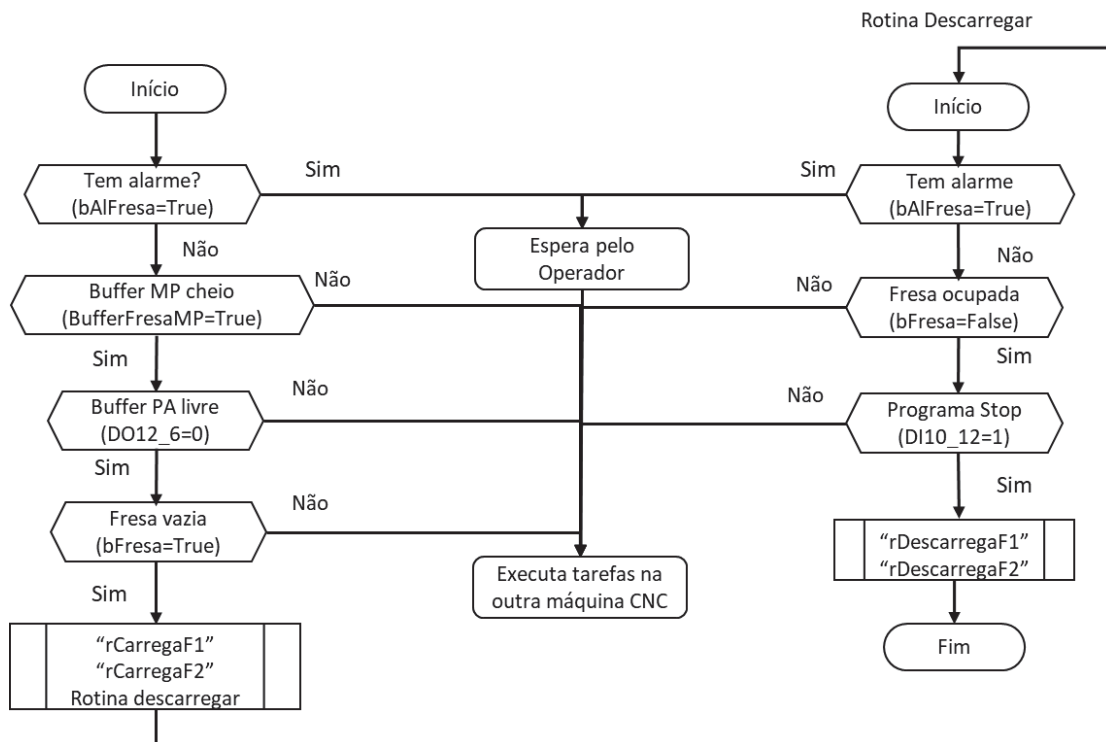


Figura 4.39: Fluxograma das rotinas executadas na rotina principal do programa.

Na Figura 4.40 é exibido o fluxograma das rotinas “rCarregaF1” e “rCarregaF2”. Estas rotinas funcionam da mesma forma que as rotinas “rCarregaT1” e “rCarregaT2”. A variável “nPecaF” indica a posição da matéria prima no buffer MP Fresa que irá ser maquinada, e as variáveis, “nVicex” “nPecaPAFx”, “nBuffPecaxF” e “nBuffPecaxFD” serão ativadas se numa determinada posição não for detetada uma peça.

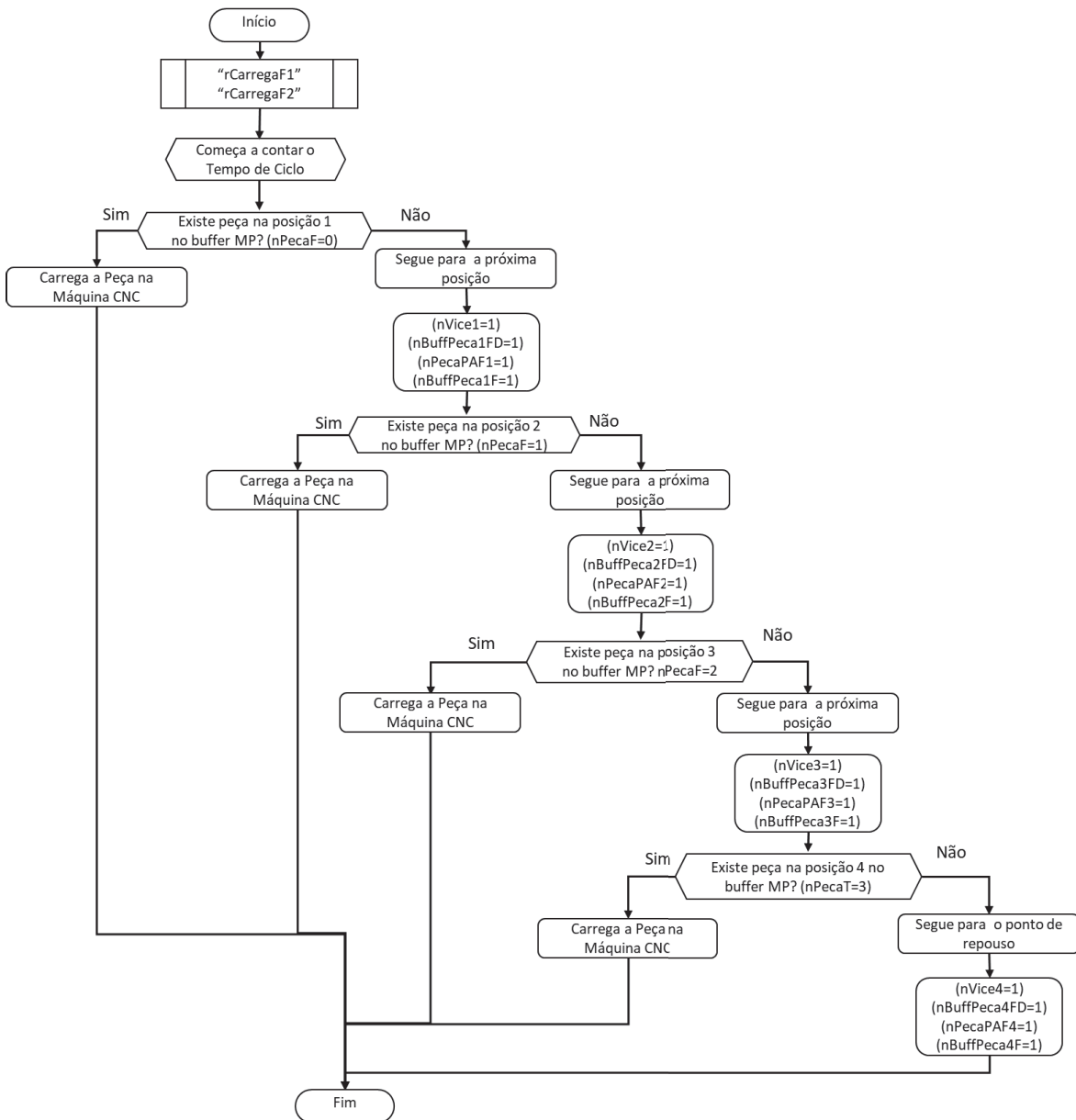


Figura 4.40: Fluxograma das rotinas “rCarregaF1” e “rCarregaF2”.

Na Figura 4.41 é apresentado o fluxograma das rotinas “rDescargaF1” e “rDescargaF2”. O processo é o mesmo das rotinas “rDescargaT1” e “rDescargaT2”. Após serem maquinadas, as peças são descarregadas no buffer PA. À semelhança da outra máquina CNC, quando não é detectada uma determinada peça no vice da Fresa, as variáveis “nVice<sub>x</sub>”, “nPecaPAF<sub>x</sub>” e “nBuffPecaxFD” de acordo com a posição que tinham no buffer MP são ativadas.

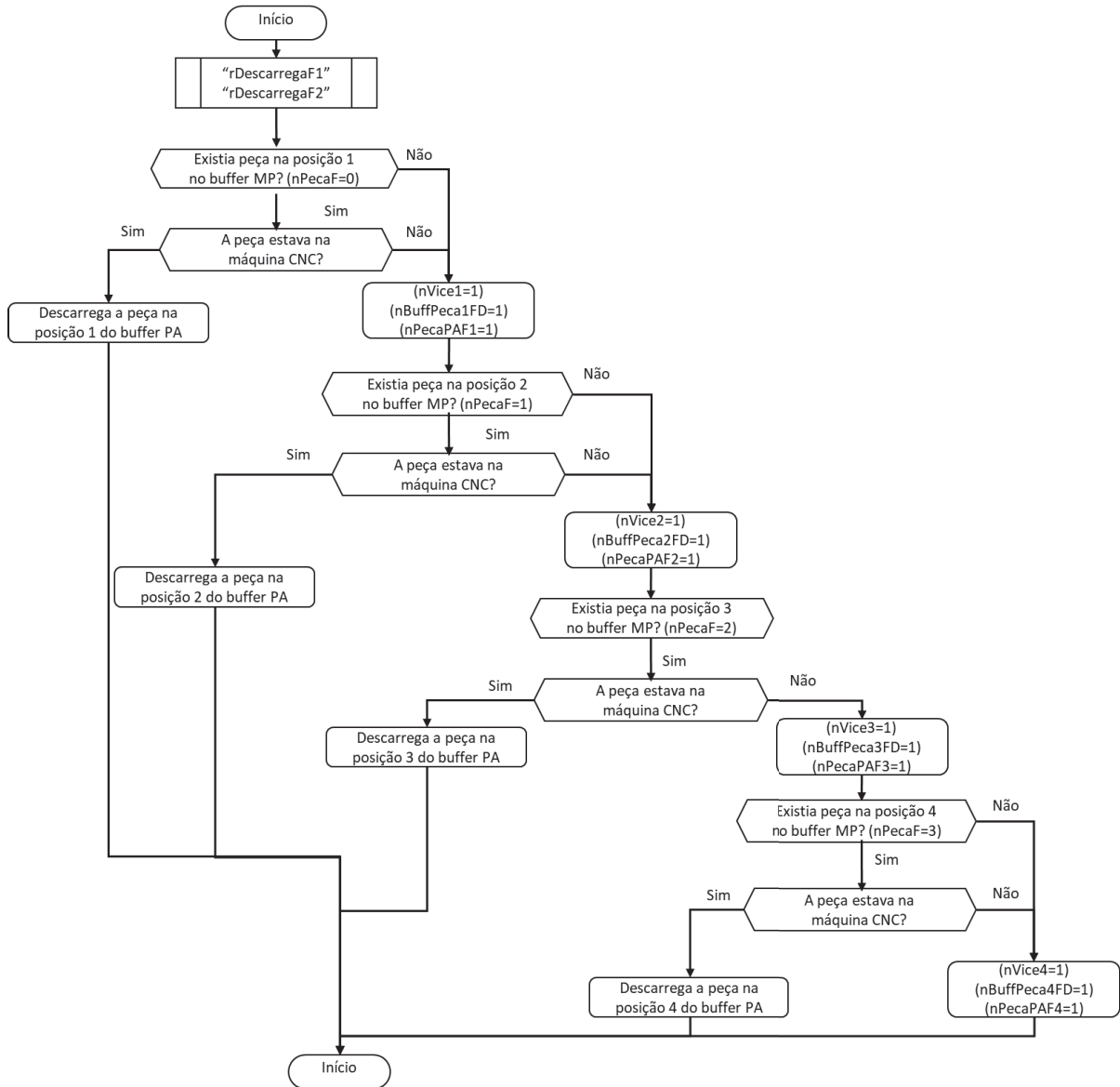
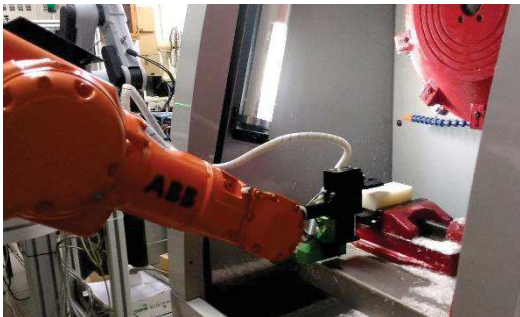


Figura 4.41: Fluxograma das rotinas “rDescarregaF1” e “rDescarregaF2”.

Na Figura 4.42 a) está ilustrado o robô a carregar a Fresa CNC e na b) a descarregar para o buffer PA. Assim que o robô saia da máquina, é enviado um sinal à máquina para fechar a porta e começar a maquinar a peça.



a) Robô a carregar a Fresa CNC;

b) Robô a descarregar a peça maquinada.

Figura 4.42: Operações do robô com a Fresa CNC.

Da mesma forma que no torno, todas as variáveis que são ativadas durante o processo de carga e descarga da fresa, serão posteriormente utilizadas nas rotinas responsáveis por criar os ficheiros. Ou seja, irão ser utilizadas nas rotinas “rRegistaPecasBuffF”, “rPaletesMPF”, “rRegistaPaletesPAF” e na “rRegistaFresa”. Estas rotinas serão explicadas com mais detalhe na secção 4.2.10.

### **4.2.7 Carregamento das Paletes PA Torno**

Outra tarefa executada pelo robô IRB 140, presente neste setor, é o carregamento das paletes PA Torno e PA Fresa. O carregamento das paletes é efetuado quando o buffer PA tiver peças e o buffer MP estiver vazio. Deste modo, o robô ao fim de descarregar a última peça do Torno CNC, ativa a saída DO12\_5 que indica que o buffer PA está carregado e desativa a saída DO12\_3 que indica que o buffer MP está vazio.

Posteriormente o robô permanece no ponto de repouso ou continua a executar tarefas relacionadas com a outra máquina CNC até que a Paleta PA Torno seja detetada. Assim, quando a paleta estiver parada o PLC ativa a saída Q9.0 que irá ativar no controlador a entrada DI12\_11. Assim que o robô estiver disponível a paleta será carregada.

Caso alguma peça não tenha sido maquinada, por ter sido mal colocada na máquina aquando a carga ou por não estar presente no buffer MP, o robô não irá à posição no buffer PA relacionada com esta peça. Por outro lado, se alguma das peças que tenham sido descarregadas não estiver presente no buffer PA, esta será sinalizada com a variável “nPecaPAX”. A Figura 4.43 mostra o fluxograma das rotinas responsáveis pelo carregamento da Paleta PA Torno.

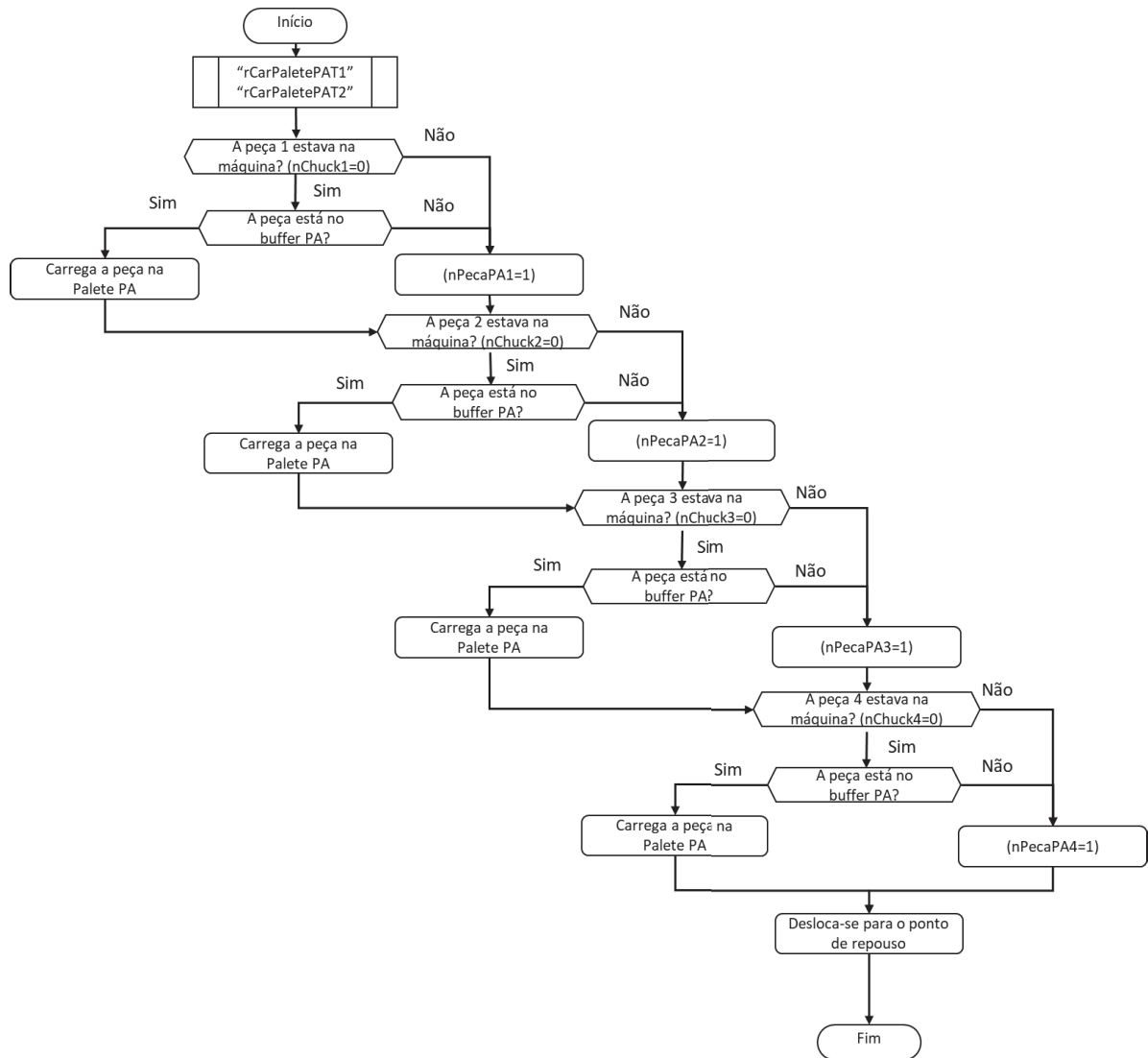


Figura 4.43: Fluxograma das rotinas “rCarPaletaPAT1” e “rCarPaletaPAT2”.

Assim que o robô carregar a última peça do buffer PA coloca-se no ponto “pTiraFoto” e, através do sistema de visão artificial (ver secção 4.4) verifica quantas peças estão na paleta PA Torno. Assim, permite ao operador analisar posteriormente no ficheiro se durante a carga da paleta caiu alguma peça do buffer para a respetiva paleta.

Se todas as peças caírem durante o transporte do Torno para o Buffer PA, devido a uma anomalia na ferramenta do robô ou por outro motivo, a paleta irá ficar vazia ativando a saída DO12\_14 que por sua vez irá ativar a entrada I9.4 no PLC. Deste modo, quando a paleta passar pelo setor do armazém e este estiver livre, a paleta não irá parar.

As rotinas que criam os vários ficheiros são executadas ao fim do robô executar esta tarefa. Só são executadas anteriormente, se houver alguma anomalia. Todo este processo será explicado com mais detalhe na secção 4.2.9.

### 4.2.8 Carregamento das Paletes PA Fresa

O processo de carregamento das Paletes PA Fresa é semelhante ao carregamento da paleta PA Torno, diferindo na entrada que é ativado no controlador. Aquando da chegada da paleta PA Fresa, é ativado no PLC a saída Q9.1 que irá ativar a entrada DI12\_12. Na Figura 4.44 é ilustrado o fluxograma das rotinas que realizam esta tarefa.

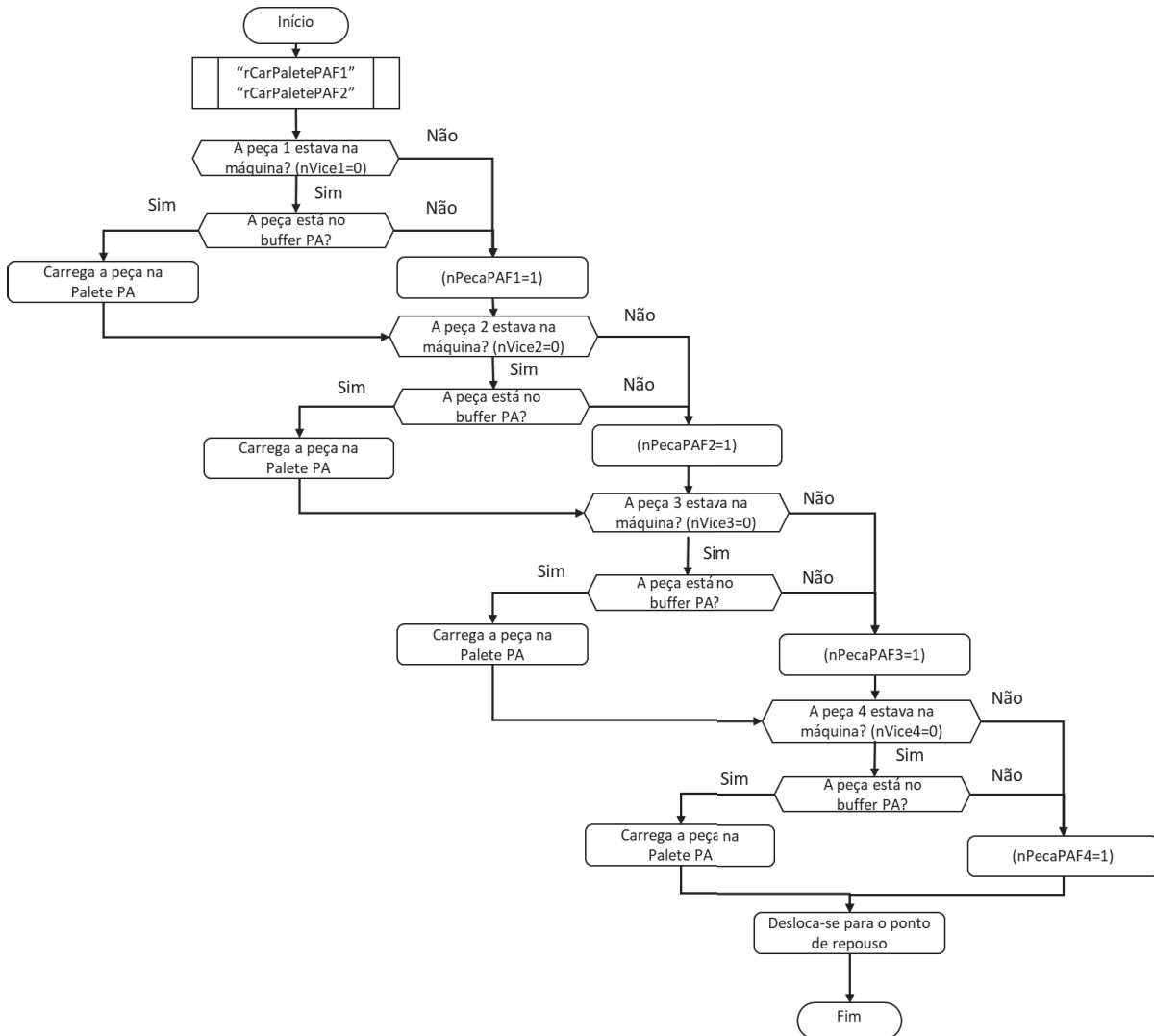


Figura 4.44: Fluxograma das rotinas “rCarPaletaPAF1” e “rCarPaletaPAF2”.

À semelhança do carregamento da Paleta PA Torno, após a tarefa ser executada, o robô coloca-se no ponto “pTirafoto” e através do sistema de visão artificial verifica quantas peças estão na paleta PA Fresa para posteriormente registrar no ficheiro.

Se, por algum motivo, à semelhança da carga da paleta PA da outra máquina CNC não existirem peças maquinadas no buffer PA, devido à queda durante o transporte da máquina para o buffer, a paleta irá ficar vazia e será ativada a saída DO12\_13 que por sua vez irá ativar

no PLC a entrada I9.4. Deste modo, quando esta paleta passar pelo setor do armazém não irá parar.

Da mesma forma que na outra máquina CNC, as rotinas responsáveis por criar os ficheiros só são executadas no final do ciclo. Ou só são executadas anteriormente se houver algum inconveniente e que leve a que em algum ponto do processo de fabrico não haja nenhuma peça (para mais detalhes ver secção 4.2.10).

### 4.2.9 Ficheiros de texto do Torno CNC

Como referido anteriormente, em funcionamento normal, as rotinas responsáveis por criar os vários ficheiros são executadas no fim de cada ciclo, ou seja, no final das paletes PA serem carregadas. Só são executadas em outros pontos do processo quando acontece algum inconveniente e em que o processo fique sem peças. Por outras palavras, as rotinas só são executadas anteriormente, se na Paleta MP, no buffer MP, na máquina CNC ou no buffer PA não houver nenhuma peça. A Figura 4.45 ilustra o fluxograma dos momentos para os quais são executadas as rotinas responsáveis por criar os ficheiros de texto.

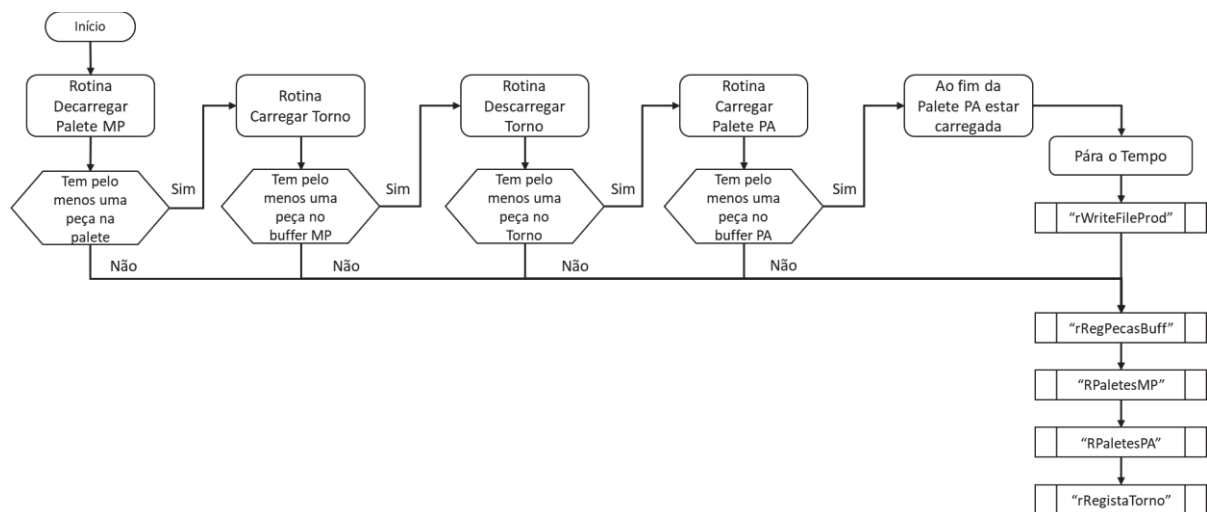


Figura 4.45: Execução das rotinas responsáveis por criar os vários ficheiros.

A rotina “rWriteFileProd” é responsável por criar um ficheiro de texto que descreve o tempo de cada ciclo, ou seja, quanto tempo demorou até a paleta PA Torno ser carregada e quantas peças foram colocadas na Paleta. Como se pode observar, esta rotina só é executada se o processo chegar ao fim. Caso contrário, esta rotina não é chamada, pois, se o ciclo não terminou, não é contado o tempo e a variável vai a zero. A Figura 4.46 ilustra o fluxograma da rotina “rWriteFileProd”.

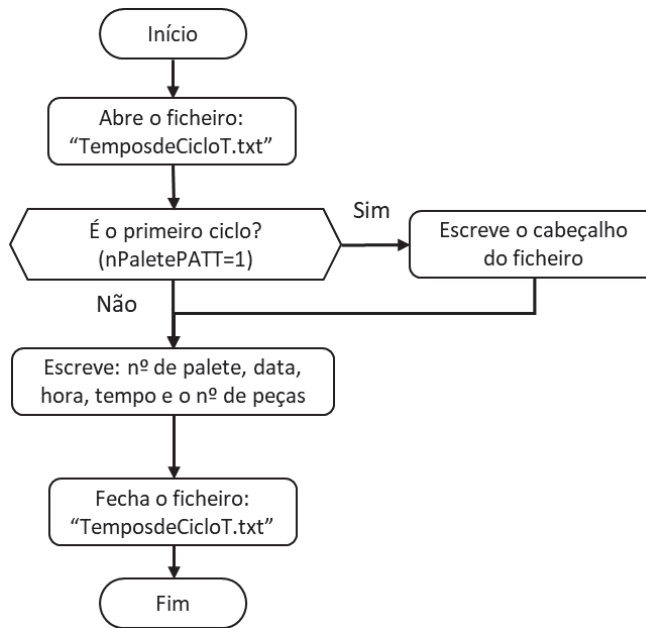


Figura 4.46: Fluxograma da rotina “rWriteFileProd”.

Na Figura 4.47 mostra um exemplo do ficheiro de texto “TemposdeCicloT.txt”.

n° Paleta	Data	Hora	Tempo de Ciclo (seg)	Nº de Peças carregadas
1	2018-06-22	14:09:42	Tempo de Ciclo: 221.606	2
2	2018-06-22	14:21:25	Tempo de Ciclo: 273.624	3
1	2018-06-29	15:31:34	Tempo de Ciclo: 7360.1	4

Figura 4.47: Exemplo do ficheiro de texto “TemposdeCicloT.txt”.

A outra rotina, “rRegistaPecasBuff” é responsável por criar o ficheiro de texto “RegistaPecasT.txt”. Este ficheiro regista o número de ciclo, a data, a hora, o número de peças que estavam no buffer MP e, posteriormente, das peças serem maquinadas, o número de peças que estavam no buffer PA. Por fim, dependendo do número de peças que estavam no *buffer* MP e no *buffer* PA é feita uma descrição do percurso de cada peça desde um *buffer* para o outro. A Figura 4.48 apresenta um fluxograma geral da rotina.

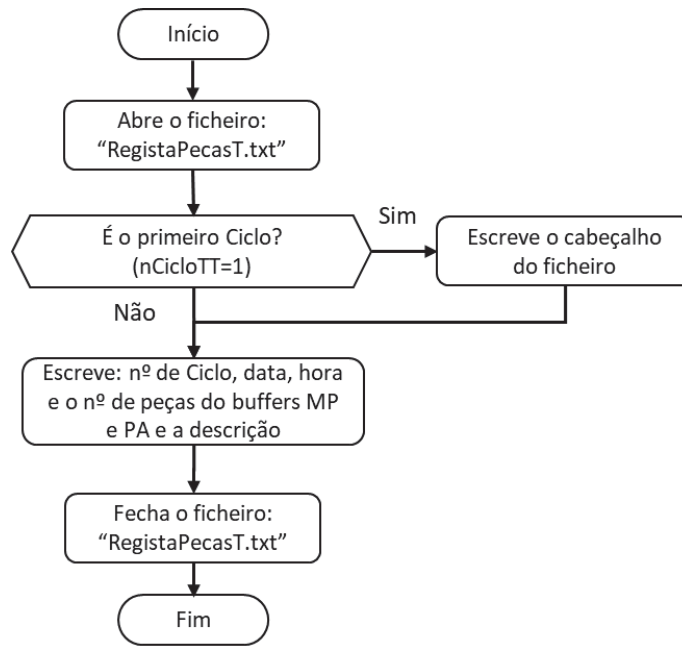


Figura 4.48: Fluxograma da rotina “rRegPecasBuff”.

Na Figura 4.49 é ilustrado um pequeno exemplo do ficheiro de texto em questão, “RegistaPecasT.txt”. Devido ao ficheiro ter um tamanho grande, a imagem foi recortada em duas partes para ser possível a sua leitura. Na Figura 4.49 a) é ilustrado o número de ciclo, a data, a hora, o número de peças no buffer MP e PA e na Figura 4.49 b) mostra a descrição para cada ciclo da figura a).

***** Buffers do Torno *****					
n. de ciclo	Data	Hora	N. de Pecas no buffer MP	N. de Pecas no buffer PA	
1	2018-08-14	17:20:05	0	0	
2	2018-08-14	17:32:31	2	2	
3	2018-08-14	17:37:16	3	3	
4	2018-08-14	17:40:56	3	3	
5	2018-08-14	17:45:49	2	2	
6	2018-08-14	17:47:13	0	0	
7	2018-08-14	18:04:55	-----		

a) nº de ciclo, data, hora, número de peças no buffer MP e PA;

Descricao  
 As 4 pecas nao estavam no buffer das MP  
 A peca 1 nao estava no buffer das MP, logo nao vai estar na CNC e no buffer PA  
 A peca 2 nao estava no buffer das MP, logo nao vai estar na CNC e no buffer PA  
 A peca 1 nao estava no buffer das MP, logo nao vai estar na CNC e no buffer PA  
 A peca 1 nao estava no buffer das MP, logo nao vai estar na CNC e no buffer PA  
 A peca 1 nao estava no buffer das MP, logo nao vai estar na CNC e no buffer PA  
 A peca 4 nao estava no buffer das MP, logo nao vai estar na CNC e no buffer PA  
 As 4 pecas nao estavam no buffer das MP  
 A producao foi cancelada

b) Descrição.

Figura 4.49: Exemplo do ficheiro “RegistaPecasT.txt”.

A rotina “rPaletesMP” cria o ficheiro de texto “RegistaPaletesMPT.txt”. Este ficheiro, como foi descrito anteriormente, descreve quantas peças tinha a paleta MP Torno. Se todas as variáveis nPecaMPx estão desativadas, no ficheiro é escrito que a paleta estava completa. Por outro lado, se pelo menos uma das peças estiver em falta, é escrito no ficheiro que a paleta estava incompleta e qual ou quais das peças em falta. Pode-se observar na Figura 4.50 um fluxograma geral da rotina “rPaletesMP”.

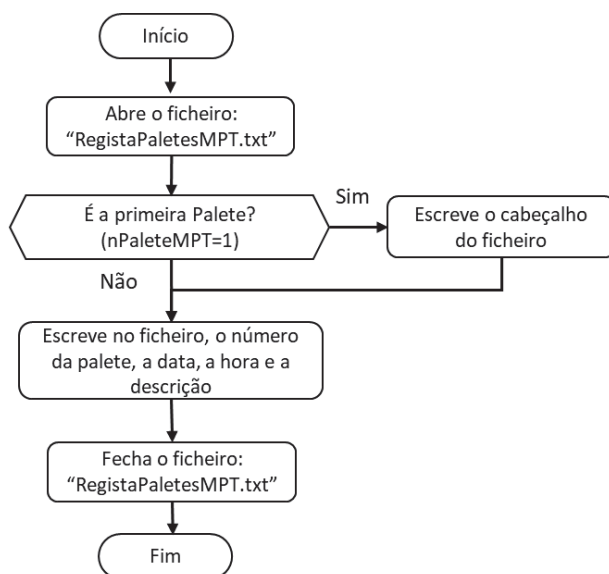


Figura 4.50: Fluxograma da rotina “rPaletesMP”.

A Figura 4.51 apresenta um exemplo do ficheiro de texto. Nesta situação, foram registadas 4 paletes em que 3 estavam completas e uma estava vazia.

RegistaPaletesMPT - Bloco de notas

nº	Paleta MP	Data	Hora	Descrição
1		2018-06-22	14:09:58	A Paleta MP estava completa
2		2018-06-22	14:10:56	A Paleta MP estava vazia
3		2018-06-22	14:14:51	A Paleta MP estava completa
4		2018-06-22	14:21:41	A Paleta MP estava completa

Figura 4.51: Exemplo do ficheiro de texto “RegistaPaletesMP.txt”.

A rotina “rPaletesPA”, como o nome indica, é responsável por criar o ficheiro de texto das paletes PA Torno, “RegistaPaletesPAT.txt”. Neste ficheiro é descrito se a paleta PA vai completa, incompleta ou vazia. Para a paleta PA ir completa, quer dizer que todas as peças estavam no buffer PA e posteriormente através do sistema de visão artificial verifica-se que também estavam na paleta. Se, por outro lado, a paleta não estiver completa, quer dizer que o buffer PA não continha todas as peças ou o buffer PA estava completo mas durante o transporte para a paleta caiu alguma peça, ou também podem ocorrer as duas situações em simultâneo, em que o buffer PA está incompleto e para além disso haja a queda de algumas peças durante o transporte. Por fim, para a paleta ir vazia, quer dizer que não havia produtos acabados no buffer PA ou todas as peças que havia no buffer caíram durante o transporte. Todas estas situações são descritas no ficheiro de texto. Na Figura 4.52 mostra o fluxograma que de uma forma geral representa esta tarefa e a Figura 4.53 apresenta um exemplo do ficheiro de texto “RegistaPaletesPAT.txt”.

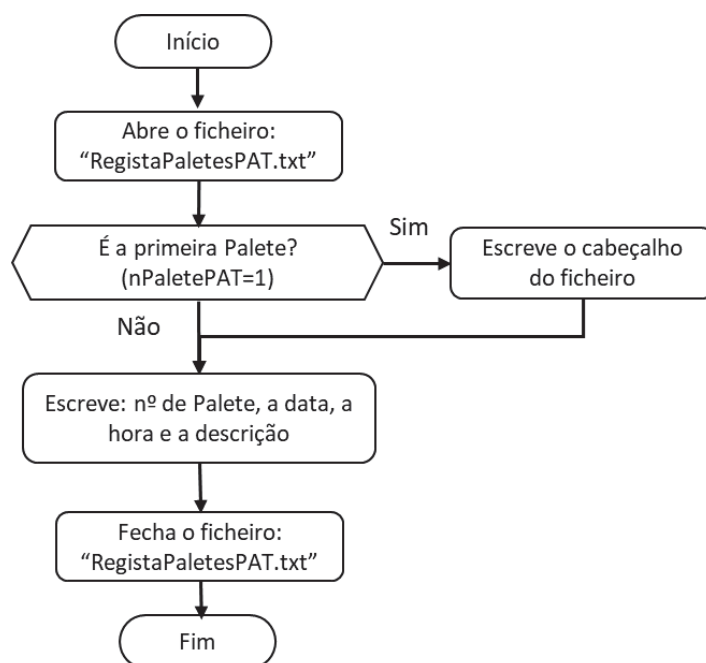


Figura 4.52: Fluxograma da rotina “rPaletesPA”.

RegistaPaletesPAT - Bloco de notas  
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda

n. Paleta PA	Data	Hora	Descricao
1	2018-08-28	14:31:25	Nao havia nenhuma peca no buffer MP, a Paleta PA nao foi carregada
2	2018-08-28	14:36:11	A Paleta PA esta vazia, cairam as pecas do buffer PA para a paleta
3	2018-08-28	14:48:01	----- A producao foi cancelada
n. Paleta PA	Data	Hora	Descricao
1	2018-08-28	18:46:37	Nao havia nenhuma peca no buffer MP, a Paleta PA nao foi carregada
2	2018-08-28	19:11:26	A Paleta PA esta incompleta: A peca 1 nao esta na Paleta de PA, nao estava no buffer PA A peca 3 nao esta na Paleta de PA, nao estava no buffer PA A peca 4 nao esta na Paleta de PA, nao estava no buffer PA

Figura 4.53: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesPAT.txt”

A última rotina a ser executada é a rotina “rRegistaTorno”. Esta rotina cria o ficheiro de texto “RegistaTorno.txt”. A Figura 4.54 apresenta o fluxograma desta rotina. Este ficheiro de texto descreve como os outros o número de ciclo, a data, a hora. Para além disso, descreve também quantas peças estavam no buffer MP e quantas estavam na máquina CNC ao fim de serem maquinadas. A descrição presente neste ficheiro de texto pode variar consoante a situação que ocorrer. Por outras palavras, dependendo do número de peças que estavam no buffer MP e na máquina CNC irá aparecer uma descrição a informar quantas peças estavam presentes dentro da máquina em cada ciclo.

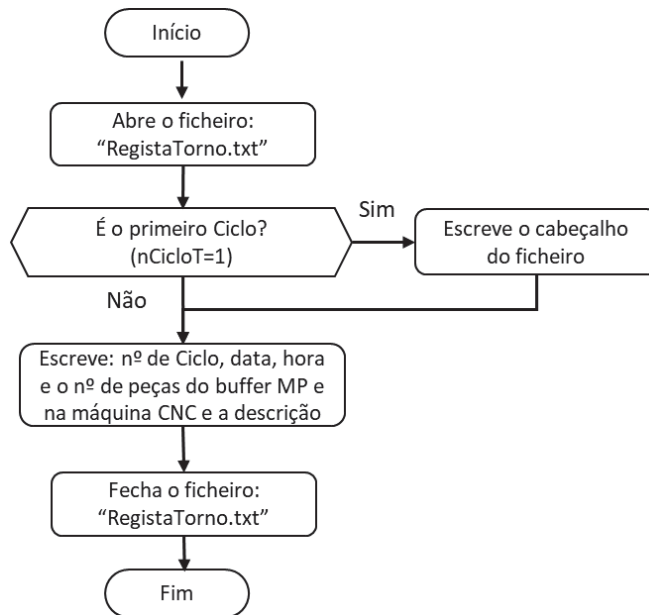


Figura 4.54: Fluxograma da rotina “rRegistaTorno”.

Na Figura 4.55 está ilustrado um exemplo do ficheiro “RegistaTorno.txt”. Devido ao tamanho do ficheiro, a Figura está dividida em duas partes.

n. de ciclo	Data	Hora	N. de Peças no buffer MP	N. de Peças na máquina CNC
1	2018-08-14	21:32:03	0	0
2	2018-08-14	21:40:32	4	4
3	2018-08-14	21:45:00	3	3
4	2018-08-14	21:51:18	4	4

a) nº de ciclo, data, hora e número de peças do buffer MP e dentro da máquina CNC;

Descricao  
 Nao havia pecas no buffer MP  
 As 4 pecas estavam no chuck  
 Nenhuma Peca caiu entre o buffer MP e a CNC  
 As pecas em falta nao estavam no buffer das MP  
 As 4 pecas estavam no chuck

b) Descrição.

Figura 4.55: Exemplo do Ficheiro “RegistaTorno.txt”.

### 4.2.10 Ficheiros de texto da Fresa CNC

As rotinas responsáveis pela criação dos ficheiros de texto relacionados com a Fresa CNC são executadas de forma idêntica ao Torno CNC. Ou seja, em funcionamento normal são executadas no final do carregamento das paletes PA Fresa. Caso contrário, serão executadas no ponto do processo em que ficou sem peças. A Figura 4.56 apresenta o fluxograma do momento em que as rotinas são executadas.

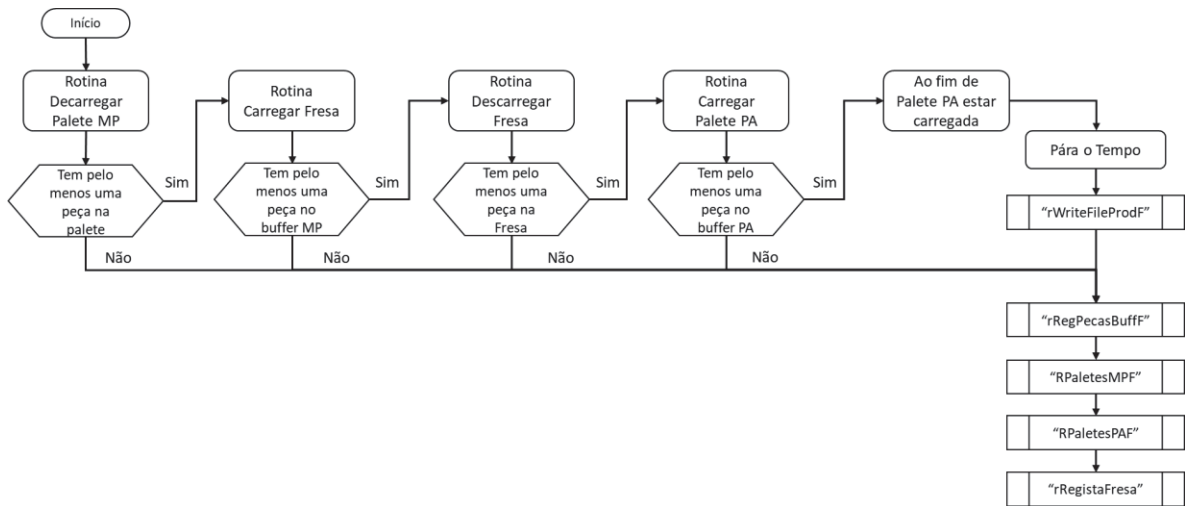


Figura 4.56: Execução das rotinas responsáveis por criar os ficheiros.

A Figura 4.57 apresenta o fluxograma da rotina “rWriteFileProdF” em que cria o ficheiro de texto “TemposdeCicloF.txt”. O funcionamento é idêntico ao da outra máquina.

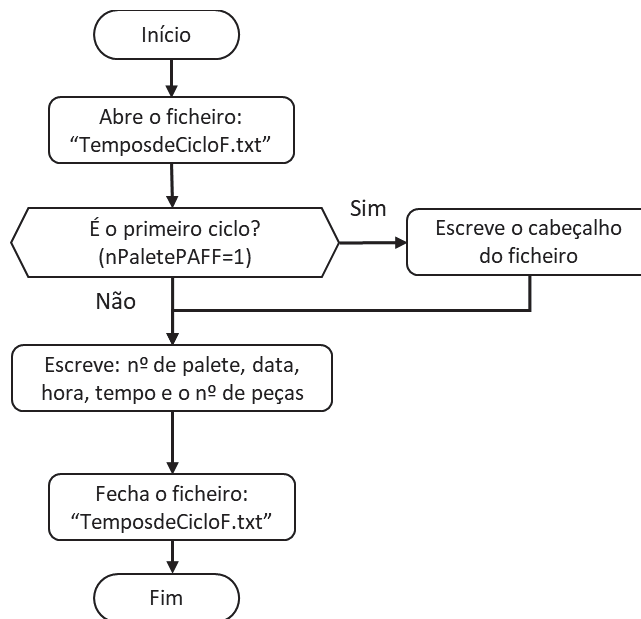


Figura 4.57: Fluxograma da rotina “rWriteFileProdF”.

Na Figura 4.58 é apresentado um exemplo do ficheiro “TemposdeCicloF.txt”. O formato é idêntico ao do ficheiro “TemposdeCicloT.txt”.

TemposdeCicloF - Bloco de notas

n. Palette	Data	Hora	Tempo de Ciclo (seg)	N. de Pecas carregadas
1	2018-08-31	16:15:01	Tempo de Ciclo: 245.821	4
2	2018-08-31	16:23:38	Tempo de Ciclo: 410.283	4
3	2018-08-31	17:02:10	Tempo de Ciclo: 461.883	4
4	2018-08-31	17:21:30	Tempo de Ciclo: 1003.61	2

Figura 4.58: Exemplo do ficheiro “TemposdeCicloF.txt”.

De seguida, da mesma forma que no torno, a segunda rotina a ser executada é a rotina “rRegPecasBuffF” responsável por criar o ficheiro que regista o número de peças de cada buffer. Por outras palavras é responsável por criar o ficheiro “RegistaPecasF.txt”.

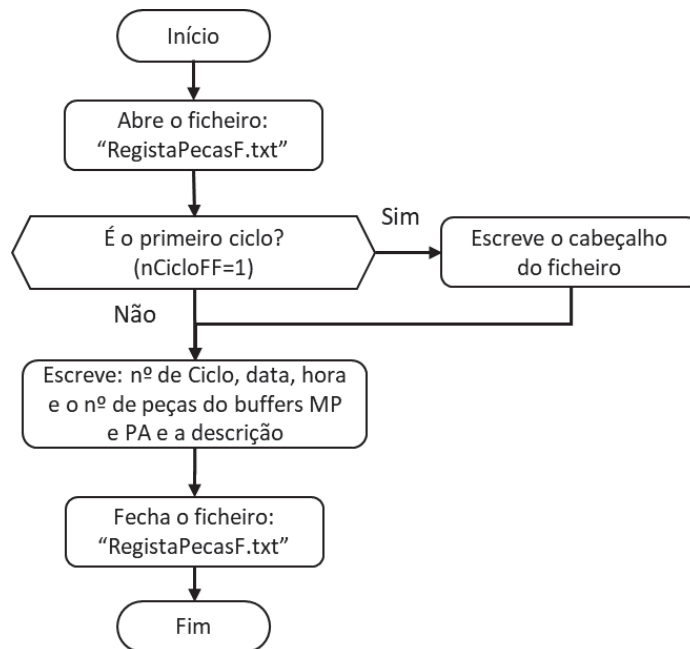


Figura 4.59: Fluxograma da rotina “rRegPecasBuffF”.

Pode-se observar, na Figura 4.60, um exemplo do ficheiro em questão. Este ficheiro apresenta o mesmo formato que o ficheiro “RegistaPecasT.txt”.

n. de ciclo	Data	Hora	N. de Peças no buffer MP	N. de Peças no buffer PA
1	2018-08-31	16:15:18	4	4
2	2018-08-31	16:24:14	4	4
3	2018-08-31	17:03:14	4	4
4	2018-08-31	17:22:23	2	2

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Buffers da Fresa \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

n. de ciclo	Data	Hora	N. de Peças no buffer MP	N. de Peças no buffer PA
1	2018-09-03	15:24:29	4	4
2	2018-09-03	15:30:07	4	4

a) nº de ciclo, data, hora e número de peças do buffer MP e PA;

Descrição  
 As 4 peças estavam nos buffers das MP e dos PA  
 As 4 peças estavam nos buffers das MP e dos PA  
 As 4 peças estavam nos buffers das MP e dos PA  
 A peça 3 não estava no buffer das MP, logo não vai estar na CNC e no buffer PA  
 A peça 4 não estava no buffer das MP, logo não vai estar na CNC e no buffer PA

Descrição  
 As 4 peças estavam nos buffers das MP e dos PA  
 As 4 peças estavam nos buffers das MP e dos PA

b) Descrição.

Figura 4.60: Exemplo do ficheiro “RegistaPecasF.txt”.

A Figura 4.61 apresenta o fluxograma da rotina “rPaletesMPF”, sendo o seu o funcionamento semelhante à rotina “rPaletesMP” diferindo somente no nome das variáveis. Ou seja, quando numa determinada posição não existir uma peça é ativada a variável “nPecaMPFx”.

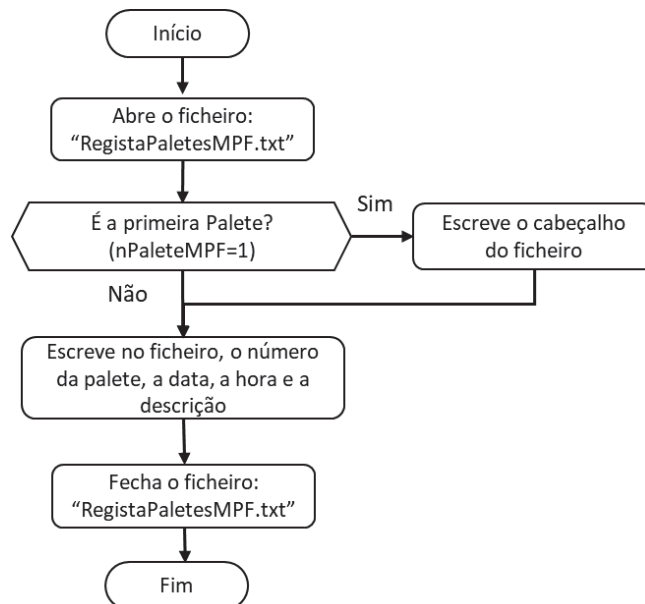


Figura 4.61: Fluxograma da rotina “rPaletesMPF”.

Na Figura 4.62 está exibido um exemplo do ficheiro “RegistaPaletesMPF.txt”. Este apresenta o mesmo formato que o ficheiro “RegistaPaletesMPT.txt”.

RegistaPaletesMPF - Bloco de notas

Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda

nº Palete MP	Data	Hora	Descrição
1	2018-06-22	14:06:39	A Palete MP estava completa
2	2018-06-22	14:11:58	A Palete MP estava completa
3	2018-06-22	14:20:05	A Palete MP estava completa
4	2018-06-22	14:20:41	A Palete MP estava vazia

Figura 4.62: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesMPF.txt”.

Da mesma forma que no Torno CNC, a terceira rotina a ser executada é a “rRegistaPaletesPAF” responsável por criar o ficheiro que regista as peças que vão na Palete PA. Na Figura 4.63 é apresentado o fluxograma para esta rotina e na Figura 4.64 é exibido um exemplo do formato do ficheiro de texto “RegistaPaletesPAF.txt”. Este apresenta o número da palete, a data, a hora, e uma descrição.

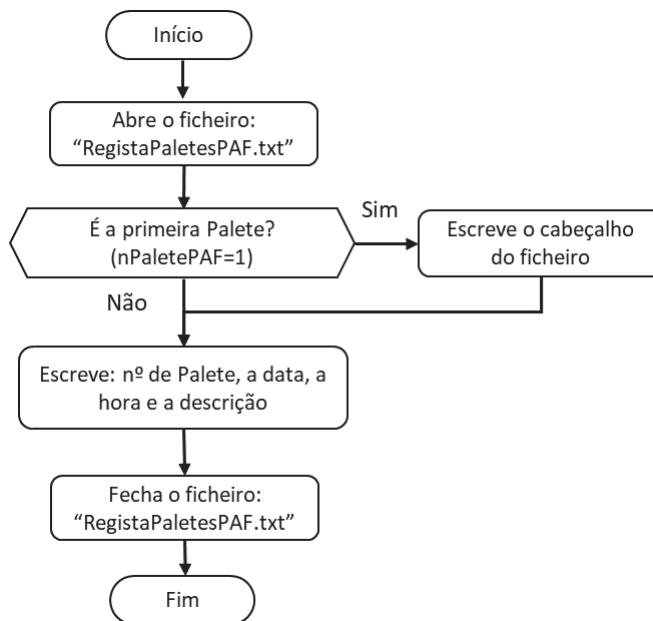


Figura 4.63: Fluxograma da rotina “rRegistaPaletesPAF”.

n. Palete PA	Data	Hora	Descrição
1	2018-08-30	17:34:53	Nao havia nenhuma peça no buffer MP, a Palete PA nao foi carregada
1	2018-08-31	13:50:43	A Palete PA esta incompleta: A peça 3 nao esta na Palete de PA, nao estava no buffer PA A peça 4 nao esta na Palete de PA, nao estava no buffer PA
2	2018-08-31	14:11:03	A Palete PA esta completa
3	2018-08-31	14:19:14	A Palete PA esta completa

Figura 4.64: Exemplo do ficheiro “RegistaPaletesPAF.txt”.

Na Figura 4.65 está ilustrada a rotina “rRegistaFresa” responsável por criar o ficheiro de texto “RegistaFresa.txt”. O funcionamento é igual ao da rotina “rRegistaTorno”. Neste ficheiro é escrito o numero de ciclo, a data, a hora, o número de peças no buffer e na máquina e por fim a descrição em que descreve qual a situação das peças, se estavam todas, se faltou alguma ou se caíram todas. Na Figura 4.66 é ilustrado um pequeno exemplo do ficheiro “RegistaFresa.txt”.

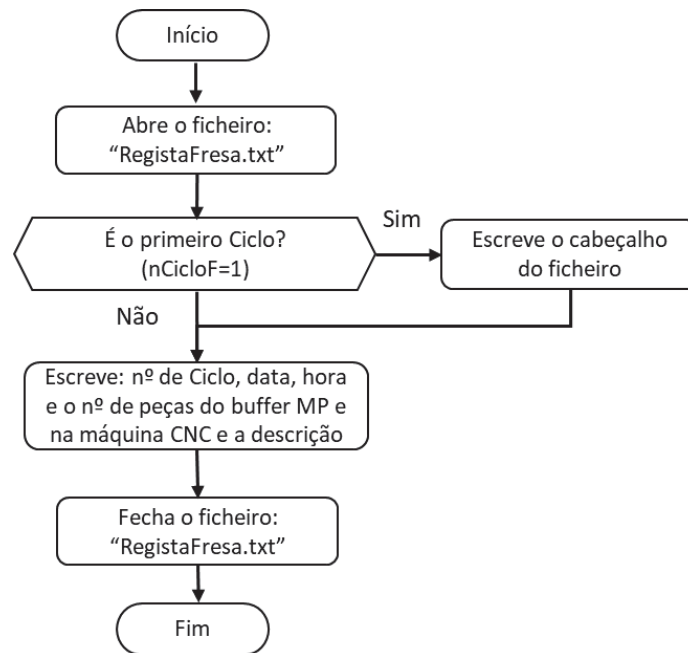


Figura 4.65: Fluxograma da rotina “rRegistaFresa”.

nº de ciclo	Data	Hora	Nº de Peças no buffer MP	Nº de Peças na máquina CNC
1	2018-06-26	13:38:35	0	0
nº de ciclo	Data	Hora	Nº de Peças no buffer MP	Nº de Peças na máquina CNC
1	2018-06-29	09:52:15	0	0
nº de ciclo	Data	Hora	Nº de Peças no buffer MP	Nº de Peças na máquina CNC
1	2018-06-29	15:28:49	1	1
2	2018-06-29	15:34:22	2	2

a) nº de ciclo, data, hora e número de peças do buffer MP e dentro da máquina CNC;

Descrição  
 Não havia peças no buffer MP  
 Descrição  
 Não havia peças no buffer MP  
 Descrição  
 Nenhuma Peca caiu entre o buffer MP e a CNC  
 As peças em falta não estavam no buffer das MP  
 Descrição  
 Nenhuma Peca caiu entre o buffer MP e a CNC  
 As peças em falta não estavam no buffer das MP

b) Descrição.

Figura 4.66: Exemplo do ficheiro de texto “RegistaFresa.txt”.

#### 4.2.11 Sistema de emergência e segurança do setor de fabrico

À semelhança do programa “AlarmeCFF.prg” do setor do armazém, neste setor foi desenvolvido o programa “AlarmeCFF3.prg”. Este programa também tem o objetivo de garantir a segurança dos utilizadores da CFF e o bom funcionamento dos equipamentos. Da mesma forma, este também funciona em simultâneo com o programa principal “StFabrico.prg”.

Na Figura 4.67 é exibido o fluxograma do programa “AlarmeCFF3.prg”, como se pode observar, o programa verifica se algum dos sensores está ativo, através das entradas DI12\_1 e DI12\_6. Se alguma destas entradas, mudar o seu estado de 0 para 1, significa que houve uma invasão no setor, invadindo desse modo o volume de trabalho do robô, pelo que é executada a instrução “StopMove”, a qual para o robô. Por conseguinte, o alarme sonoro e a luz vermelha da baliza de sinalização são ativados e no ecrã da consola de programação é mostrada uma mensagem referindo que houve uma intrusão, como está exemplificado na Figura 4.68 a).

Neste setor o operador após sair do setor de fabrico para uma zona segura tem a opção de dar continuidade das tarefas ou cancelar a produção. Para dar continuidade às tarefas que estavam a ser realizadas pelo robô, o operador deve pressionar, da mesma forma que no outro setor, o botão “Ok” após tomar as devidas precauções. Deste modo o robô através da instrução “StartMove” irá continuar a realizar a tarefa e será apresentado na consola outra mensagem a referir que o alarme está ok como exemplificado na Figura 4.68 b). Por outro lado, caso o operador, verifique por algum motivo deve ser cancelada a produção, o operador pode pressionar o botão “Cancelar Produção”. Com esta ação, o alarme sonoro é ativado, a luz vermelha da baliza de sinalização é ativa e, caso os equipamentos não estejam danificados, através da instrução “MoveAbsJ Home” o robô desloca-se para uma posição de repouso, e as máquinas CNC por segurança fecham as portas.

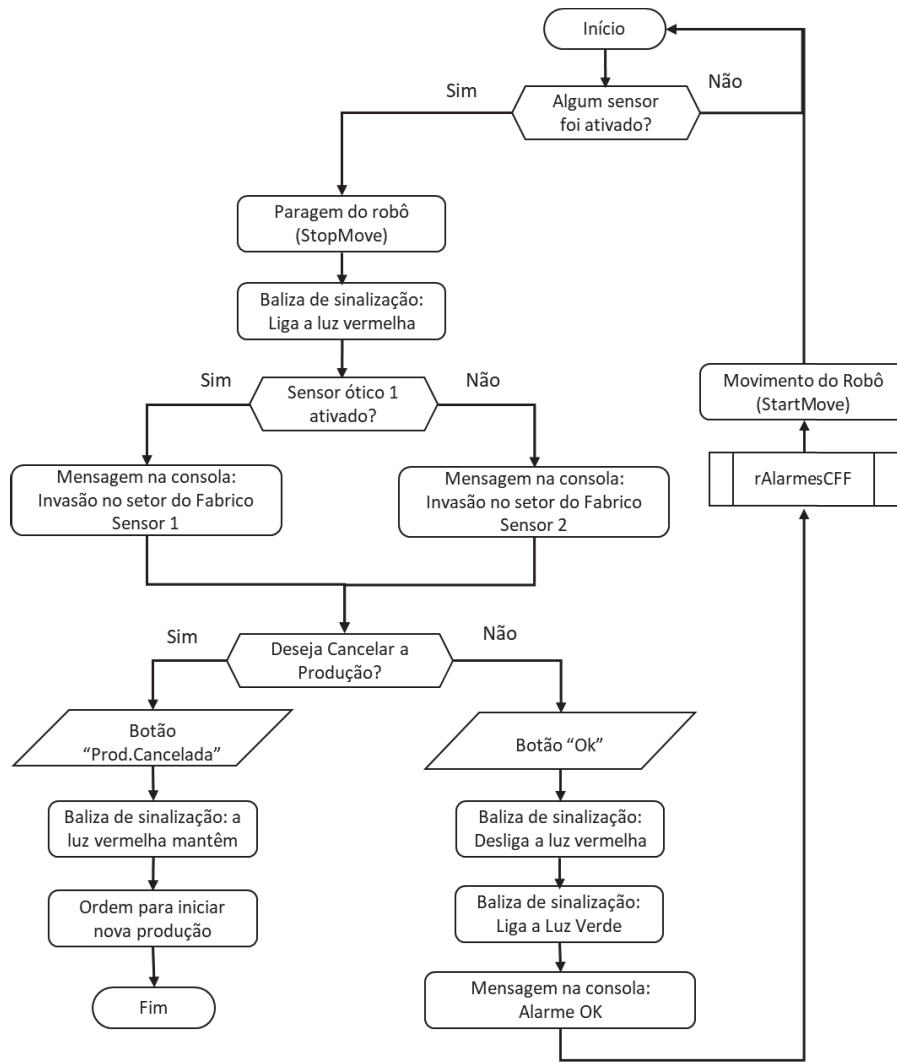


Figura 4.67: Fluxograma do programa “AlarmeCFF3.prg”.



a) Mensagem quando ocorre uma invasão; b) Mensagem quando o alarme é repost.

Figura 4.68: Mensagens apresentadas na consola quando ocorre algum alarme de invasão.

Por fim através da rotina “rAlarmesCFF” (ver fluxograma da Figura 4.69), o alarme ocorrido é registado no ficheiro de texto “AlarmeCFF.txt”, o qual apresenta um inventário de todas as intrusões detetadas no setor de fabrico.

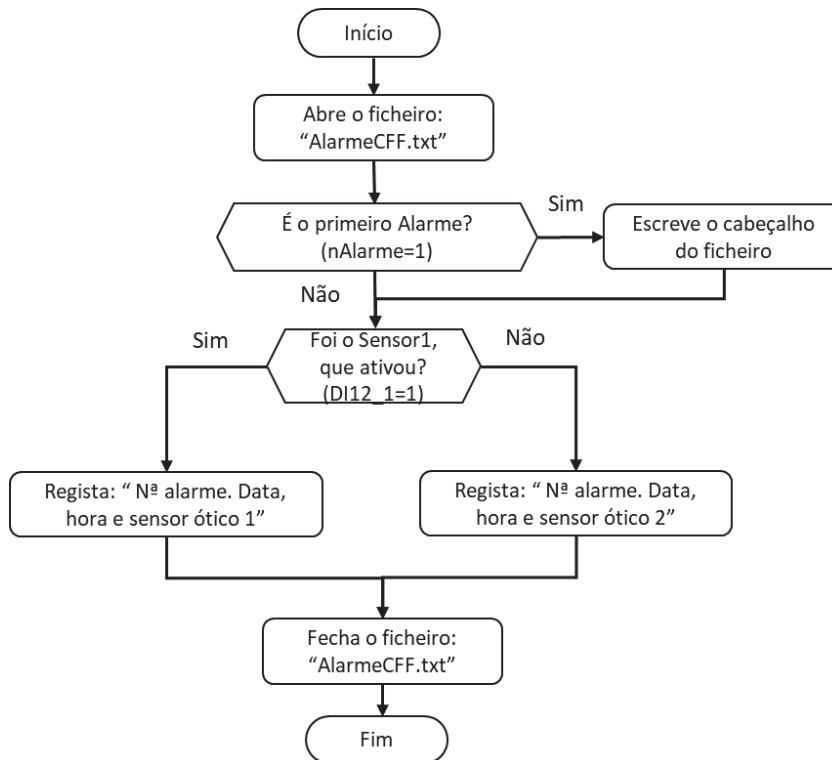


Figura 4.69: Fluxograma da rotina “rAlarmesCFF”.

A Figura 4.70 apresenta um exemplo do ficheiro “AlarmesCFF.txt”. Neste ficheiro, por cada invasão neste setor, é registado o número de alarme, a data, a hora e por último o sensor que foi ativado na invasão.

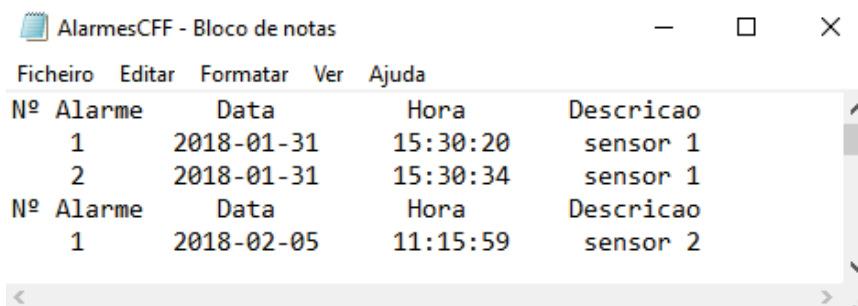


Figura 4.70: Exemplo do ficheiro “AlarmesCFF.txt”.

À semelhança do outro setor, estes ficheiros produzidos ao longo destas tarefas, também são armazenados na memória do controlador do robô, neste caso no IRB140. Assim quando o operador quiser analisá-los e guardá-los terá que aceder ao robô para depois fazer o seu *download*.

### 4.3 Gestor da CFF

O Gestor da CFF é responsável por atribuir as tarefas que serão executadas por cada setor presente na célula. O PLC é o *master* da célula e tem como objetivo principal integrar todos os equipamentos presentes em cada setor bem como coordenar todas as tarefas para o bom desempenho da célula. Deste modo, o PLC está constantemente a receber e enviar informação a cada setor através de sinais digitais. A Figura 4.71 ilustra a estrutura de controlo da CFF.



Figura 4.71: Estrutura do controlo da CFF.

No desenvolvimento de uma CFF é necessário que todos os elementos comuniquem entre si. Deste modo, para além dos robôs comunicarem com as máquinas CNC e com o Gestor da CFF, é necessário que os elementos presentes no transportador comuniquem com o PLC. Nos Quadros (Quadro 4-7 e Quadro 4-8) são apresentadas as entradas e saídas que constituem a interligação entre o Gestor da CFF e os equipamentos presentes no transportador.

Quadro 4-7: Interface de comunicação, entradas do PLC.

Entradas do PLC	
Entradas	Descrição
I0.0	Sensor indutivo 1 do setor do armazém
I0.1	Sensor indutivo 2 do setor do armazém
I0.2	Sensor indutivo 3 do setor do armazém
I0.3	Sensor indutivo 4 do setor do armazém
I8.6	Sensor indutivo 5 do setor do armazém
I0.4	Sensor indutivo 1 do setor de fabrico
I0.5	Sensor indutivo 2 do setor de fabrico
I0.6	Sensor indutivo 3 do setor de fabrico
I0.6	Sensor indutivo 4 do setor de fabrico
I8.4	Sensor indutivo 5 do setor de fabrico

Quadro 4-8: Interface de comunicação, saídas do PLC.

Saídas do PLC	
Saídas	Descrição
Q0.0	<i>Stopper</i> do setor de fabrico
Q0.1	<i>Stopper</i> do setor do armazém
Q0.2	<i>Stopper</i> auxiliar do setor de fabrico
Q0.3	<i>Stopper</i> auxiliar do setor do armazém

### 4.3.1 Interligação entre o Gestor da CFF e o setor do armazém

Relativamente ao setor do armazém, o Gestor da CFF em função da informação que obtém dos outros setores presentes na célula, é responsável por designar as seguintes tarefas principais neste setor: carregar as paletes MP do Torno e da Fresa e descarregar as paletes PA do Torno e da Fresa.

Na Figura 4.72 é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF que ativa o carregamento das paletes MP. O carregamento das paletes MP só é ativado quando as paletes MP estão vazias e se o armazém possuir matéria prima. De seguida, se for detetada a passagem de uma das paletes MP neste setor, o Gestor da CFF ordena a ativação do stopper, e ativa as saídas Q0.4 ou Q0.5, para efetuar a carga da paleta MP do Torno ou a paleta MP da Fresa respetivamente.

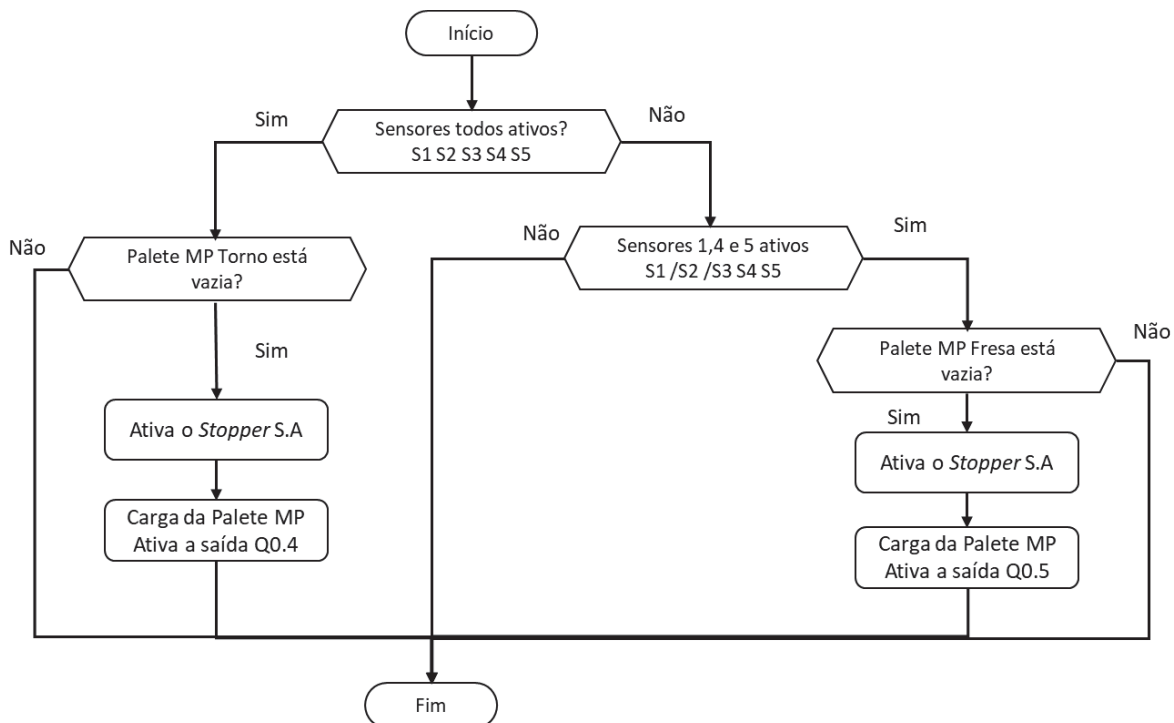


Figura 4.72: Fluxograma das tarefas do setor do armazém para as paletes MP.

Na situação do descarregamento das paletes de PA, o Gestor da CFF ativa esta tarefa, quando pelo menos uma das paletes de produtos acabados estiver cheia. Assim se uma das paletes for detetada a passar pelo setor do armazém e estiver cheia, o Gestor da CFF ordena a ativação do stopper presente neste setor e ativa a saída Q9.0 ou Q9.1 dependendo da paleta que seja detetada, PA Torno ou PA Fresa respetivamente. Na Figura 4.73 está representado o fluxograma do Gestor da CFF para a atribuição desta tarefa.

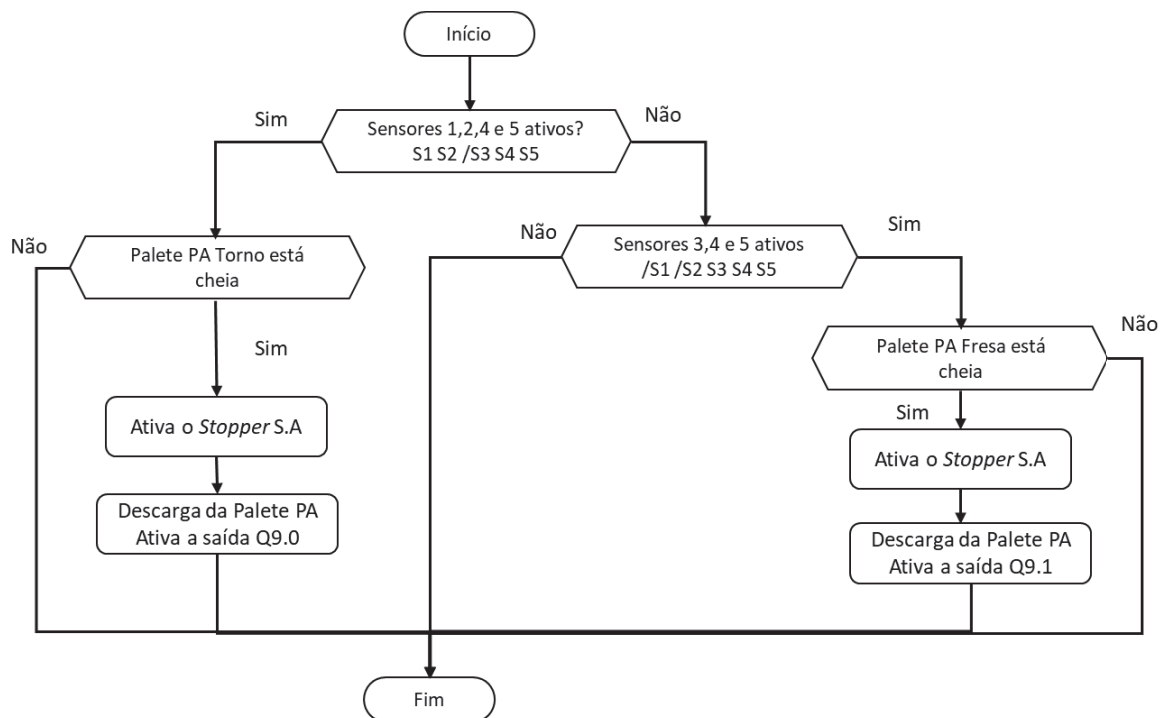
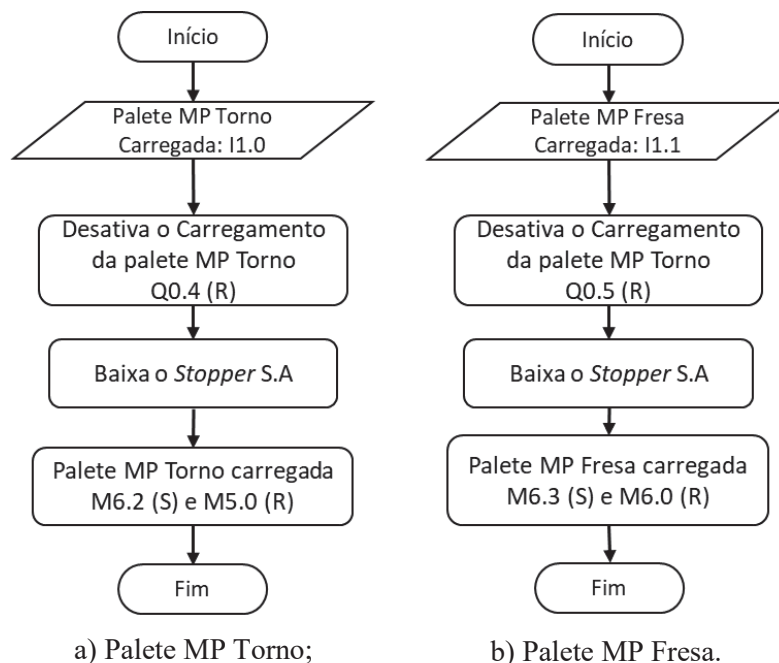


Figura 4.73: Fluxograma das tarefas do setor do armazém para as paletes PA.

Quando o setor do armazém termina a execução de uma determinada tarefa, comunica ao Gestor da CFF que terminou a tarefa. Deste modo, em função das tarefas realizadas são ativadas diferentes entradas no PLC. Na Figura 4.74 a) é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF quando é efetuado um carregamento da paleta MP Torno. Quando é ativado a entrada I1.0 no Gestor da CFF significa que a paleta MP Torno foi carregada.



a) Paleta MP Torno;

b) Paleta MP Fresa.

Figura 4.74: Fluxograma das paletes MP carregadas.

Na Figura 4.74 b) é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF quando é efetuado o carregamento da paleta MP Fresa. À semelhança do carregamento da paleta MP Torno, quando é efetuado a carga da paleta MP Fresa é ativada a entrada no PLC, neste caso a entrada I1.1.

Por outro lado, quando o setor do armazém termina as tarefas de descarregamento das paletes PA, comunica ao Gestor da CFF que terminou de executar a tarefa. Na Figura 4.75 a) é ilustrado o fluxograma do Gestor da CFF quando são concluídas as tarefas de descarregamento das paletes PA Torno e na Figura 4.75 b) o fluxograma quando o descarregamento da Paleta PA Fresa é concluído.

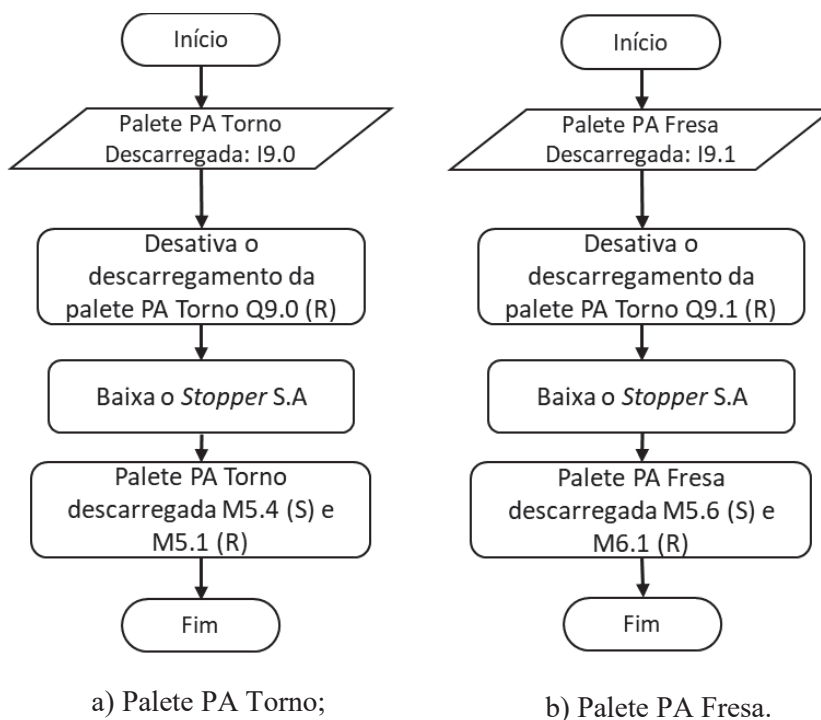


Figura 4.75: Fluxograma das paletes PA descarregadas.

### 4.3.2 Controlo da unidade controlo do setor do armazém

Como foi referido anteriormente a unidade de controlo deste setor permite efetuar algumas ações de controlo, tais como, “Stop” e “Ok”. No Gestor da CFF foi desenvolvido um algoritmo com o objetivo de executar as mesmas funções através da página *web*, como representado na Figura 4.76. Deste modo, pretende-se a partir dos *bits* de memória M0.2 e M0.3 comandar remotamente a unidade de controlo do setor do armazém.

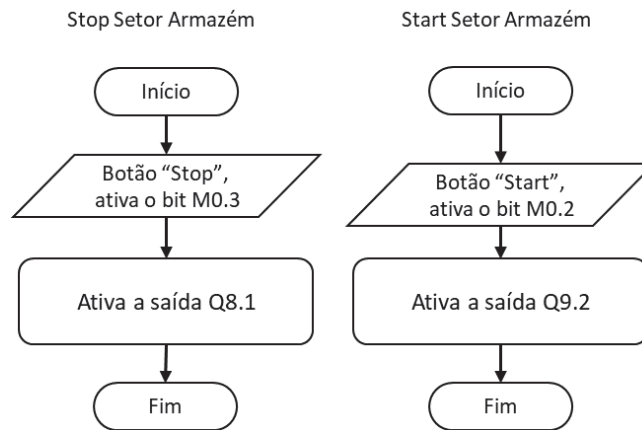


Figura 4.76: Fluxograma da unidade de controlo do setor do armazém.

Quando os *bits* de memória são ativos, vão ativar as saídas Q8.1 e Q9.2 do PLC, que por sua vez estas, vão ativar as mesmas entradas do controlador que estão ligados os botões da unidade de controlo local, ou seja, as entradas DI10\_5 e DI10\_4.

### 4.3.3 Interligação entre o Gestor da CFF e o setor de fabrico

O Gestor da CFF também tem a função de atribuir as tarefas que são executadas no setor de fabrico. Neste caso, o Gestor da CFF é responsável por atribuir as seguintes tarefas: descarregamento das paletes MP e carregamento das paletes PA.

Na Figura 4.77 é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF que ativa o descarregamento das paletes MP. O descarregamento de uma paleta MP do Torno ou da Fresa é ativado sempre que a paleta esteja cheia, e os buffers MP e PA das respetivas máquinas estejam vazios. Quando se verifica essa condição, o *stopper* presente neste setor é ativado permitindo assim a paragem da paleta. De seguida, é dada a instrução de descarregamento da paleta MP através das saídas Q0.6 ou Q0.7, dependendo paleta MP em causa, Torno ou Fresa respetivamente.

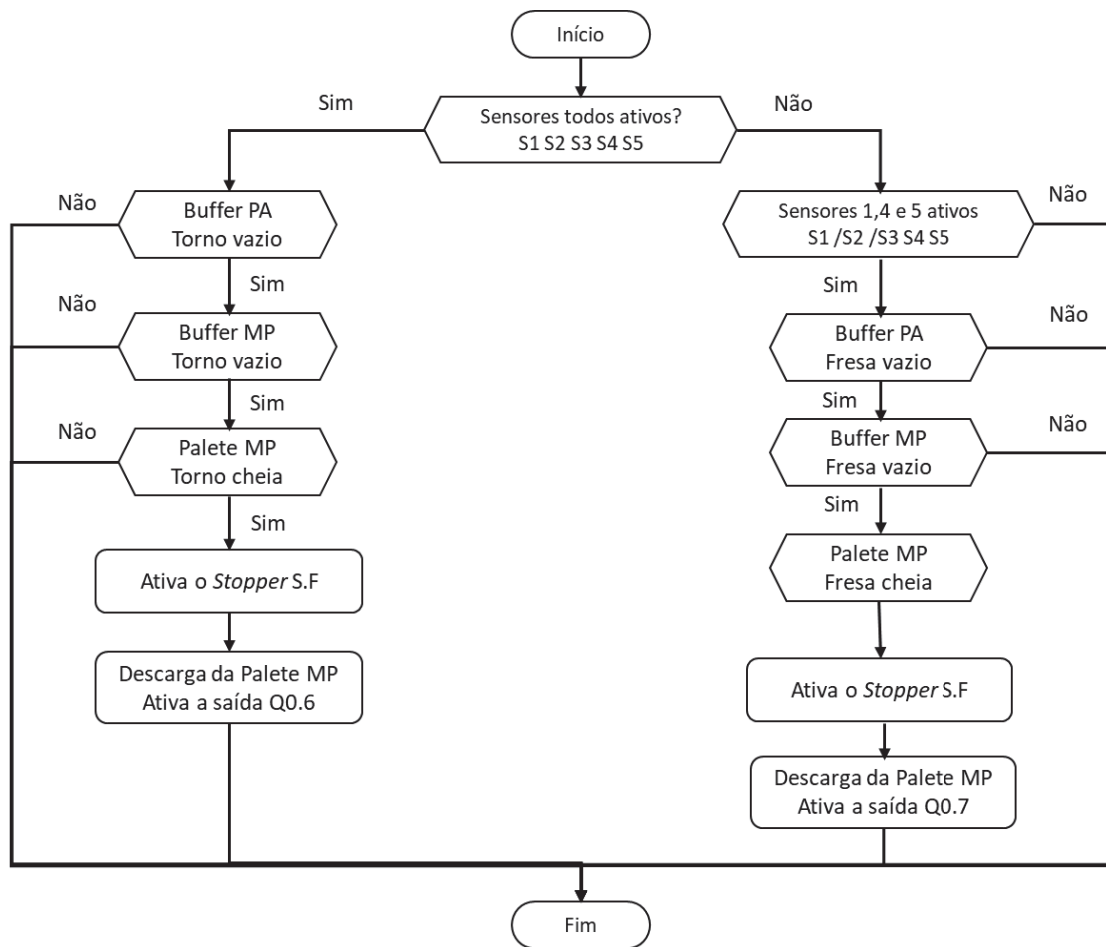


Figura 4.77: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes MP.

Na Figura 4.78 é apresentado o fluxograma do Gestor da CFF que ativa o carregamento das paletes PA. O carregamento de uma paleta PA do Torno ou da Fresa é ativado sempre que a paleta esteja vazia e que o *buffer* PA tenha peças. Assim, quando a paleta é detetada no setor, o *stopper* é ativo permitindo a paragem da paleta. De seguida, é dada a instrução do carregamento da paleta PA através das saídas Q1.0 ou Q1.1 dependendo da paleta PA em causa, Torno ou Fresa respetivamente.

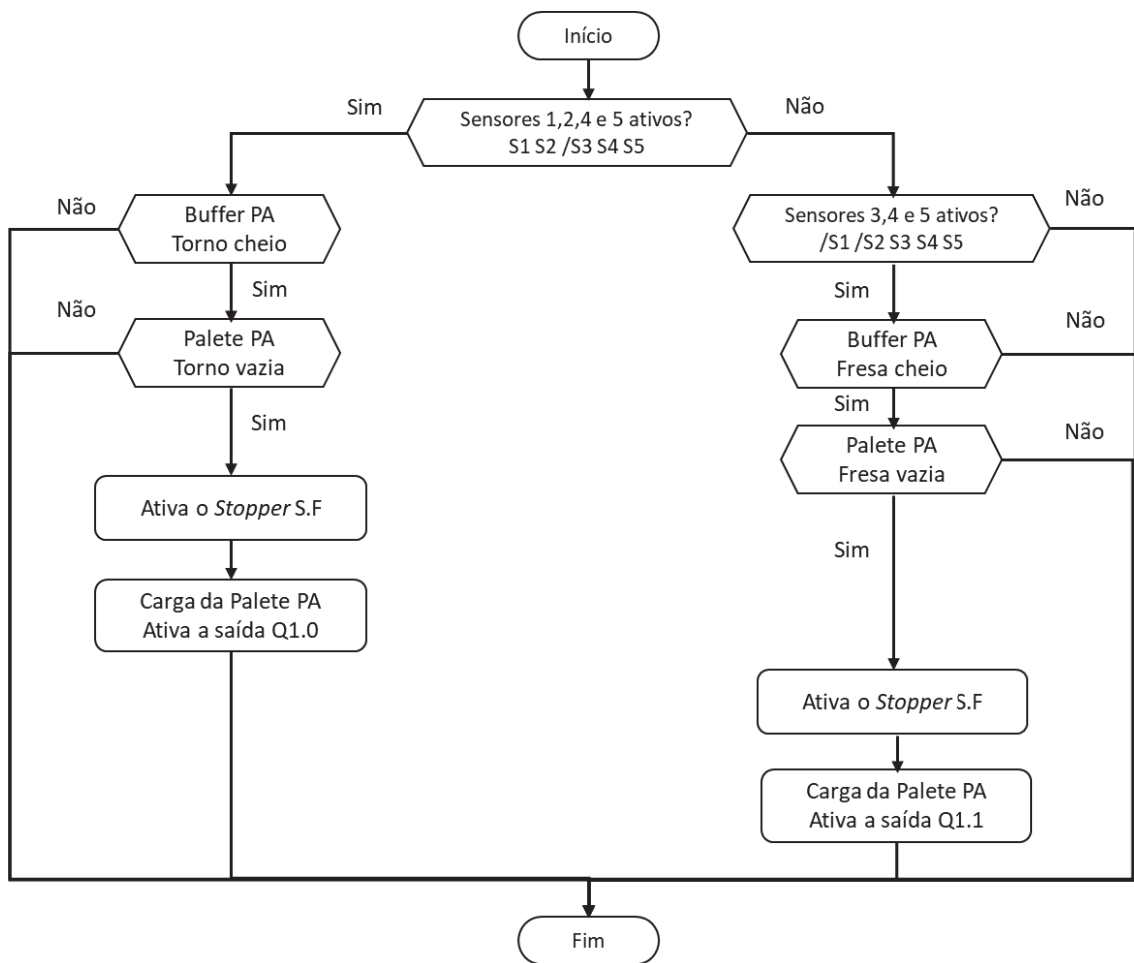
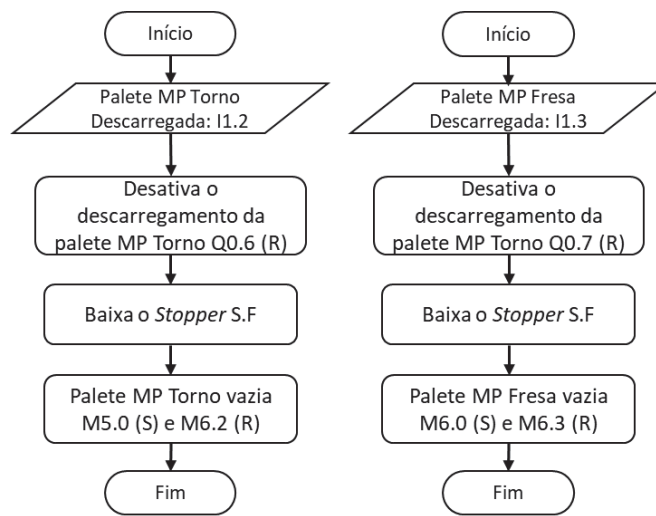


Figura 4.78: Fluxograma das tarefas do setor de fabrico para as paletes PA.

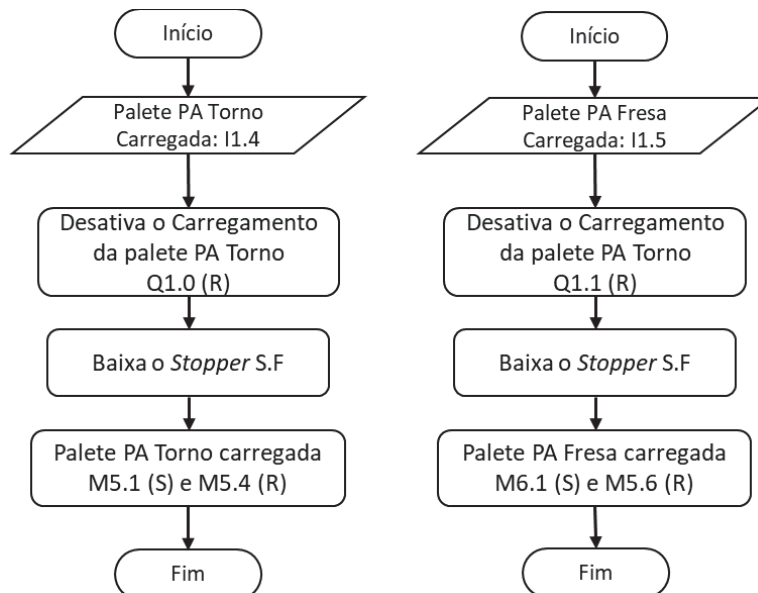
À semelhança do setor do armazém, no fim de terminar a execução de uma determinada tarefa, o setor de fabrico é responsável por comunicar ao Gestor da CFF que terminou a tarefa. Deste modo, quando o robô terminar a tarefa de descarregamento das paletes MP Torno ou Fresa ativa no Gestor da CFF as entradas de entrada I1.2 ou I1.3 respetivamente. De seguida o Gestor dá ordem de desativação do *stopper* para a paleta prosseguir o seu caminho. Na Figura 4.79 a) é apresentado o fluxograma do PLC quando é efetuado a tarefa de descarregamento da paleta MP Torno e a Figura 4.79 b) da paleta MP Fresa.



a) Paleta MP Torno; b) Paleta MP Fresa.

Figura 4.79: Fluxograma para as paletes MP descarregadas.

Por sua vez, quando é concluído o carregamento de uma paleta PA do Torno ou da Fresa, o robô ativa no PLC as entradas I1.4 ou I1.5 respectivamente. Assim que uma dessas entradas seja ativada, o PLC dá ordem de desativação do stopper para a paleta prosseguir o seu caminho e sinalizar que a paleta foi carregada. Na Figura 4.80 a) apresenta o fluxograma quando é terminado o carregamento da paleta PA Torno e a Figura 4.80 b) o carregamento da paleta PA Fresa.



a) Paleta PA Torno; b) Paleta PA Fresa.

Figura 4.80: Fluxograma para as paletes PA carregadas.

Por vezes, em situações anómalas, todos os produtos acabados podem cair no transporte entre a máquina e o *buffer* ficando este vazio. Deste modo aquando o carregamento da paleta PA o robô verifica que não tem peças no respetivo *buffer*, informando o Gestor da CFF que a paleta vai vazia para posteriormente não ser parada no setor do armazém. Se esta situação ocorrer, o setor do armazém irá informar o PLC que a respetiva paleta irá vazia ativando a entrada I9.5, no caso do torno, ou a entrada I9.4 no caso da Fresa. Na Figura 4.81 ilustra o fluxograma do Gestor da CFF nesta situação para a paleta PA Torno e para a paleta PA Fresa.

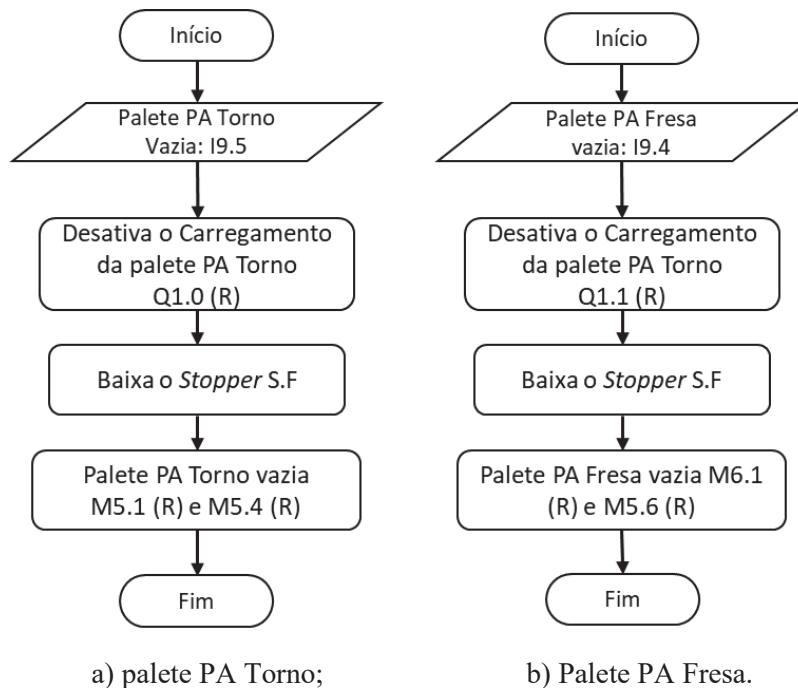


Figura 4.81: Fluxograma para as paletes PA em situação anómala.

#### 4.3.4 Controlo da unidade de controlo do SF

Como referido anteriormente a unidade de controlo local instalada no setor de fabrico permite efetuar diferentes ações de controlo, tais como “Emergencia”, “Ok”, “Manutenção” e “Produção Cancelada”. No PLC foi desenvolvido um algoritmo para replicar algumas dessas funções, como apresenta a Figura 4.82. Optou-se por replicar as funções mais importantes para executar de forma remota. Desta forma, pretende-se, a partir dos *bits* de memória M0.4, M0.5 e M0.7, efetuar os comandos, “Emergencia”, “Ok” e “Produção Cancelada”.

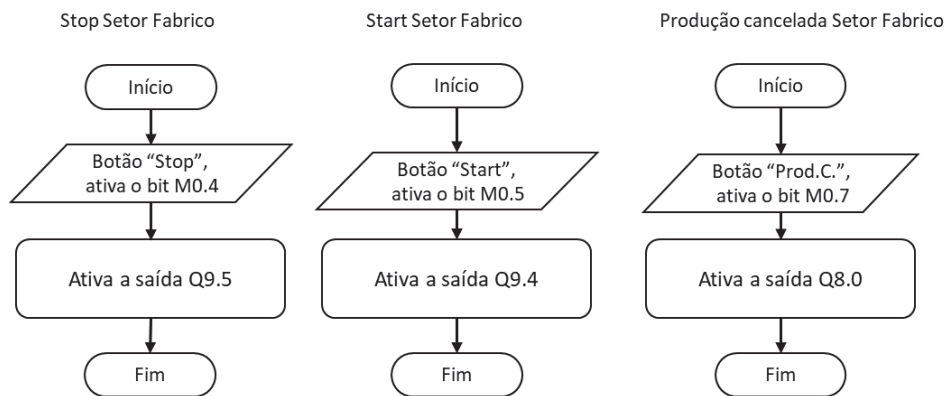


Figura 4.82: Fluxograma da unidade de controlo do setor de fabrico.

Estes *bits* quando ativos, irão ativar respetivamente as saídas Q9.5, Q9.4 e Q8.0, do PLC que por sua vez, estão ligadas às mesmas entradas do controlador do robô, nas quais estão ligados os botões da unidade de controlo local.

## 4.4 Visão Artificial

### 4.4.1 Interface da visão artificial

Como referido no capítulo anterior, neste projeto foi elaborado um pequeno sistema de visão artificial. Por vezes, aquando a carga das paletes de MP, no setor do armazém, o robô pode colocar mal ou até deixar cair uma ou mais peças. Ou, por outro lado, durante o transporte, a vibração causada pelo movimento do transportador, pode causar a queda de alguma peça. Assim, no setor de fabrico, o robô utiliza este sistema para verificar se as paletes MP trazem peças, ao contrário do robô do setor do armazém que utiliza sensores de fibra ótica. Por outro lado, para tirar o máximo partido deste sistema, este foi também utilizado para analisar, se durante a carga das paletes PA caiu alguma peça dos *buffers* para as paletes.

Este sistema consiste em adquirir imagens através de uma *Webcam*, no qual funciona constantemente, em modo de vídeo. Estas imagens são processadas e analisadas, através de um algoritmo, que está a funcionar em modo “*standalone*” no *Raspberry Pi*, e consoante a presença ou ausência de peças são enviados sinais digitais ao controlador do robô. A Figura 4.83 exemplifica a interface entre este sistema e os vários equipamentos envolvidos.

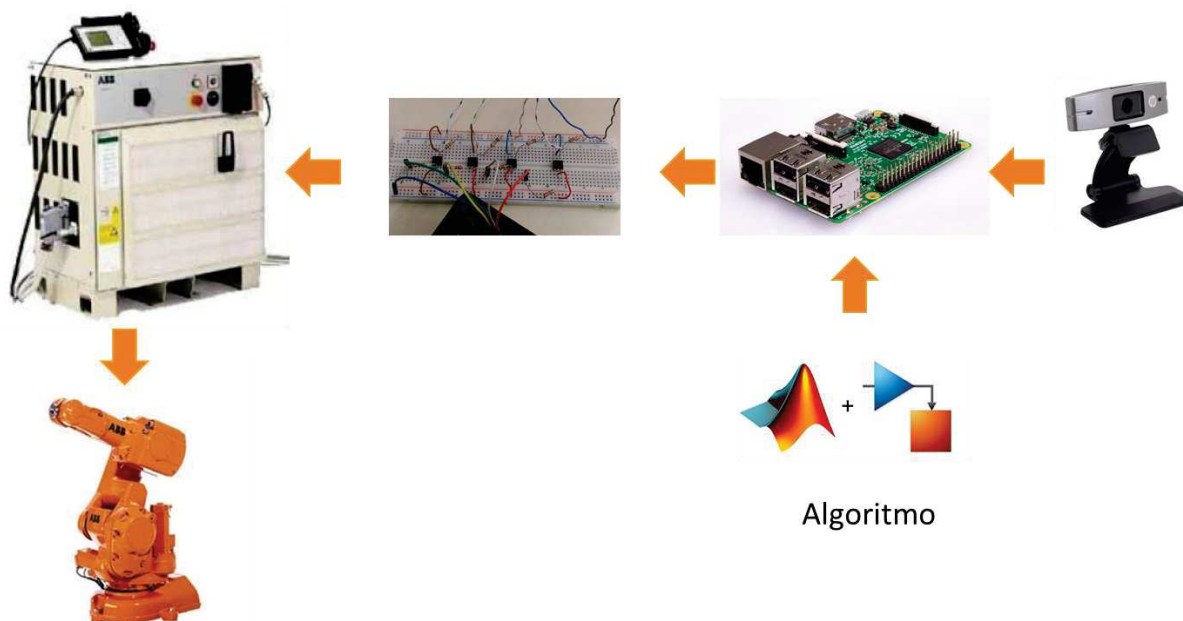


Figura 4.83: Interligação entre o sistema de visão e os vários equipamentos.

Quando chega uma paleta de MP, o PLC dá um sinal ao robô e este, quando está disponível, coloca-se numa posição de forma a que, o alcance da *webcam*, seja o suficiente para abranger a paleta, neste caso no ponto “pTiraFoto”. De acordo com o número de peças, o *Raspberry Pi* envia um sinal ao robô por cada peça que esteja presente para este ir só aos sítios que tenham peças.

### 4.4.2 Programa da visão artificial

O programa para este sistema de visão artificial foi realizado no *Simulink*. Este é uma ferramenta de simulação integrada no software MATLAB. Esta ferramenta permite modelar, simular e analisar sistemas dinâmicos. Ao contrário do MATLAB, que utiliza a linha de comandos para elaborar o programa, o *Simulink* utiliza uma interface gráfica em que os modelos são criados sob a forma de diagramas de blocos. Na Figura 4.84 está representado o programa em blocos realizado para este sistema de visão.

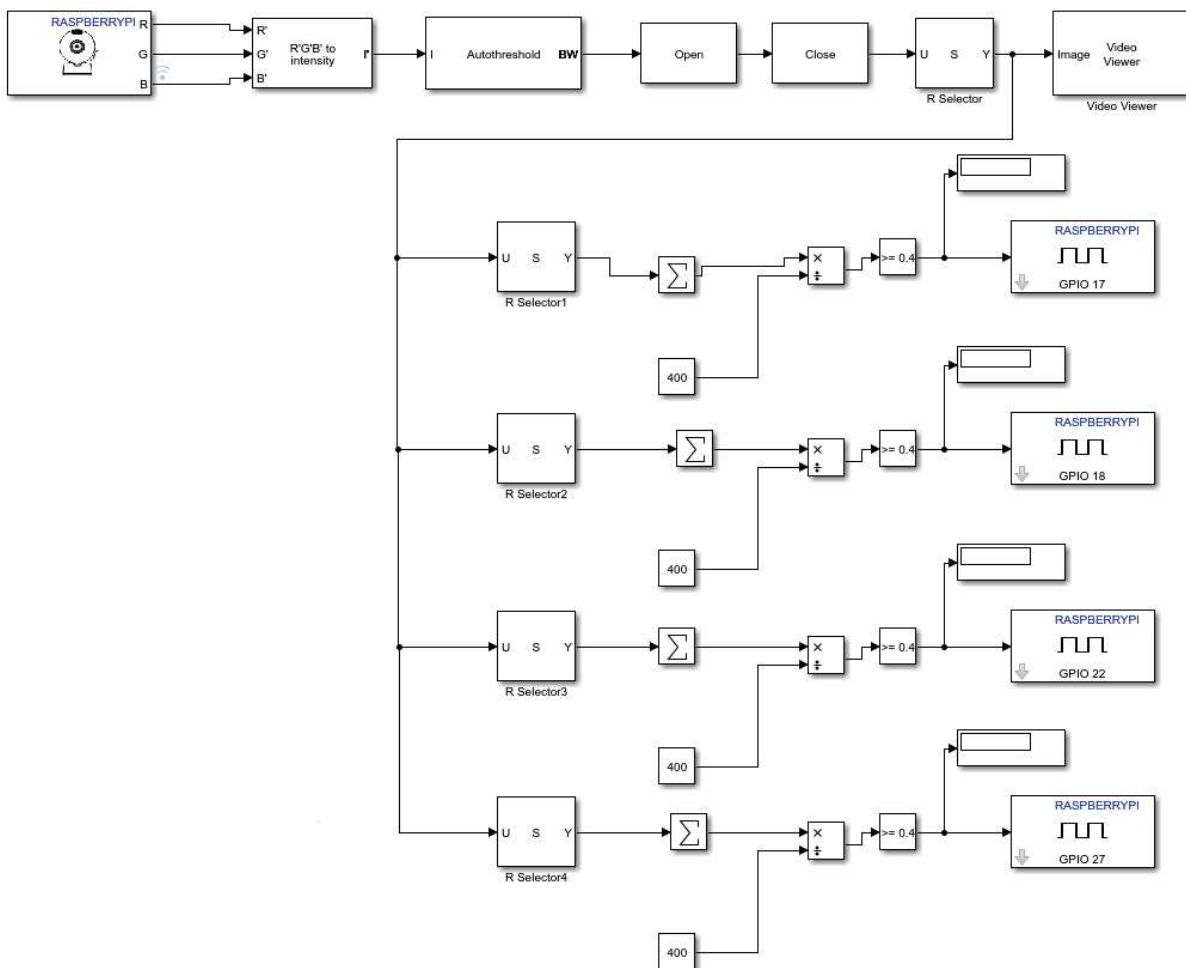


Figura 4.84: Programa da visão artificial.

O programa desenvolvido começa por obter imagens através da câmara, e posteriormente convertê-las para preto e branco, como mostra a Figura 4.85. Nesta pode-se observar que a paleta, naquela situação, tem duas peças, representadas com um retângulo a branco.

Deste modo, para verificar a presença das peças, foi feito um corte na imagem em forma de quadrado no centro de cada posição, com uma área de 400 pixéis, como exemplificado na Figura 4.85.

Como se pode observar na mesma figura, numa posição em que tenha peça, os pixéis na zona do corte são todos, ou quase todos, brancos e numa posição onde não tenha, serão todos, ou quase todos, pretos. Visto que, cada pixel branco tem o valor um e o pixel preto tem o valor nulo, a percentagem no corte onde haja peça, comparando com o número total de pixéis do quadrado, será próxima dos cem por cento e onde não tenha será próxima de zero. Por conseguinte, colocou-se no programa um limite de quarenta por cento. Caso seja maior que esse limiar, significa a presença de uma peça e este irá ativar um pino GPIO do *Raspberry Pi*, que posteriormente irá ativar uma entrada no controlador do robô. Por outro lado, caso não tenha peça, a percentagem de pixéis brancos é inferior a esse limiar e assim não irá ativar o pino correspondente a essa peça.

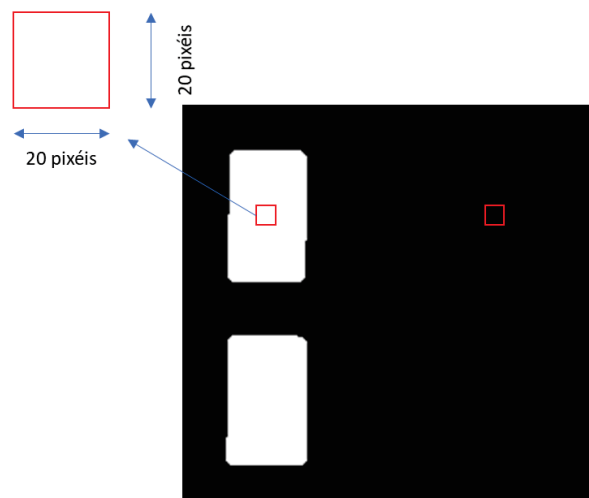


Figura 4.85: Paleta MP Fresa com duas peças.

Na Figura 4.86, estão presentes algumas das situações que podem acontecer durante o funcionamento do sistema de visão. Neste caso as imagens são todas referentes à paleta MP da Fresa, no entanto, pode acontecer as mesmas situações ou outras na paleta MP relativa ao Torno.

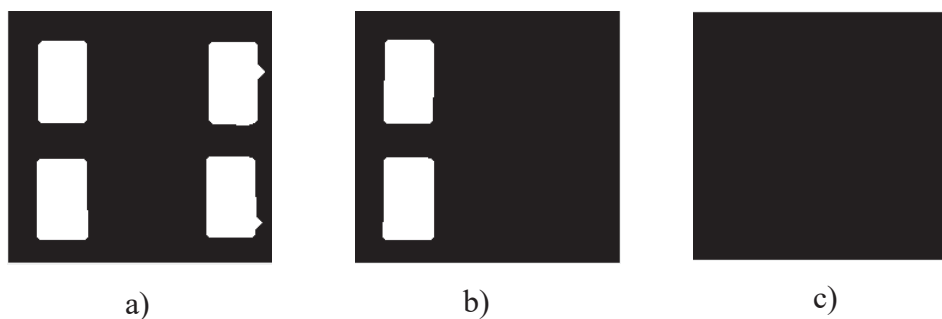


Figura 4.86: várias situações da paleta MP Fresa.

Na Figura 4.86, imagem c), a paleta está vazia, o que significa que, não tem nenhuma peça. Logo, não será ativado nenhum dos pinos e por consequência não irá ser ativada nenhuma entrada no controlador do robô. Este irá informar o PLC que a paleta de matéria prima está vazia.

Por outro lado, durante o transporte dos produtos acabados, pode, por vezes, cair uma peça antes de colocá-la na paleta. Por isso, este programa para além de ser utilizado para verificar a presença ou ausência de peças das paletes MP, também foi usado para analisar as paletes PA. Ao fim da carga das mesmas, o robô coloca-se no ponto e verifica se caiu alguma durante o transporte.

### 4.4.3 Sistema de proteção entre o *Raspberry Pi* e o Controlador

Ao desenvolver circuitos eletrônicos e interligações entre vários equipamentos é necessário tomar medidas de segurança, e ainda mais quando se trabalha com várias tensões no mesmo circuito. Deste modo, como o microcomputador e o controlador funcionam a tensões diferentes, a 3.3V e 24V respetivamente, foi implementado um circuito que é responsável pela interligação e pelo isolamento entre os dois, como mostra a Figura 4.87.

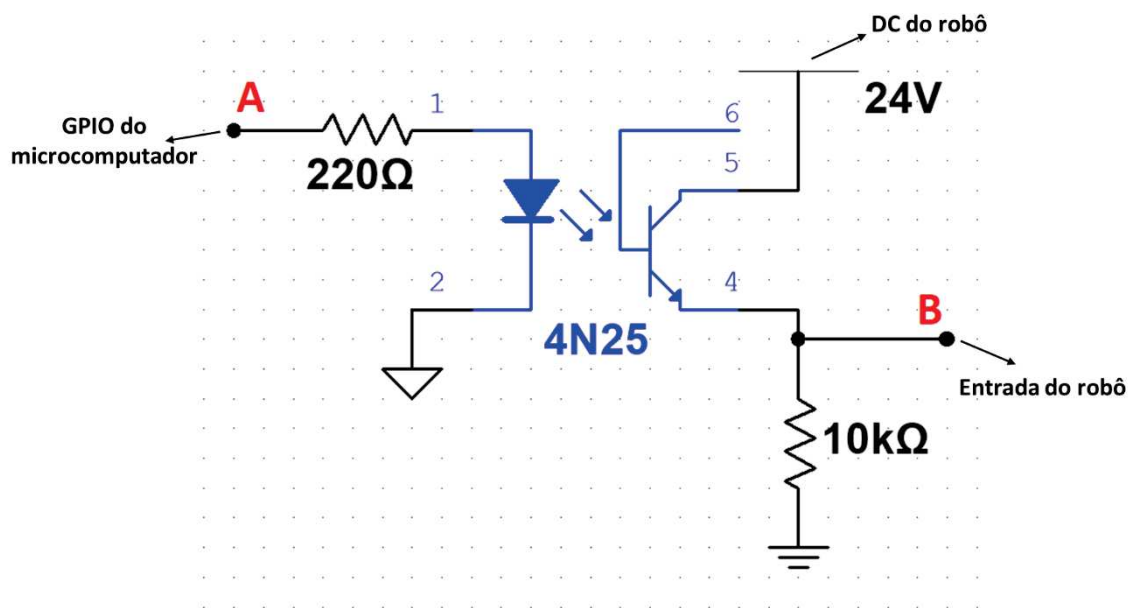


Figura 4.87: Esquema do circuito elétrico.

Na Figura 4.87, está representado o esquema do circuito utilizado apenas para uma peça. Para tal, todo o circuito é constituído por quatro opto-copuladores, (representado na figura pela referência 4N25 [26]), quatro resistências de 220 Ω do lado do microcomputador e quatro resistências de 10k Ω do lado do controlador. Cada pino GPIO do microcomputador é ligado

a uma resistência de  $220 \Omega$  representado na figura pelo ponto A, e cada entrada do controlador é ligada ao emissor de um transistor, representado na figura pelo ponto B.

O funcionamento do opto copulador é baseado no efeito ótico, por outras palavras, quando o pino do *Raspberry Pi* é ativado, o foto-díodo transmite um feixe de luz infravermelha, e polariza a base do foto-transistor colocando em condução entre o coletor e o emissor, representados na figura pelos números 5 e 4 respetivamente. Quando o foto-transistor passa a conduzir, no ponto B vai ter uma tensão de 24V menos a queda de tensão no transistor, sendo esta tensão suficiente para ativar uma entrada no controlador do robô.

Os pinos GPIO do microcomputador utilizados para este programa, como mostra a Figura 4.84, foram os pinos 17, 18, 22 e 27 que irão ativar caso haja peça as entradas no controlador DI10\_11, DI12\_14, DI12\_16 e DI10\_13, respetivamente.

## 4.5 Servidor *Web*

O servidor *web* aloja uma página Internet onde o operador pode monitorizar e controlar remotamente a CFF. Ao longo do desenvolvimento da página procurou-se incorporar as funções mais importantes, tais como, alguma das funções da consola dos controladores e as mesmas funções da unidade de controlo presente no setor de fabrico e do armazém.

O operador através da página pode consultar os dados de produção, o desempenho das tarefas realizadas no setor de fabrico, como também analisar as possíveis falhas e avisos ocorridos neste setor. Para além disso, o operador pode ainda efetuar operações de controlo.

A página *web*, de certa forma, é considerada uma HMI da CFF. Foi desenvolvida, com o objetivo de o operador, na ocorrência de uma avaria, poder identificar e corrigir essa anomalia no menor tempo possível, para não afetar o processo produtivo da célula. Deste modo, leva a que o operador possa controlar remotamente a CFF sem estar permanentemente a supervisionar a célula localmente.

### 4.5.1 Interface entre o servidor *web* e os outros equipamentos

O gestor da CFF para além de ser responsável pela designação das tarefas em cada setor e a sua monitorização, permite também a transmissão e receção dos dados para o servidor *web*.

Para estabelecer a comunicação entre o *Raspberry Pi* e o PLC foram desenvolvidos vários *scripts* em *python* que leem e armazenam o estado lógico dos *bits* de memória (Mx.x). Posteriormente, estes *bits* de memória vão ser utilizados nas operações de controlo remoto da página *web* ativando saídas (Qx.x) no PLC. Estes *scripts* fazem uso de funções disponíveis na biblioteca “snap7” para a comunicação entre o servidor e o PLC. No Quadro 4-9 estão apresentados os *bits* utilizados na página *web*.

Quadro 4-9: Interface de comunicação entre o servidor e o Gestor da CFF.

Bits do PLC- servidor web	
Bits PLC	Descrição
M1.3	Start ao Setor de Fabrico no local através da botoneira
M1.2	Produção cancelada ao Setor de Fabrico no local através da botoneira
M0.4	Emergência/Stop ao Setor de Fabrico remotamente
M0.5	Start ao Setor de Fabrico remotamente
M0.7	Produção cancelada ao Setor de Fabrico remotamente
M0.1	Start ao Setor do Armazém no local através da botoneira
M0.3	Stop ao Setor do Armazém remotamente
M0.2	Start ao Setor do Armazém remotamente
M0.6	Alarme Ativo no Setor do Armazém
M1.1	Alarme Ativo no Setor de fabrico

Por último, o *Raspberry Pi* também comunica com os controladores dos robôs para aceder aos ficheiros de texto que são apresentados nos vários menus da página *web*. Os ficheiros de texto que o *Raspberry Pi* mostra na página *web* foram descarregados no controlador. Isto só é possível porque ambos são servidores FTP permitindo assim a comunicação entre eles.

O acesso à página *web* é feito através de um ficheiro HTML, localizado na memória do *Raspberry Pi*. Esse mesmo ficheiro faz uso de vários comandos programados em linguagens PHP, CSS e um conjunto de *frameworks* e bibliotecas de estilos como *BootStrap* e *Jquery* permitindo assim modificar o design e as cores da página.

Para o operador poder conectar-se via *Ethernet* ao *Raspberry Pi* necessitaria somente de colocar o microcontrolador e o seu Computador ligados ao *switch* onde já se encontram ligados os restantes equipamentos. Contudo, devido à inexistência de acesso à Internet no *switch* e ao número reduzido de portas disponíveis, foi utilizado no meio desta ligação um *router* da TP-LINK. Deste modo, o *Raspberry Pi* e o/os equipamento(s) do operador encontram-se ligados ao *router* e este por sua vez ao *switch*. Assim, através desta ligação, o *Raspberry Pi* passa a fazer parte da rede da CFF, permitindo a comunicação e o acesso a todos os outros equipamentos da célula.

Tendo em conta a mobilidade dos operadores dentro e fora da empresa, foi criada, no *router*, uma rede WIFI designada “CFF-ESTGV” para que possam aceder via *wireless* em cada local até ao alcance da própria rede. Após o operador se ligar a esta rede, e colocar no *browser* o endereço IP do *Raspberry Pi*, irá ter acesso à página *web* e a todas as suas ferramentas. É de notar que caso o operador aceda à página *web* através de um dispositivo diferente de um computador, tais como um *smartphone* ou um *tablet*, a página irá aparecer ligeiramente diferente, pois foi desenvolvida de forma a ser responsiva. Por outras palavras, a página *web* adapta-se ao dispositivo que se lhe acede.

## 4.5.2 Página Web

A página principal do *webiste* da CFF encontra-se na Figura 4.88. Como se pode observar, existe um menu lateral que permite o acesso a diferentes opções. É de notar, que as opções apresentadas na zona lateral foram realizadas de forma a facilitar a navegação na página.

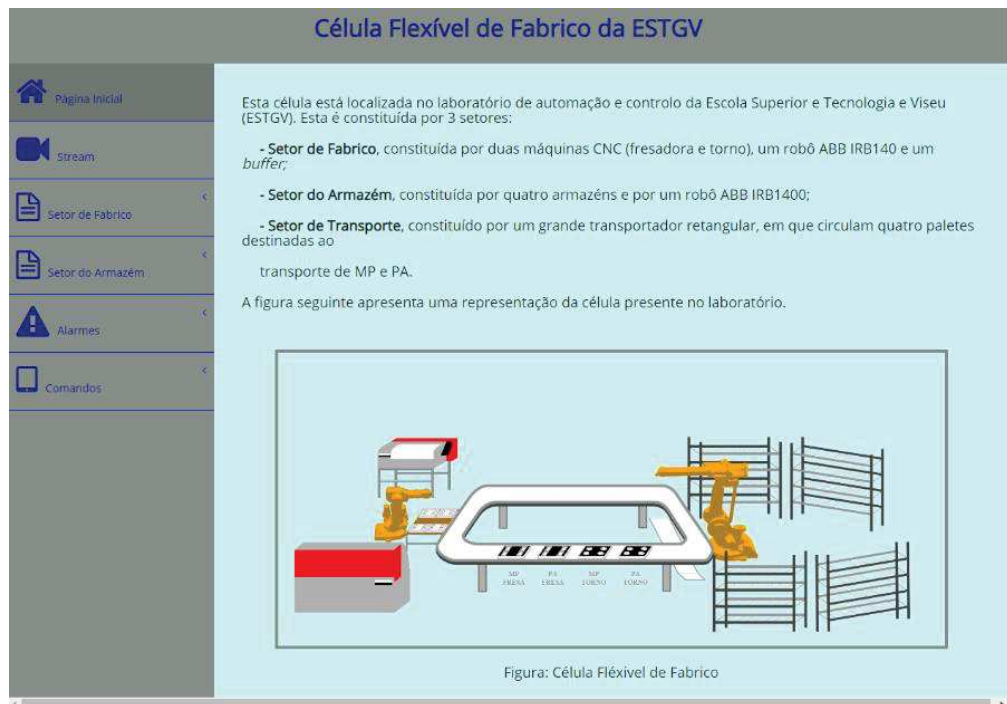


Figura 4.88: Página Inicial da página *web* da CFF.

O menu lateral está dividido nas seguintes opções:

- **Página Inicial:** Apresenta uma pequena informação sobre a constituição da Célula;
- **Stream:** Apresenta a *Stream* da CFF, permitindo ao operador observar a célula em tempo real;
- **Setor de Fabrico:** está subdividido em “Fresadora CNC”, “Torno CNC” e “Interrupções”. Os submenus “Fresadora CNC” e “Torno CNC” por sua vez estão subdivididos cada um em “Paletes MP”, “Paletes PA”, “Fresa” / “Torno” “Buffer” e “Tempos”. Neste menu, o operador tem acesso a toda a informação registada no setor de fabrico;
- **Setor do Armazém:** está subdividido em: “Fresadora”, “Torno” e “Interrupções”. Os menus “Fresadora” e “Torno” estão ambos divididos em Paletes MP e Paletes PA. O operador tem acesso aos registos de ambas as paletes de produtos acabados e das interrupções que tenham existido no setor;

- **Alarmes:** está subdividido em “Armazém” e “Fabrico”, em que estes subníveis apresentam um histórico de todos os alarmes ocorridos e repostos no setor do armazém e no setor de fabrico respetivamente;
- **Comandos:** está subdividido em “Botoneira SA” e “Botoneira SF”. O submenu “Botoneira SA” apresenta dois botões que permitem ao operador enviar dois comandos diferentes para o Gestor da CFF e deste para o controlador do robô presente no setor do Armazém. O submenu “Botoneira SF” apresenta três botões que permitem ao operador enviar três comandos diferentes para o Gestor da CFF e deste para o robô presente no setor de fabrico.

### 4.5.3 “Página Inicial”

A página inicial é a parte da página onde o operador tem informações da CFF. Assim para quem aceder à página pode obter informações sobre a constituição da célula, tais como os setores que existem, os robôs, os armazéns, as máquinas CNC, entre outros constituintes que estão presentes na célula.

### 4.5.4 “Stream”

A opção “stream” permite o operador ter acesso à transmissão em direto da CFF, via “*stream*” como é ilustrado na Figura 4.89. O posicionamento das duas camaras permite ao operador ver os setores de fabrico e do armazém, incluindo as balizas de sinalização em ambos os setores e uma parte do setor de transporte. Assim em caso de surgimento de algum alarme ou avaria o operador pode verificar e tomar decisões remotamente.

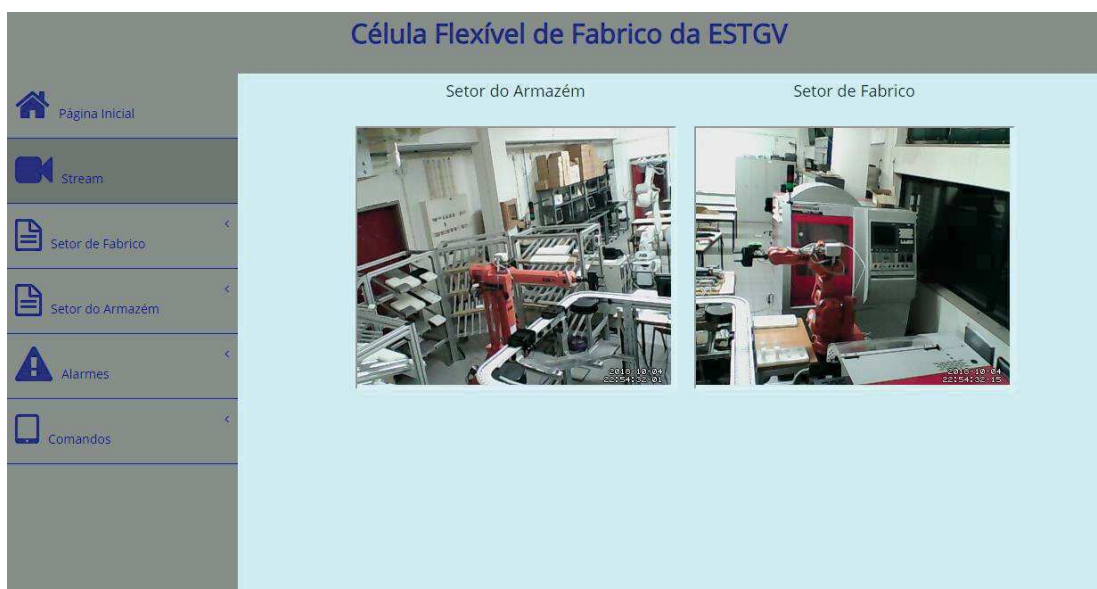


Figura 4.89: Menu “Stream”, onde é possível visualizar a CFF.

#### 4.5.5 “Setor de fabrico”

Como referido anteriormente, a opção “setor de fabrico” está dividido em três outras submenus: “Fresadora”, “Torno” e “Interrupcoes”. A “Fresadora” e o “Torno” por sua vez estão divididos em “Paletes MP”, “Paletes PA”, “Fresa” / “Torno”, “Buffer” e “Tempos” como mostra a Figura 4.90.

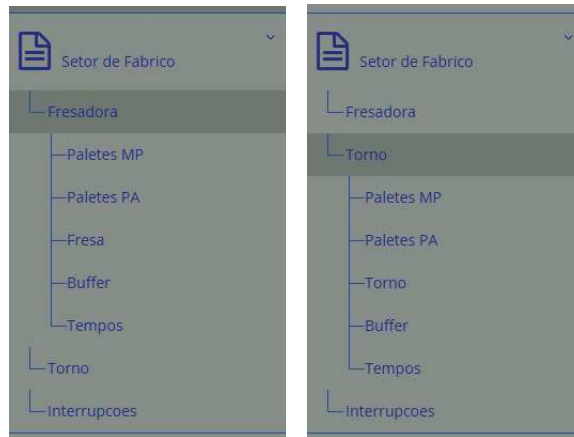


Figura 4.90: Menu “Setor de Fabrico”.

Nesta opção o operador tem acesso a toda informação registada neste setor. Tais como, todas as paletes MP descarregadas, todos as peças presentes no buffer e as que foram maquinadas em cada máquina CNC, todas as paletes PA carregadas, os tempos de ciclo e por fim os registos das interrupções efetuadas pelo operador ao longo processo.

Quando o operador solicita o submenu “Paletes MP” é acionado um determinado *script python* denominados com nomes diferentes tanto para o torno como para a fresadora. Como por exemplo, se for a opção “Paletes MP” do submenu “Torno” o *script* é “GetRegistaPaletesMPT.py”. Todos os *scripts python* encontram-se guardados juntamente com todos os outros ficheiros relativos à página *web*. Estes por sua vez encontram-se no cartão de memória do *Raspberry Pi*. Estes *scripts* começam-se por ligar via FTP ao controlador do robô IRB 140, através do endereço 192.168.1.9. Após feita a ligação é mudado o diretório, da raiz do disco do controlador até à pasta onde se encontram os ficheiros de texto. Posteriormente, uma vez na pasta, e em função de qual dos *scripts* for executado, é feito o download do ficheiro de texto para a pasta onde se encontram os *scripts python*.

Após o ficheiro se encontrar na pasta é feita a sua leitura e display na opção da página solicitada. A Figura 4.91 mostra o conteúdo do ficheiro “RegistaPaletesMPT.txt” na opção “Paletes MP” associado ao submenu “Torno”, dentro da opção “Setor de Fabrico”.

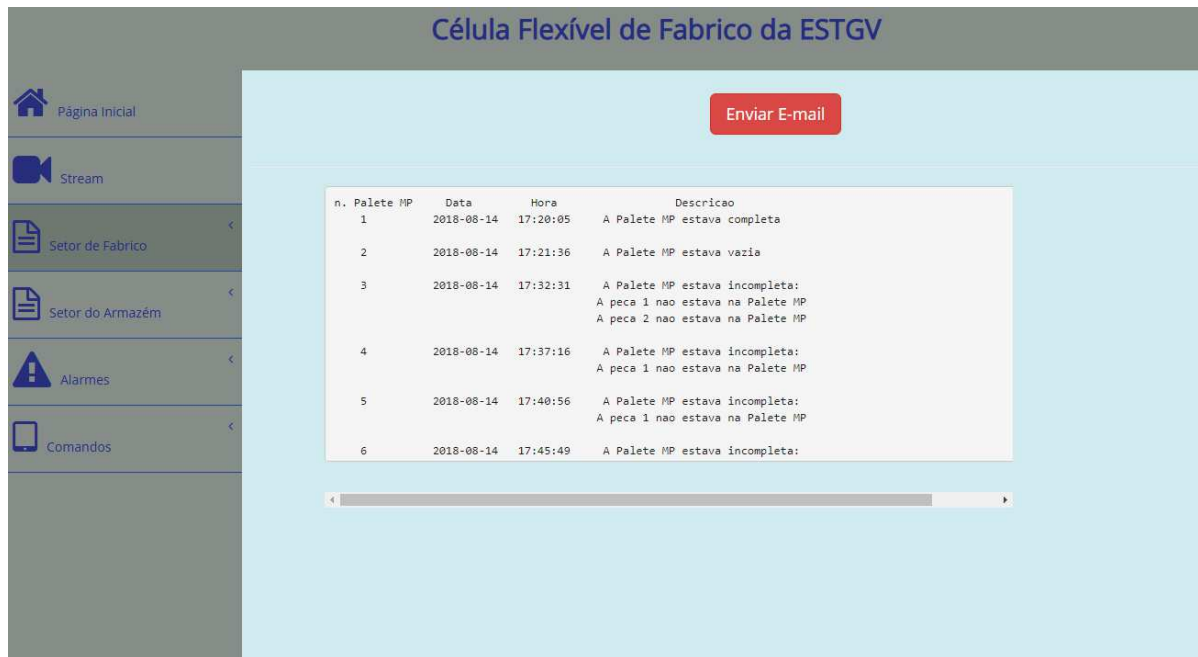


Figura 4.91:Submenu “PaletesMP”, mostrando no display o ficheiro “RegistaPaletesMPT.txt”.

Todos os outros submenus associados a este menu global apresentam-se da mesma forma na página, diferindo somente no ficheiro de texto. Depois do operador estar dentro de uma página associada a estas opções e visualizar o conteúdo do ficheiro em causa, tem a oportunidade de enviar um correio eletrónico com o ficheiro. O remetente do correio eletrónico é o endereço “raspberrycff.estgv@gmail.com” e o destinatário será o endereço da conta do operador responsável pela CFF, que terá que ser definido previamente. Mais uma vez, foi elaborado um *script python* para criar esta opção e poder enviar o correio eletrónico. Para o mesmo submenu acima referido o *script python* está denominado por “EmailRegistaPaletesMPT.py” e de igual modo estão guardados na mesma pasta dos outros *scripts*. Este ficheiro é responsável por enviar um correio eletrónico com todos os dados: remetente, destinatário, assunto, anexos e conteúdo. Em cada *script* responsável por enviar correios eletrónicos, é necessário designar o nome dos ficheiros a ser anexado e o diretório de onde está localizado dentro do *Raspberry Pi*. Criado o correio eletrónico este é enviado através de um servidor SMTP da “Google”. Posteriormente aparecerá uma mensagem a referir que o e-mail foi enviado com sucesso, como exemplificado na Figura 4.92.



Figura 4.92: Mensagem de sucesso após envio do correio eletrónico.

Na Figura 4.93 está apresentado um exemplo do resultado final, onde é possível ver o e-mail recebido, com assunto e com o ficheiro “RegistaPaletesMPT.txt” em anexo.



Figura 4.93: Correio eletrónico com em anexo o ficheiro de texto “RegistaPaletesMPT.txt”.

#### 4.5.6 “Setor do Armazém”

À semelhança da opção “Setor de Fabrico”, a opção “Setor do Armazém” está dividido em três submenus, “Fresadora”, “Torno” e “Interrupcoes”. Os dois primeiros submenus, por sua vez estão divididos em outras opções. Ambos estão divididos em “Paletes MP” e “Paletes PA” como está representado na Figura 4.94.

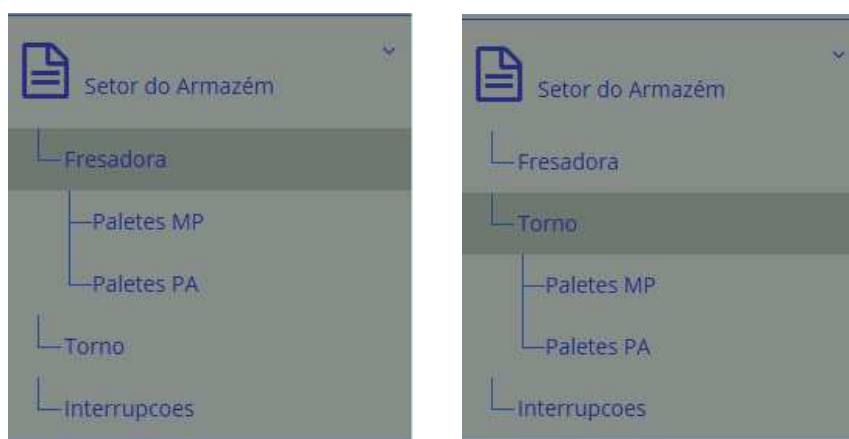


Figura 4.94: Menu “Setor do Armazém”.

Quando o operador solicita a página de um destes submenus é também acionado um determinado *script* em *python*. Estes *scripts* também se encontram guardados juntamente com os outros ficheiros relativos à página *web* no cartão do *Raspberry Pi*. Estes, à semelhança dos outros *scripts* utilizados no menu “Setor de Fabrico” funcionam da mesma forma, diferindo somente no endereço IP do robô, visto que, o robô é diferente, sendo neste caso 192.168.1.8.

De igual modo, o operador depois de aceder a um destes submenus é mostrado o conteúdo do ficheiro como ilustrado na Figura 4.95. O operador tem também a opção, de enviar uma mensagem de correio eletrónico com o ficheiro.



Figura 4.95: Opção “PaletesPA”, mostrando no display o ficheiro “RegistaPaletesAPAT.txt”.

### 4.5.7 “Alarmes”

Como referido anteriormente, nesta opção, está presente um histórico de todos os alarmes/intrusões ocorridas no setor do armazém e no setor de fabrico. Esta opção está subdividida em “Armazém” e “Fabrico” como mostra a Figura 4.96.

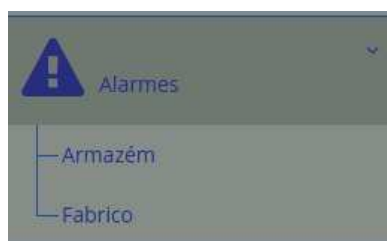


Figura 4.96: Opção “Alarmes”.

Esta opção à semelhança dos outros, utiliza um *script python* para fazer o *download* do ficheiro. Mais uma vez, como nos outros submenus, depois de o ficheiro ser mostrado na página, como exemplificado Figura 4.97 o operador pode optar por enviar um email com o ficheiro em anexo.



Figura 4.97: Menu Armazém mostrando no Display o ficheiro “AlarmesSA.txt”.

A relação principal entre os alarmes e o servidor *web* é caracterizada pelo envio de SMS e correios eletrónicos de alarme. Esta característica é posta em prática sempre que alguém invade um dos setores em causa. Se o alarme for acionado no setor do armazém, o controlador do robô IRB 1400 aciona o *bit* de memória M0.6. O *Raspberry Pi* deteta a variação do estado do *bit* de 0 para 1 e através do correio eletrónico envia, para a conta de correio do operador, a informar que houve uma intrusão neste setor. Quando o alarme é repostado localmente é acionado o *bit* M0.1. Deste modo o *Raspberry Pi* envia um correio eletrónico a informar que o alarme foi repostado localmente. Por outro lado, se o alarme for repostado remotamente é acionado o *bit* M0.2 e *Raspberry Pi* envia outro correio eletrónico a informar que o alarme foi repostado remotamente.

Se ocorrer uma intrusão no setor de fabrico o funcionamento é semelhante, diferindo nos *bits* de memória que são acionados. Quando alguém invade o espaço do robô presente neste setor, o *bit* de memória acionado é o M1.1. Posteriormente se o alarme é repostado localmente o *bit* de memória ativado é M1.3, caso contrário, se for repostado remotamente é ativado o *bit* M0.5. Como referido anteriormente neste setor ainda possibilita ao operador optar por cancelar a produção. Se for, acionado este botão localmente é ativado o *bit* M1.2, por outro lado, caso seja acionado remotamente é ativado o *bit* M0.7.

Na Figura 4.98 é ilustrado um exemplo de quando o alarme é acionado e posteriormente reposto para o setor de fabrico, sendo de igual modo para o setor do armazém.



Figura 4.98: Mensagens de correio eletrónico recebidas após o alarme ser acionado e posteriormente reposto.

Este serviço de correio eletrónico é ilimitado e é bastante rápido permitindo ao operador da CFF e aos outros utilizadores que acessem à página verificar a causa do alarme e repô-lo localmente ou remotamente.

### 4.5.8 Envio de SMS

Como referido no capítulo anterior, o envio de SMS de alarme é feito com intermédio de um Arduíno Due e um módulo GSM. Quando uma determinada pessoa invade um dos setores é ativado um determinado *bit* no autómato como referido na secção 4.5.7. Assim que esse *bit* é ativo é acionado um *script python* em que ativa uma saída digital no *Raspberry Pi*. Essa saída por sua vez está ligada a uma entrada digital no Arduíno Due. Quando essa entrada é ativa e através do módulo GSM é enviado um SMS ao número de operador que foi previamente definido. Mais detalhadamente, quando alguém invade o setor de fabrico é ativada a entrada GPIO24 que por sua vez está ligada ao pino 2 do Arduíno. Desta forma, é enviado um SMS a referir que houve uma invasão neste setor. Por outro lado, se a invasão ocorrer no setor do Armazém, é ativada a entrada GPIO25 que está ligada ao pino 4 do Arduíno e irá assim enviar um SMS a referir que houve uma invasão no setor do Armazém. Na Figura 4.99 é apresentado o esquema de ligações entre os vários componentes envolvidos para este serviço de envio de SMS.

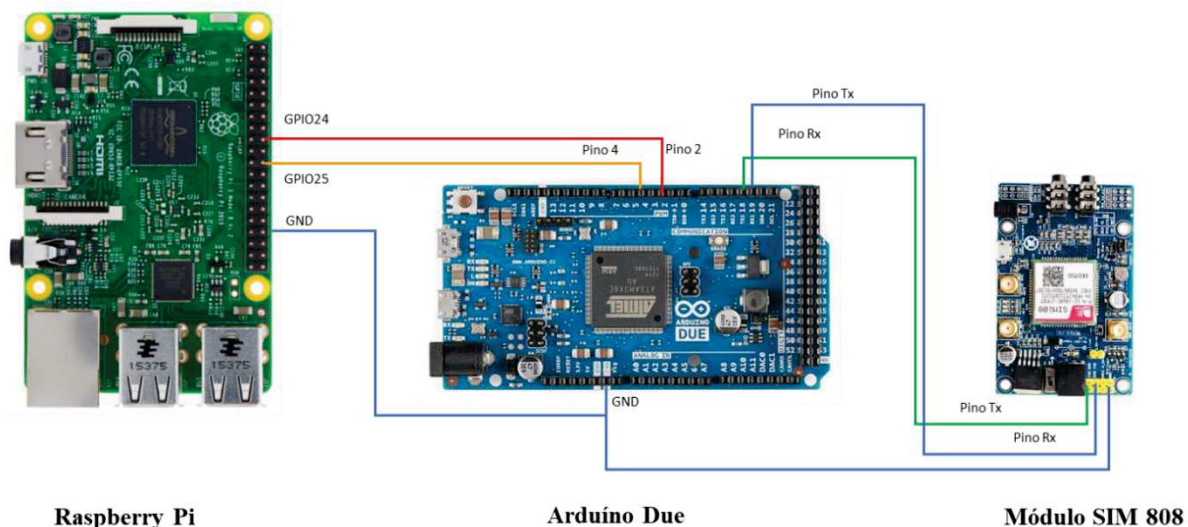


Figura 4.99: Interligação entre o *Raspberry Pi*, Arduino Due e o Módulo GSM.

É de notar que é enviado somente um SMS por cada invasão no espaço de trabalho do robô. Por outras palavras, mesmo que o alarme fique ativo por um longo espaço de tempo, é só enviado um SMS de aviso. Na Figura 4.100 é mostrado um exemplo do SMS quando ocorre uma invasão.



a) Invasão no setor do Armazém;

b) Invasão no setor de Fabrico.

Figura 4.100: Exemplo dos SMS de alarme.

#### 4.5.9 Controlo remoto

Por último, a CFF pode ser controlada remotamente através da opção “comandos” presente na página web. De notar que apesar da página poder ser acedida por qualquer utilizador, a opção “comandos” é acessível apenas a utilizadores com permissões de acesso (username e password). Na Figura 4.101, é exibido um exemplo de quando alguém tenta aceder a esta opção.



Figura 4.101: Página do Login.

Esta opção está subdividida em dois submenus, “Botoneira SA” e “Botoneira SF”, como mostra a Figura 4.102. Na primeira dispõe de dois botões com a mesma função dos dois botões presentes na botoneira instalada no setor do armazém e na segunda dispõe de três botões com a mesma função de três botões presentes na botoneira instalada no setor de fabrico, possibilitando o comando da célula remotamente. Estes botões, enviam diferentes comandos para o PLC e este, por sua, vez envia para o controlador de ambos os robôs.

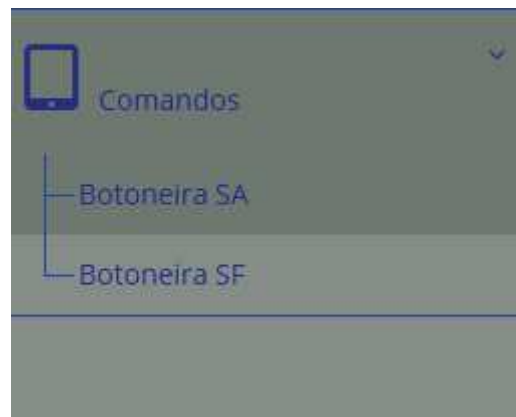
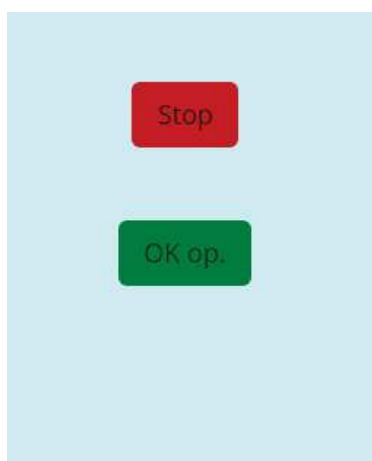


Figura 4.102: Menu “Comandos”.

Como ilustrado na Figura 4.103 o operador no submenu “Botoneira SA” dispõe um comando para o “Stop” e outro para o “Ok”. Por outro lado, no submenu “Botoneira SF” o operador dispõe um comando para a “Emergência”, outro para a “Ok” e por fim outro para “cancelar a produção”.



a) Botões disponíveis no submenu  
“Botoneira SA”;



b) Botões disponíveis no submenu  
“Botoneira SF”.

Figura 4.103: Botões de Comando disponíveis na página.

A cada botão está associado um *script* em *python*. Este *script* começa por ligar-se ao PLC através do endereço do autómato. Após a ligação através de algumas funções disponibilizadas pela biblioteca *snap7*, sempre que o operador clica no botão, é alterado o *bit* desse botão.

A cada botão foi atribuído um *bit* de memória. Para os comandos do Setor de Fabrico o botão de “Emergência” foi atribuído o *bit* M0.4, para o botão “Ok” foi o *bit* M0.5 e para o botão “produção cancelada” foi o *bit* M0.7. Para os comandos do Setor do Armazém o *bit* M0.3 foi atribuído ao botão “Stop” e o *bit* M0.2 foi atribuído ao botão do “Ok”. A cada *bit* de memória foi associado uma saída do PLC. Como se pode verificar na Figura 4.104, os *bits* de Memória M0.4, M0.5, M0.7, M0.3 e M0.2 foram associados às saídas Q9.5, Q9.4, Q8.0, Q8.1 e Q9.2 respetivamente.

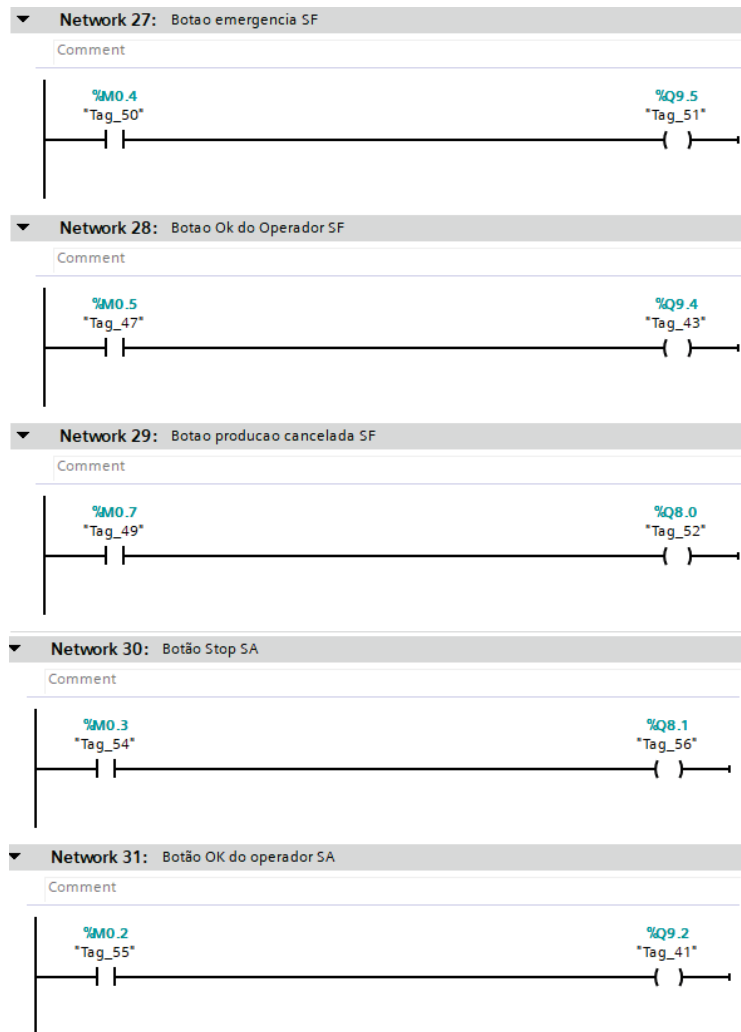


Figura 4.104: Código *Ladder* representativo dos *bits* de memória associados às saídas.

As saídas por sua vez estão ligadas às mesmas entradas do controlador do robô que os próprios botões da botoneira presente em cada setor. Mais detalhadamente, no setor do armazém as saídas Q8.1 e Q9.2 estão ligadas às entradas, do controlador do robô IRB1400, DI10\_5 e DI10\_4 respetivamente. Por outro lado, no setor de fabrico as saídas Q9.5, Q9.4 e Q8.0 estão ligadas, neste caso, às entradas do controlador do robô IRB140, DI12\_5, DI12\_3 e DI12\_15 respetivamente.



## 5. Conclusões e propostas para trabalhos futuros

Neste capítulo é apresentado o resumo do trabalho desenvolvido ao longo da dissertação e é apresentada uma lista de alguns aspetos que podem ser melhorados e desenvolvidos em trabalhos futuros de forma a melhorar o desempenho da CFF.

### 5.1 Conclusões

Analisando o trabalho desenvolvido, conclui-se que todos os objetivos propostos foram cumpridos. O objetivo principal deste trabalho tinha como premissa elaborar um programa que colocasse toda a célula, mais especificamente o setor de fabrico, a funcionar de forma autónoma. Por outras palavras, que o robô efetuasse a carga e a descarga das máquinas CNC e das paletes no menor tempo possível.

Os vários softwares desenvolvidos e testados no laboratório, que integram os diversos elementos da CFF, robôs ABB IRB 140 e 1400, PLC (gestor da CFF), máquinas CNC, *Raspberry Pi* e *webcams*, cumprem com as funções para quais foram projetados.

Durante o desenvolvimento deste projeto, um aspeto importante, foi garantir a segurança dos operadores da célula, bem como dos equipamentos presentes. Assim, foi realizado um sistema capaz de assegurar ao operador da CFF que em caso da intrusão da área do robô do setor de fabrico, este se imobilize.

A integração da câmara colocada na ferramenta do robô e do minicomputador *Raspberry Pi* são uma mais valia notória a este projeto. A partir da câmara foi elaborado um programa que através de imagens capturadas em tempo real permita verificar se as paletes estão vazias ou com peças. A partir do minicomputador, foi desenvolvida uma página *web* que permite ao operador controlar, monitorizar e visualizar a CFF em tempo real.

A partir da página, o operador pode consultar todas as informações relativas ao processo. O *Raspberry Pi* permite ainda receber avisos, através de e-mails e SMS em tempo real e efetuar comandos de controlo, possibilitando o operador da CFF repor o funcionamento da CFF em caso de algum imprevisto, via remotamente.

Todo este projeto desenvolvido permite um funcionamento total, integrando todos os equipamentos presentes na célula, sem a supervisão do operador. Possibilitando deste modo, a realização de outras tarefas dentro da mesma indústria.

## 5.2 Trabalhos futuros

Apesar de todos os objetivos, do trabalho proposto terem sido cumpridos, existem sempre vários aspetos que podem ser melhorados e aperfeiçoados no sentido de aumentar a eficiência da CFF em estudo. De seguida é apresentada uma perspetiva dos trabalhos a desenvolver:

- Instalação de outra *webcam* no setor do armazém que permita também verificar a quantidade de peças colocadas nas respetivas paletes MP e verificar, se durante o transporte do setor de fabrico e o setor do armazém, não tenham caído peças nas paletes PA;
- Instalação de um mecanismo com uma *webcam* que permita, a partir de um algoritmo, fazer o controlo de qualidade das peças maquinadas nas duas máquinas CNC;
- Desenvolver um armazém destinado a armazenar os produtos acabados, em vez da rampa atualmente instalada na célula;
- Desenvolver uma mesa que contenha um *buffer* com maiores dimensões que permita colocar um maior número de peças;
- Aumento da variedade de matéria prima para posteriormente serem maquinadas e, por conseguinte, aumentar o número de paletes;

- Colocação de um leitor de código de barras, com o código colocado nos lados das paletes para que a leitura e a distinção das paletes, seja mais eficiente;
- Colocar uma baliza de sinalização com um maior número de lâmpadas, para sinalizar de forma distinta alarmes simples de alarmes de emergência;
- Elaboração de uma base de dados para armazenamento de toda a informação gerada ao longo do processo de fabrico;
- Elaborar um sistema automático de gestão de *stocks*, ou seja, um sistema que permita gerir a matéria-prima disponível, possibilitando encomendas automáticas.

Haverá sempre algo a acrescentar, para aumentar a eficiência da célula, porém acreditando que as prioridades passam por desenvolver alguns dos aspetos acima revelados.



## REFERÊNCIAS

- [1] A. Ferrolho, *Apontamentos das aulas de Automação Industrial*, Portugal: DEE-ESTGV/IPV, disponível da plataforma da ESTGV.
- [2] A. Ferrolho, *Apontamentos das aulas de Sistemas Flexíveis de Fabrico*, Portugal: DEE-ESTGV/IPV, disponível da plataforma da ESTGV.
- [3] Groover, Mikell P. (2001) “*Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*”, USA: Prentice Hall.
- [4] João Maurício Rosário (2009) “*Automação Industrial*”, Brasil (São Paulo) Baraúna.
- [5] Rembold, U. Nnaji, B.O. Storr, A. (1993) “*Computer Integrated Manufacturing and Engineering*”, UK: Addison-Wesley.
- [6] Groover, Mikell P. (1987) “*Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*”, USA: Prentice Hall International Editions.
- [7] Narayan K. Lalit, Rao K. Mallikarjuna, Sarcar M. M. M. (2008) “*Computer Aided Design and Manufacturing*”, India: Prentice Hall.
- [8] Yusuf Altintas (2012) “*Manufacturing Automation*”, 2ª Edição, USA (New York) University Cambridge Press.
- [9] B.S.Pabla e M. Adithan (2005) “*CNC Machines*”, New Delhi, New Age International Publishers.
- [10] Steve Krar, Arthur Grill e Peter Smid (2001) “*Computer Numerical Control Simplified*” 1ª Edição, USA (New York), Industrial Press Inc.
- [11] Luiz Romário S. Rios (2011) “*Visão Computacional*”, Departamento de Ciência da Computação- Universidade Federal da Bahia, Brasil.
- [12] Ana Maria Rocha, Cristina Rodrigues, J. Rodrigues e M. Gonçalves (2013), “*Processamento de imagem digital com MatLab: uma aplicação em ambiente industrial*”, 2º Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial, Aveiro, Portugal.
- [13] Ana Maria Rocha, Cristina Rodrigues, J. Rodrigues e M. Gonçalves (2014), “*Desenvolvimento de uma solução de processamento de imagem em ambiente industrial*”, 3º Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial, Coimbra, Portugal.
- [14] António Ferrolho e Manuel Crisóstomo (2007), “*Intelligent Control and Integration Software for Flexible Manufacturing Cells*”, IEEE Transactions on Industrial Informatics, Volume 3, nº 1.
- [15] António Ferrolho e Manuel Crisóstomo (2004), “*Development of a Flexible Manufacturing Cell*”, WSEAS Transactions on Electronics, Issue 2, Volume 1.
- [16] Joaquim Duarte Delgado (1998) “*Automatização Industrial, Tecnologia CIM: Fatores Críticos na sua Implementação*”, Millenium, nº 9.
- [17] Infaimon, S.L. (2014), “*Visão Artificial: do Controlo de Qualidade à Participação nos Processos de Produção*”, Revista técnico-científica “robótica”, edição 94.
- [18] Fagor Automation S. Coop- Sucursal Portuguesa, Lda (2014), “*A utilização de CNCs nas máquinas-ferramenta para moldes*”, Revista técnico-científica “robótica”, edição 97.

- [19] Emco (2001), Machine Description (Manual descrição da Máquina), Emco Concept Mill 155.
- [20] Emco (2002), Machine Description (Manual descrição da Máquina), Emco Concept Turn 55.
- [21] ABB Robotics AB (2003), Users Manual (Manual do robô) ABB IRB140.
- [22] ABB Robotics AB (2003), Users Manual (Manual do robô) ABB IRB1400.
- [23] ABB Robotics AB (2003), ABB Manual de Referência RAPID (Manual de Programação).
- [24] Ramón L. Yuste e Vicente Guerrero (2017) “*Autómatas Programables SIEMENS Grafset y Guía Gemma com TIA Portal*”, 1ª Edição, Espanha, Marcombo.
- [25] Manual Siemens (2012) “*Controlador Simatic, Simatic S7-1200, A integração faz a diferença*”.
- [26] Vishay (2017) *Datasheet* do opto-copulador 4n25, “*Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection*”.
- [27] António Ferrolho (2001), “*Desenvolvimento de uma Células de Fabrico Flexível*”, Dissertação de Mestrado de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- [28] João Dias Antunes (2015), “*Programação de robôs industriais em operações de maquinagem*”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Porto.
- [29] João Mata (2018), “*Integração e controlo do armazém numa Célula Flexível de Fabrico*”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica- Energia e Automação Industrial do Instituto Politécnico de Viseu.
- [30] Ana Carvalho (2015), “*Desenvolvimento e melhoramento da Célula Flexível de Fabrico da ESTGV*”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica- Energia e Automação Industrial do Instituto Politécnico de Viseu.
- [31] Nilso Francio (data de consulta 01/12/2017), “*Evolução dos sistemas de produção e as organizações modernas*” disponível em:  
<http://sinop.unemat.br/projetos/ciclodpalestrasemcsa/historico/2/03.pdf>.
- [32] Techopedia (data de consulta 04/12/2017), “*Computer-Integrated Manufacturing (CIM)*” disponível em: <https://www.techopedia.com/definition/30965/computer-integrated-manufacturing-cim>.
- [33] Wikipédia (data de consulta 04/12/2017), “*Computer-Integrated Manufacturing*” disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-integrated\\_manufacturing](https://en.wikipedia.org/wiki/Computer-integrated_manufacturing).
- [34] Infaimon (data de consulta 08/12/2018), “*Visão artificial industrial: Aplicações e setores*”, disponível em: <https://blog.infaimon.com/pt/visao-artificial-industrial-aplicacoes-setores/>.
- [35] João Tavares e Joaquim Fonseca (data de consulta 12/12/2017), Apontamentos de “*Introdução ao Controlo Numérico Computorizado- I Conceitos Gerais*” Portugal: DEMEC/FEUP disponível em:  
[https://paginas.fe.up.pt/~tavares/ensino/CFAC/Downloads/Apontamentos/cnc%20I\\_p.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~tavares/ensino/CFAC/Downloads/Apontamentos/cnc%20I_p.pdf).

- [36] Revotechnologies (data de consulta: 16/12/2017), “*Group Technology and FMS*” disponível em: [http://www.revotechnologies.net/uploads/1/6/0/7/16078520/unit\\_iii-acim.pdf](http://www.revotechnologies.net/uploads/1/6/0/7/16078520/unit_iii-acim.pdf).
- [37] Brainkart (data de consulta 18/12/2017), “*Flexible Manufacturing Systems (FMS) Components*” disponível em: [http://www.brainkart.com/article/Flexible-Manufacturing-Systems-FMS--Components\\_6425/](http://www.brainkart.com/article/Flexible-Manufacturing-Systems-FMS--Components_6425/).
- [38] Brainkart (data de consulta 22/12/2017), “*Flexible Manufacturing Systems (FMS) Applications and Benefits*” disponível em: [http://www.brainkart.com/article/Flexible-Manufacturing-Systems-FMS--Applications-and-Benefits\\_6426/](http://www.brainkart.com/article/Flexible-Manufacturing-Systems-FMS--Applications-and-Benefits_6426/).
- [39] Adélia Covre (data de consulta 28/12/2017), “*Os caminhos do mercado Mundial faz as indústrias repensarem seus processos – Sistemas Produtivos Flexíveis (FMS- Flexible Manufacturing Systems)*” disponível em: <http://acadeiamoveleirapelaoticadoproduto.blogspot.pt/2016/03/os-caminhos-do-mercado-mundial-faz-as.html>.
- [40] Vimétrica (data de consulta 14/03/2018), “*O que é Visão Artificial?*” disponível em: <http://vimetrica.pt/wp-content/uploads/2014/08/robot-pt.jpg>.
- [41] Robotics (data de consulta 24/03/2018), “*IRB 140 Industrial Robot*” disponível em: [www.omdrobots.eu/action/download/?id=34](http://www.omdrobots.eu/action/download/?id=34).
- [42] ABB Robotics AB (data de consulta 29/03/2018), “*Product On-line Manual IRB 1400*” disponível em: <http://rab.ict.pwr.wroc.pl/irb1400/prod14.pdf>.
- [43] ABB Robotics AB (data de consulta 29/03/2018), “*IRB 1400 Industrial Robot*” disponível em: <http://rab.ict.pwr.wroc.pl/dydaktyka/instrukcje/Robotics+IRB1400.pdf>.
- [44] ABB Robotics AB (data de consulta 09/04/2018), “*Technical data for the IRB 1410 industrial robot*” disponível em: <https://new.abb.com/products/robotics/fr/robots-industriels/irb-1410/irb-1410-data>.
- [45] Raspberry (data de consulta 18/04/2018), “*Raspberry 3 model B*” disponível em: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>.
- [46] Thiago Lima (data de consulta 24/09/2018), “*Arduino Due*”, disponível em: <https://www.embarcados.com.br/arduino-due/>.
- [47] Arduo Eletro (data de consulta 24/09/2018), “*Módulo GSM GPRS QUAD-BAND SIM808 Com GPS - Arduino*” disponível em: <https://www.arduoeletro.com/modulo-gsm-gprs-quad-band-sim808-com-gps-arduino>.