

# Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu





**Aos meus pais.**



*“A persistência é o caminho mais curto para o êxito”*

Charles Chaplin



## RESUMO

Num mercado cada vez mais competitivo e exigente, as indústrias são obrigadas a reformular os seus métodos de trabalho em busca de encontrar alternativas que as permitam operar de forma mais eficiente e que, conseqüentemente, resultem em reduções do tempo de produção, reduções de consumos de energia e conseqüentemente redução dos custos de produção. Os armazéns e a forma como são geridos são um importante fator a ter em conta no que toca ao aumento do desempenho de uma nave fabril. Durante anos o setor do armazém foi de alguma forma estagnado no tempo, sendo explorado sempre da mesma forma: manualmente. Contudo, hoje em dia, os armazéns são, cada vez mais, o alvo de mudanças no sentido de os automatizar e robotizar.

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e melhorar o setor do armazém da Célula Flexível de Fabrico (CFF) que se encontra instalada na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, tornando-o mais eficiente e rentável para a célula. No decorrer do estudo foram desenvolvidos softwares para cada elemento constituinte da célula, robô industrial, transportador, PLC e servidor *web*, de forma a desenvolver um sistema global fiável e de fácil utilização.

Em complemento à CFF foi desenvolvida uma página *web* que permite ver, controlar e monitorizar em tempo real todo o setor do armazém. Nela, o operador tem acesso a uma *stream* da CFF e a todos os ficheiros criados relativos ao armazém, bem como a um menu que permite enviar comandos remotamente para a célula. Ainda através do servidor *web* utilizado, *Raspberry Pi*, foi possível desenvolver todo um software que permite o envio de correios eletrónicos e mensagens de texto para telemóveis com informações uteis para os utilizadores do sistema.

Este documento pretende, assim, mostrar toda a simbiose que envolve os elementos deste sistema, desenvolvido para maximizar o potencial do setor do armazém da CFF.



## **ABSTRACT**

In an increasingly competitive and demanding market, it is mandatory for industrialists to change working methods in order to find alternatives that allow them to operate more efficiently and consequently result in the reduction of production time, energy consumption and production costs. Warehouses and the way they are managed are an important factor for the increasement of a factory performance. For years, the warehouse sector has been, somehow, stopped in time, always being exploited in the same way: manually. However, nowadays warehouses are more and more being targeted for automation and robotization.

The present work had as objective to develop and improve the warehouse sector of the Flexible Manufacturing Cells (FMC) that is on the Superior School of Technology and Management of Viseu, making it more efficient and profitable for the cell. In the course of the study, software was developed for each constituent element of the cell, industrial robot, transporter, PLC and web server, in order to integrate and control them.

In addition to FMC, a web page has been developed and allows real-time control and monitoring of the entire warehouse sector. In it the operator has access to a FMC stream, all the files created relative to the warehouse and a menu that allows to send commands remotely to the cell. By further exploring the used server, Raspberry Pi, has been able to develop a software that allows sending emails and text messages to mobile phones with useful information about the cell for the system users.

In this way, this document intends to show all the symbiosis that surrounds the elements of this system developed to maximize the potential of the warehouse sector of this FMC.



## **PALAVRAS CHAVE**

Armazém  
Célula Flexível de Fabrico  
Robotização  
Automação Industrial  
Interface Homem-Máquina  
Microcomputador  
PLC  
Robô  
Interface *Web*



## **KEY WORDS**

Warehouse  
Flexible Manufacturing Cell  
Robotization  
Industrial Automation  
Interface Homem-Máquina  
Microcomputer  
PLC  
Robot  
Web Interface



## AGRADECIMENTOS

Esta secção permite-me agradecer, de uma forma insuficiente, a um conjunto de pessoas que se esforçaram, que abdicaram do seu tempo e que se preocuparam em ajudar-me a concluir mais esta etapa do meu percurso académico, o mestrado em Engenharia Eletrotécnica - Energia e Automação Industrial.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Manuel Pereira Ferrolho, pela sua orientação, inteira disponibilidade, dedicação, todo o incentivo e preocupação dado ao longo da realização deste projeto.

Aos meus pais que sempre fizeram tudo para garantir a minha educação, se preocuparam sempre em garantir que nada me faltava e que sempre me apoiaram e incentivaram a alcançar os meus objetivos. Aproveitar também para agradecer à minha irmã que de uma maneira ou de outra nunca se negou a ajudar-me. A estes, um profundo agradecimento por serem quem são e por fazerem o que fazem por mim.

Agradecer também aos membros do Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola de Tecnologia e de Gestão de Viseu por sempre me terem ajudado, em especial o técnico do departamento, Mestre João Ôlas, pela paciência, disponibilidade e pelos conselhos dados relativamente ao projeto.

Quero agradecer ao meu amigo e colega Tiago Gomes pela ajuda que me deu, essencialmente no desenvolver da parte gráfica da página *web*.

À minha amiga Tânia Amaral pela disponibilidade, pela paciência e sobretudo pela ajuda preciosa que deu na revisão de todo o texto.

Aos meus colegas de mestrado pela ajuda, motivação e pelos ótimos momentos passados juntos.

A todas as pessoas que não foram aqui mencionadas mas que me ajudaram durante o dia a dia e durante toda esta etapa da minha vida.

A todos o meu sincero Muito Obrigado.



# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
ÍNDICE DE QUADROS .....	xxiii
ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xxiv
1. Introdução .....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos .....	2
1.3 Estrutura da dissertação.....	2
2. Estado da Arte.....	3
2.1 Automação.....	3
2.2 Robótica.....	4
2.3 Sistemas Flexíveis de Fabrico .....	5
2.4 Células Flexíveis de Fabrico .....	6
2.5 Componentes de um Sistema Flexível de Fabrico .....	7
2.5.1 Estação de Trabalho.....	7
2.5.2 Sistema transportador e armazém do SFF.....	8
2.5.3 Controlo Computorizado .....	9
2.6 Sistema de requisição e armazenamento automatizado (AS/RS - <i>Automated Storage and Retrieval System</i> ).....	11
2.7 Elementos constituintes de um AS/RS.....	12
2.8 Tipos de AS/RS.....	14
2.9 Tecnologias de AS/RS.....	17
2.9.1 Stocador Transelevador – Transtocador .....	17
2.9.2 Veículos Guiados Automaticamente .....	18
2.9.3 AGV STOCADOR .....	19
2.9.4 Kiva System (Amazon Robotics) .....	20
2.9.5 Fetch Robotic.....	22
2.9.6 AutoStore.....	23
2.9.7 CUBY - Sistema de transporte econômico e compacto .....	25
2.10 Fatores crucias para um AS/RS .....	26

3.	Apresentação do problema e CFF .....	29
3.1	O Problema.....	29
3.2	O setor do Armazém.....	30
3.2.1	Armários e constituintes .....	30
3.2.2	Transportador.....	32
3.2.3	Robô e Controlador.....	36
3.3	Ferramenta de trabalho .....	39
3.4	Sistema de controlo e sinalização local .....	40
3.5	Sistema de segurança e emergência local.....	41
3.6	PLC gestor da CFF .....	42
3.7	Microcontrolador, Servidor web – Raspberry Pi.....	43
3.8	Sistema de controlo e alerta remoto .....	46
4.	Proposta de Solução .....	47
4.1	Interface Robótica .....	49
4.2	Setor do Armazém.....	51
4.2.1	Variáveis e reconhecimento do inventário .....	53
4.3	Carregar Paletes com matéria-prima .....	55
4.4	Arrumação dos Armários .....	57
4.4.1	Armários Fresadora .....	57
4.4.2	Armários Torno .....	61
4.5	Falta de peças nos armários.....	63
4.6	Sistema de emergência e segurança do sector de armazém .....	66
4.7	Relação entre PLC gestor da CFF e Sector de armazém.....	68
4.8	Servidor <i>Web</i> .....	70
4.8.1	Página Web.....	71
4.8.2	Menu “Página Inicial – Stream” .....	73
4.8.3	Menu “Inventário” .....	73
4.8.4	Menu “Alarmes” .....	76
4.8.5	Menu “Avisos” .....	77
4.8.6	Menu “Comandos” .....	78
5.	Conclusão e propostas para trabalhos futuros.....	80
5.1	Conclusão .....	80

5.2 Proposta para trabalhos futuros ..... 82



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Analogia do robô com o membro superior de um ser humano [1].	5
Figura 2-2: Célula flexível de fabrico [2].	7
Figura 2-3: Tipo de AS/RS Unit load [14].	14
Figura 2-4: Tipo de AS/RS mini load [15].	15
Figura 2-5 : Tipo de AS/RS Man-on-board [16].	16
Figura 2-6: Tipo de AS/RS Deep-Lane [10].	17
Figura 2-7: Transtocador [13].	18
Figura 2-8: AGV [19].	19
Figura 2-9: AGV stocador [19].	20
Figura 2-10: Robôs constituintes do sistema KIVA [20].	21
Figura 2-11: Robôs Freight e um robô Fetch [21].	23
Figura 2-12: Estrutura do sistema AutoStore [22].	23
Figura 2-13: Robôs constituintes do sistema AutoStore [22].	24
Figura 2-14: Robôs do sistema CUBY a deslocarem-se entre as prateleiras [23].	25
Figura 2-15: Mecanismo para depositar e recolher artigos das prateleiras [23].	26
Figura 3-1: <i>Layout</i> da CFF.	30
Figura 3-2: Exemplo de uma <i>rack</i> do laboratório de automação.	31
Figura 3-3: Disposição dos elementos do sector do armazém do laboratório de automação.	31
Figura 3-5: Matéria-Prima Fresadora CNC.	32
Figura 3-4: Matéria-Prima Torno CNC.	32
Figura 3-6: Paletes da CFF.	33
Figura 3-7: Elementos metálicos na palete.	33
Figura 3.8: Sensores no setor do armazém.	34
Figura 3-9: Stopper do setor do armazém.	35
Figura 3-10: Stopper elevado, para reter palete.	35
Figura 3-11: Estrutura e eixos do robô IRB 1400.	36
Figura 3-12: Volume de trabalho do robô manipulador.	37
Figura 3-13: Controlador ABB S4C.	38
Figura 3-14: Ferramenta de trabalho do robô manipulador IRB 1400.	39
Figura 3-15: Botoneira	40
Figura 3-16: Baliza sinalizadora.	40
Figura 3-17: Consola Teachpendant.	41
Figura 3-18: Sensor ótico do sistema de segurança local.	42
Figura 3-19: PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly.	43
Figura 3-20: Raspberry Pi 2.	44
Figura 3-21: Switch D-Link.	44
Figura 3-22: Router TP-Link 840N.	45
Figura 3-23: Webcam HP HD 2300.	45
Figura 4-1: Comunicação entre os diversos elementos da CFF.	47
Figura 4-2: Fluxograma base do programa principal.	52

Figura 4-3: Variáveis representativas das posições dos armários.....	53
Figura 4-4: Inventário à primeira prateleira do armário da fresadora.....	54
Figura 4-5: Leitura e análise do <i>array</i> referente à primeira prateleira do armário da fresadora. .....	54
Figura 4-6: Fluxograma do algoritmo após leitura do <i>array</i> . ....	55
Figura 4-7: Fluxograma base do algoritmo para carregar as paletes. ....	56
Figura 4-8: Fluxograma base da rotina para arrumar os armários. ....	58
Figura 4-9: Posição mais distante nos armários da fresadora. ....	58
Figura 4-10: Posicionamento da peça MP-Fresadora. ....	59
Figura 4-11: Peça transportada desloca as seguintes. ....	60
Figura 4-12: Peça na posição correta. ....	60
Figura 4-13: Posição mais distante nos armários do torno. ....	61
Figura 4-14: Posicionamento da peça MP-Torno. ....	62
Figura 4-15: Peça transportada desloca as seguintes. ....	62
Figura 4-16: Peça na posição correta. ....	63
Figura 4-17: Fluxograma representativo da lógica associada á falta de peças. ....	64
Figura 4-18: Histórico dos avisos – repor as peças.....	65
Figura 4-19: Histórico dos avisos – peças repostas. ....	65
Figura 4-20: Fluxograma representativo do sistema de alarme da CFF. ....	67
Figura 4-21: Mensagem da HMI de aviso de alarme acionado. ....	67
Figura 4-22: Histórico dos alarmes. ....	68
Figura 4-23: Fluxograma representativo da lógica associada á atarefa principal. ....	69
Figura 4-24: Correio eletrónico recebido a quando do arranque da CFF. ....	71
Figura 4-25: Página principal da página <i>web</i> da CFF.....	72
Figura 4-26: Menu lateral da página <i>web</i> da CFF.....	73
Figura 4-27: Menu “Armazém Torno” da página <i>web</i> da CFF.....	74
Figura 4-28: Mensagem de sucesso após envio do correio eletrónico.....	75
Figura 4-29: Correio eletrónico com o anexo do ficheiro do inventário dos armários da fresadora.....	75
Figura 4-30: Correio eletrónico com o anexo do ficheiro com o histórico de alarmes.....	76
Figura 4-31: Mensagem de texto recebida após o alarme da CFF ser acionado.....	76
Figura 4-32: Correio eletrónico recebido após o alarme da CFF ser acionado.....	77
Figura 4-33: Menu “Aviso” da página <i>web</i> da CFF.....	77
Figura 4-34: Código <i>Ladder</i> representativo dos <i>bits</i> associados as saídas. ....	78
Figura 4-35: Correio eletrónico recebido após o alarme da CFF ser repostos. ....	79
Figura 4-36: Comando “Repor” enviado com sucesso. ....	79



## ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 3-1: Codificação das paletes.....	34
Tabela 3-2: Características do robô manipulador IRB 1400.....	37
Tabela 4-1: Interface robótica: Entradas controlador IRB 1400 - Saídas PLC.....	49
Tabela 4-2: Interface robótica: Saídas controlador IRB 1400 - Entradas PLC.....	50
Tabela 4-3: Interface Ethernet PLC - Raspbery Pi. ....	50
Tabela 4-4: Combinação dos sensores indutivos. ....	53

## **ABREVIATURAS E SIGLAS**

SSID	Service Set Identification
PLC	Programmable Logic Controller
ESTGV	Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu
CFF	Células Flexíveis de Fabrico
HMI	Human Machine Interface
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
CNC	Controlo Numérico Computorizado
SMS	Short Message Service
SFF	Sistemas Flexíveis de Fabrico
HTML	Hypertext Markup Language



# 1. Introdução

Neste capítulo são apresentados os aspetos que motivaram a elaboração da presente dissertação, os objetivos de estudo e por fim o resumo de cada um dos capítulos deste trabalho.

## 1.1 Motivação

Devido à crescente procura de criatividade e inovação nos produtos por parte dos consumidores, as empresas e indústrias procuram soluções que as tornem mais competitivas e capazes de satisfazer estas necessidades. Em resposta a esta questão e com o desenvolvimento de novas tecnologias, surgem os sistemas de automação e robotização industrial, nomeadamente os sistemas flexíveis de fabrico (SFF). Estes sistemas procuram integrar todos elementos constituintes de uma nave fabril para que trabalhem como um todo, desde a chegada da matéria-prima até ao armazenamento do produto finalizado, todo o processo é acompanhado para que todas as unidades que pertencem ao SFF saibam exatamente em que situação se encontra o processo de fabrico. Desta forma aumentar a eficiência e flexibilidade destes ambientes.

A forma como é gerido o setor do armazém é um dos elementos cruciais para o bom funcionamento de qualquer indústria, toda a matéria-prima bem como todo o produto acabado encontra-se neste setor. Sendo que a matéria-prima e os produtos acabados são, na maioria das indústrias, parte considerável do capital, torna-se de extrema importância cuidar deste setor da forma mais inteligente e eficiente possível.

Nesse sentido, o trabalho proposto pretende estudar as diversas tecnologias de armazenamento e melhorar o armazém da célula de fabrico do laboratório de Automação e Robótica no sentido de o tornar mais eficiente.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo deste projeto é o desenvolver um sistema de gestão e monitorização do setor do armazém da CFF que se encontra instalada na Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. Dentro deste sistema o robô tem de ser capaz de criar e manter atualizado o inventário dos armários do setor do armazém tendo sempre em consideração que a função principal do manipulador é carregar as paletes que surgem no transportador.

O sistema a desenvolver tem que agregar um conjunto de mecanismos capazes de garantir que só em situações extremas é que as funções (carregar paleta e arrumar armazém) não são executadas bem como ser dotado de um sistema que garanta a segurança dos operadores da célula. A este sistema de segurança é ainda adicionado o objetivo de enviar mensagens de texto, com um alerta, para um telemóvel bem como correios eletrónicos.

Em auxílio a estes objetivos será utilizado um microcomputador, *Raspberry Pi*, que será usado para criar uma interface entre a CFF e o operador através de uma página *web*. Esta página *web* terá de fornecer ao utilizador, em tempo-real, imagens do que está acontecer na célula, fornecer dados atualizados dos inventários, disponibilizar históricos dos alarmes e avisos ocorridos ao longo do processo e possibilitar ao operador enviar comandos remotamente para a CFF.

## 1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está dividida em cinco capítulos, onde será descrito todo o trabalho realizado durante o projeto desenvolvido.

O primeiro capítulo revela as motivações e os objetivos em que se baseia a realização do projeto.

No segundo capítulo encontra-se uma abordagem sobre toda informação relativa a automatização e robotização de armazéns existentes até agora.

No terceiro capítulo é descrito o problema que leva ao desenvolver desta dissertação e é apresentado um resumo dos equipamentos que constituem a CFF.

No quarto capítulo são apresentados os algoritmos desenvolvidos como solução ao problema e o respetivo funcionamento de todos eles incluindo a página *web*.

No quinto capítulo é apresentada uma conclusão acompanhada de uma lista de propostas para futuros projetos que visam melhorar a CFF.

## 2. Estado da Arte

### 2.1 Automação

O processo de automação surge no sentido de tornar processos outrora manuais e dependentes de ações de um utilizador em processos autónomos. A automação procura melhorar as condições de trabalho e de segurança das pessoas e dos bens envolvidos, bem como aumentar a produtividade e a competitividade das empresas através do aumento da flexibilidade de fabrico e da qualidade dos sistemas industriais, reduzindo a necessidade da interação do homem no processo industrial.

A necessidade de automatizar processos surge da competição intensa entre empresas que se tem vindo a deparar com uma evolução constante do mercado. Mercado esse que tem vindo a tornar-se cada vez mais exigente, quer por qualidade, quer por preços e por produtos diferentes. Estas exigências obrigam as empresas a reformular a sua estrutura de fabrico e a procurar soluções que lhe ofereçam vantagens viáveis.

Hoje em dia, a automação industrial em sistemas de produção passa por criar uma integração de todos os elementos envolvidos no processo, independentemente do tipo de equipamentos e função, sensores, processadores e atuadores de forma a otimizar todo o processo produtivo.

Atualmente existe uma grande interação entre os homens e os equipamentos automatizados como robôs, autómatos, equipamentos pneumáticos e hidráulicos, *numerical machines* (NC) e *computer numerical machines* (CNC). Esta interação criada entre os mais diversos elementos cria a necessidade da existência de uma interação humana para que o sistema possa comunicar com este último, o que leva a que os sistemas de automação sejam equipados com vias de interface homem-máquina (HMI – *Human-Machine-Interface*). Estas interfaces homem-

máquina deverão ser de fácil entendimento de forma a garantir um bom manuseamento dos equipamentos e a segurança dos operadores. A automação veio gerar uma reforma industrial visível nas mais diferentes indústrias: desde a alimentar até à farmacêutica passando pela têxtil e pela petrolífera [1], [2], [3], [4] e [5].

### 2.2 Robótica

Ao longo de décadas, a robótica tem vindo a adquirir cada vez mais destaque no dia-a-dia do ser humano. Quer na indústria, nos serviços ou na saúde, é praticamente impossível dissociar a robótica de qualquer área onde os trabalhos repetitivos, de alto risco ou que envolvam esforços físicos constantes.

Os robôs surgem principalmente pela ambição de criar equipamentos capaz de reproduzir movimentos humanos para mais tarde poderem substituí-los em funções de elevados riscos para os operadores ou demasiado desgastantes para ele. Segundo a norma da ISO 8373 (*International Organization for Standardization*), define-se o conceito de robô industrial como um manipulador automaticamente controlado, reprogramável e multifuncional. Em ambiente industrial os robôs mais utilizados são os que tentam imitar o braço humano, como descrito na Figura 2-1, devido a versatilidade de movimentos que estes permitem executar. A utilização desta tecnologia na indústria procura uma vez mais a redução de custos, a automação, flexibilização, viabilização dos processos de fabrico e o aumento da produção. Em determinados ambientes a introdução de robôs cria desagrado perante os operários pois nem sempre é possível reposiciona-los numa outra tarefa uma vez que a posição inicial é substituída pela operação do robô.

Alguns outros entraves a uma maior implementação desta tecnologia são os custos de investimento nos equipamentos, a necessidade de contratar pessoas especializadas em manobrar robôs ou em formação para os operários existentes na empresa e existe ainda a questão da segurança que é necessário ser abordada quando se trata de colocar ser humanos, com todas as suas imprevisibilidades, a trabalhar em parceria com máquinas.

Do ponto de vista da indústria da robótica esta última questão da segurança tornasse num desafio de criar software e hardware de prevenção aos acidentes homem – máquina. Essa impossibilidade de reposição acaba inevitavelmente por gerar desemprego, o que de certa forma retarda a implementação deste tipo de tecnologia em determinadas funções e indústrias.

Os robôs antropomórficos estão muito associados a funções como soldadura e paletização. Em Portugal são estas as duas funções dominantes para este tipo de equipamentos [1], [2], [3], [5] e [7].

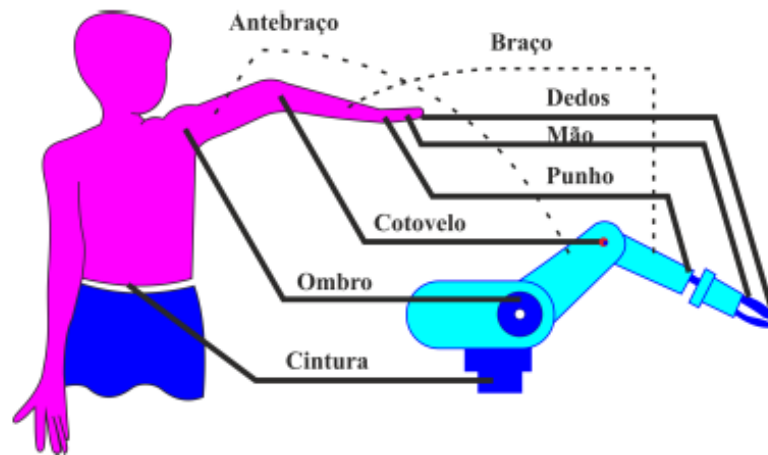


Figura 2-1: Analogia do robô com o membro superior de um ser humano [1].

### 2.3 Sistemas Flexíveis de Fabrico

Os sistemas flexíveis de fabrico (SFF ou FMS – *flexible manufacturing systems*) são atualmente os sistemas mais automatizados e sofisticados para responder eficazmente às alterações e exigências do mercado. Um SFF está diretamente relacionado com três parâmetros básicos: produtividade, qualidade e flexibilidade. A produtividade implica a utilização de equipamentos e materiais especializados no sistema de produção em causa. Uma vez que o custo associado a este parâmetro é elevado, deve ser assegurada a máxima utilização dos equipamentos e materiais. A qualidade advém dos sistemas de automação implementados capazes de automatizar as operações de produção. A qualidade do produto final é assegurada com a automação das operações de inspeção e teste das peças depois das operações de processamento.

A flexibilidade implica que um SFF seja capaz de produzir eficientemente diversos volumes de produtos e que seja capaz de facilmente lidar com variantes de produtos. De forma a garantir a flexibilidade os tempos de reprogramação, a troca de ferramentas e o número de máquinas devem ser os menores possíveis [4], [6] e [7].

Dentro de sistemas deste tipo podem fazer parte elementos como:

- Máquinas de controlo numérico;
- Robôs manipuladores;
- Veículos guiados automaticamente (AGV);
- Tapetes rolantes;
- Armazéns;
- Sistemas de controlo e qualidade.

A grande vantagem deste tipo de sistemas é a sua flexibilidade, isto é a sua adaptabilidade a novas exigências de produção que se traduzem em facilidade de alterar um produto com ligeiras modificações até um produto totalmente novo. Esta flexibilidade resulta dos elementos destes sistemas serem maioritariamente elementos programáveis. No entanto, existem outras vantagens como:

- Possibilidade de uma produção personalizada;
- Produção para encomendas;
- Maior gama de produtos;
- Maior produtividade;
- Redução do tempo de ciclos.
- Melhor fiabilidade devido ao uso inteligente de sensores

O facto de conjugar vários equipamentos e de organizar o sistema da forma mais eficiente possibilita aproveitar o maior rendimento das máquinas que constituem o sistema flexível de fabrico e gerir melhor as matérias-primas bem como todo o processo produtivo [1], [3], [5], [7], [9] e [11].

### **2.4 Células Flexíveis de Fabrico**

Por definição “são configurações integradas e controladas por computador de máquinas - ferramenta de controlo numérico, equipamento auxiliar de produção e um sistema de manuseamento de matérias, concebida para produzir simultaneamente pequenas a médias séries de uma vasta gama de produtos, de elevada qualidade, a baixo custo”.

As células flexíveis de fabrico (CFF ou FMC - flexible manufacturing cell), apresentadas na Figura 2-2, engloba duas ou três estações de trabalho, geralmente dotadas de máquinas-ferramentas CNC. Esta célula é concebida para produzir diferentes tipos de peças em simultâneo. As CFF são utilizadas na produção de peças individuais ou pequenos lotes de peças em reduzidos tempos de ciclo, uma vez que os equipamentos são dispostos e programados para que o processo seja sequencial [1], [5] e [8].

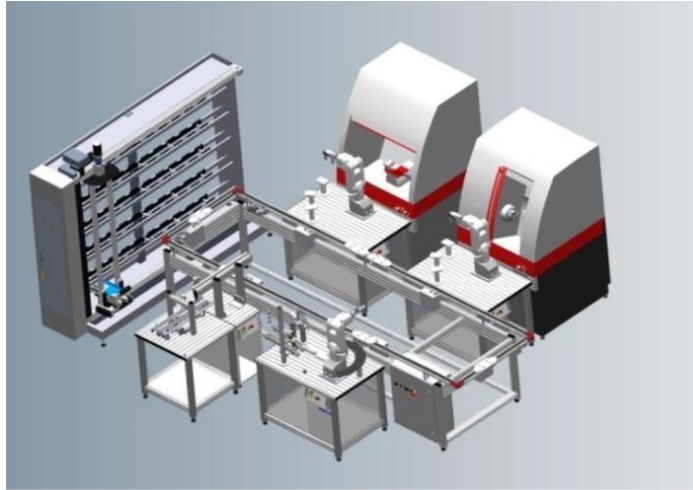


Figura 2-2: Célula flexível de fabrico [7].

## 2.5 Componentes de um Sistema Flexível de Fabrico

Independentemente da disposição e número de elementos de um SFF existem elementos que estão sempre presentes, nomeadamente três componentes: estação de trabalho, transportador/armazém de materiais e sistema de controlo computadorizado [2], [7] e [9].

### 2.5.1 Estação de Trabalho

As estações de trabalho são o local onde um determinado trabalho ou operação é elaborado. Existem dois grandes tipos de estação de trabalho possíveis num SFF, como por exemplo: estação de carga/descarga e estação de fabrico

- **Estação de carga/descarga:** é utilizada como interface entre as matérias-primas e o produto final. A carga e a descarga pode ser feita manualmente ou de forma automatizada, utilizando robôs com a função de palatização. Seja na carga ou na descarga a estação está equipada com uma unidade de gestão de armazém que contabiliza as quantidades de material em estado bruto que entra e o material finalizado que sai do armazém, havendo sempre uma organização de *stock*, o que acaba por permitir uma melhor gestão e eficiência de todo o processo.
- **Estação de fabrico:** são estações com o objetivo de transformar a matéria-prima no produto final ou outro necessário para esse fim.

É comum estas estações estarem predominantemente equipadas com máquinas e ferramentas CNC (*computer numerical control*), como por exemplo: fresadoras, tornos

e impressoras 3D, capazes de executar tarefas de forma autónoma o que faz delas parte integrante de um sistema flexível de fabrico.

Dentro destas estações poderá haver também operações como prensagem, furação e corte de determinados materiais executados por equipamentos manobrados por operadores. Nas indústrias mais avançadas todo o processo de montagem manual tem vindo a ser substituído por robôs ou por outros mecanismos autónomos e programáveis [2], [3], [7] e [11].

### 2.5.2 Sistema transportador e armazém do SFF

O sistema de transporte é responsável por fazer passar a matéria-prima em estado bruto desde a entrada até todas as estações necessárias para esta ser transformada no produto final e o sistema de armazenamento é responsável por armazenar todo o material.

- **Sistema de transporte:** o transportador pode funcionar em total parceria com o resto do sistema, de forma a ser apenas acionado quando necessário. Este modo de funcionamento está presente na tecnologia AGV (*Automated Guided Vehicle*), onde este se desloca automaticamente até à zona onde é necessário e transporta a peça até à seguinte.

Este tipo de transporte, transporte dentro do *layout* do SFF, é denominado de transporte primário e, como já foi referido, pode ser executado por AGV, robôs manipuladores, tapetes rolantes e elevadores.

O sistema de transporte secundário nem sempre é utilizado pois a sua função é encaminhar a matéria-prima do transportador primário para a estação de trabalho. É um tipo de transporte que é necessário sempre que existe a necessidade de colocar as peças com precisão dentro da estação ou quando existe a necessidade de as reorientar. Este sistema de transporte também pode ser realizado por robôs manipuladores [4], [6] e [7].

- **Sistema de armazém:** o sistema de armazém de um sistema flexível de fabrico tem como função armazenar e permitir o acesso aos materiais aquando da sua solicitação. Devido à possibilidade de num armazém existirem diversos materiais ou diversos estados das peças que circulam no processo de fabricação, levanta-se a questão da organização e gestão do espaço do armazém. Nos armazéns convencionais, a tarefa de organizar e gerir um armazém é da responsabilidade de um ou vários operários, que organizam todos os bens que necessitam de ser guardados da forma que entendem ser mais eficiente, tipicamente em estantes, divididas por prateleiras horizontais, dispostas em fileiras lado a lado. Nos dias de hoje, devido à evolução dos SFF, houve também uma evolução dos armazéns no sentido de os tornar mais autónomos e eficientes.

Um armazém automatizado tem de ser capaz de, de forma autónoma, organizar os materiais em função do seu estado, criar e atualizar um inventário, fazer a gestão e disponibilizar toda a informação ao operador de forma a assegurar o seu acesso.

Ainda dentro do sistema de armazém existe um tipo de armazém denominado de *buffer*, sendo este responsável por armazenar peças durante um curto espaço de tempo. Regra geral, estas peças que se encontram numa fase de *work-in-process (WIP)*, são peças que ainda não estão prontas para seguir para o armazém geral por não estarem acabadas ou por não respeitarem algum outro parâmetro [3], [7], [10], [11] e [12]. A utilização dos *buffers* e do armazenamento WIP tem alguns riscos, nomeadamente:

- Falta de controlo sobre o inventário;
- Tempo gasto na procura de peças;
- Perda de peças e perda de ordens completas;
- Processamento das ordens desrespeitando as prioridades;
- Peças passando mais tempo que o necessário na estação de trabalho.

No entanto, este método de trabalho traz também algumas vantagens como:

- *Buffers* de armazenamento (por exemplo, de conjuntos para montagem);
- Armazenamento de um sistema de montagem sequencial;
- Suporte para produção *Just-in-time*;
- Suporte para a automação e integração ao nível da fábrica;
- Melhor organização da estação de trabalho.

### 2.5.3 Controlo Computorizado

Um sistema de controlo computadorizado tem como função controlar e monitorizar um SFF. Geralmente, um sistema computadorizado de um SFF possui um computador central e outros secundários, dependendo do número e tipo de máquina que fazem parte do sistema que, por via de uma rede de comunicação, se ligam a este primeiro, podem ainda ser equipados de outro tipo de controladores, como microcomputadores (subsistemas). Estas funções também pode ser asseguradas apenas por um computador para todos os componentes de um SFF graças a softwares como o OPC (*Open Platform Communications*), responsável por estabelecer a comunicação com os diversos elementos constituintes do sistema.

O controlo computadorizado tem de ser capaz de [1], [2], [7], [13] e [14]:

- **Controlar e distribuir as tarefas pelas diversas estações de trabalho:** devido à existência de uma sequência para a transformação da matéria-prima em peças acabadas é necessário haver uma organização das estações em função do estado das peças e das estações necessárias para terminar o processo de transformação.
- **Controlar a produção:** desde a entrada da matéria-prima até à chegada ao armazém o produto passa por diversas estações. O tempo que passa em cada uma dessas estações depende do tempo de ciclo de trabalho da máquina. Devido ao tempo de ciclo não ser constante para todas as operações existe a necessidade de ser feito um controlo de produção para garantir um fluxo entre o material que sai e o material que entra no sistema.
- **Controlo de transporte:** gere o sistema de transporte primário, isto é, peças entre as estações de trabalho e é responsável por controlar o sistema de transporte secundário em cada estação de trabalho.
- **Controlo da ferramenta:** gera as ferramentas de corte requeridas nas operações de maquinação e monitoriza a vida útil de cada ferramenta. Se uma determinada ferramenta necessária a uma operação de maquinação não se encontra disponível, o controlo da ferramenta encarrega-se de procurar uma estação de trabalho alternativa que possua a mesma ferramenta e notifica o operador qual a ferramenta de corte em falta.
- **Monitorização e reporte do desempenho:** permite recolher periodicamente dados sobre as variáveis de operação do sistema. Através do processamento destes dados, são preparados relatórios para a gestão da performance do SFF.
- **Diagnóstico** - permite identificar, em caso de falha, a possível fonte do problema. Esta função também é utilizada para programar uma manutenção preventiva do sistema e identificar falhas iminentes. O objetivo desta função é reduzir o tempo de inatividade e aumentar a disponibilidade do sistema.

## **2.6 Sistema de reaqvisição e armazenamento automatizado (AS/RS - *Automated Storage and Retrieval System*)**

O avanço da tecnologia, principalmente na área da automação e da robótica, tem vindo a causar profundas alterações na forma como determinadas operações e espaços são geridos como é o caso dos armazéns. O armazém é parte fundamental de um SFF e claro de ambiente industrial, uma vez que existe sempre a necessidade de haver um local onde guardar os mais diversos materiais.

Em ambiente industrial o armazenamento distingue-se, regra geral, pela separação dos mais diversos materiais necessários ao funcionamento da empresa, resultando num armazenamento do seguinte tipo:

- Matérias-primas;
- Produtos inacabados;
- Produtos acabados;
- Produtos adquiridos ao exterior;
- Produtos para recuperação e desperdícios;
- Ferramentas;
- Material de escritórios e limpezas.

No entanto, o sistema de armazenamento é utilizado em outras aplicações para além de naves industriais de fabrico, como por exemplo armazéns de retalho, entrepostos, serviços de manutenção de equipamentos, serviços públicos como bibliotecas, câmaras, finanças onde os bens guardados são essencialmente arquivos e livros, tornando assim esta tecnologia muito abrangente.

A boa organização e gestão de um armazém é parte fulcral para o bom funcionamento de todo o sistema que depende dele. Nesse sentido grande parte das empresas tem um ou vários operários denominados de “operadores de armazém” onde a sua função é, consoante as necessidades da empresa, gerir o espaço de armazenamento da forma mais eficiente possível. No entanto, com a crescente exigência dos consumidores, alteração dos hábitos de consumo, nomeadamente com o aumento deste em determinados mercados, as empresas viram-se obrigadas a procurar um meio que tornasse a reposta dos seus sistemas de armazenamento mais rápidas e eficientes.

Com esta necessidade surgem os primeiros sistemas de reaqvisição e armazenamento automatizado. Estes sistemas consistem numa variedade de sistemas de controlo responsáveis por colocar e retirar cargas a partir de locais de armazenamento definidos, sem nenhuma intervenção humana.

Foram utilizados inicialmente como sistemas de recolha e armazenagem de produtos acabados e palatizados em 1966 no Japão desenvolvido pela *Daifuku*. Desde essa altura o armazenamento automatizado tem vindo a ser aperfeiçoado até ser considerado, hoje em dia, a tecnologia que disponibiliza os seguintes objetivos [11], [13] e [16]:

- **Melhor aproveitamento do espaço** – aumento da capacidade de armazenamento através do crescimento em altura, ausência ou exiguidade de corredores e utilização de *racks* (estruturas desenhadas especificamente para AS/RS);
- **Aumento da produtividade** – através da otimização permanente dos espaços e volumes de armazenamento;
- **Segurança de funcionamento** – maior fiabilidade com operações em ambientes perigosos (químicos, radioativos, explosivos, etc);
- **Controlo do inventário** – melhor gestão de *stock* e controlo permanente do inventário, que leva a uma diminuição das ruturas de *stock* e gestão da produção;
- **Diminuição da pegada ecológica** – redução do consumo de energia elétrica por via da redução da iluminação e meios de transporte de cargas.

Estes objetivos procuram solucionar e melhorar os aspetos cruciais de gestão de um armazém e da própria empresa, nomeadamente questões como:

- Inventários desatualizados e a respetiva desorganização de bens a que estes se referem;
- Perda de tempo despendido a procurar artigos armazenados;
- Perda de peças;
- O não cumprimento da ordem de receção de pedidos;
- O não cumprimento de prazos de despacho de encomendas;
- O tempo despendido entre os diversos sectores da nave fabril de forma a controlar fluxos de produção;

### 2.7 Elementos constituintes de um AS/RS

Os sistemas de reaquisição e armazenamento automatizado são constituídos por diversos elementos que podem ou não ser obrigatórios, uma vez que tudo depende da estrutura em que tal sistema é implementado. Elementos esses que passam agora a ser enunciados e discriminados:

- **Racks de armazenamento:** estrutura do armazém onde são colocados os módulos de armazenamento ou os produtos diretamente. A escolha da estrutura tem em conta a forma como o transporte, desde a chegada dos artigos na entrada do armazém até ao local onde são guardados, é feita, os artigos a serem guardados, a forma de serem guardados, as quantidades e o espaço tridimensional disponível.
- **Estação de carga e descarga:** este elemento é destinado a fazer chegar os produtos até à entrada do armazém e em encaminhá-los até à saída do mesmo quando da sua requisição. É a ponte entre as estruturas vizinhas ao armazém e o sistema de transporte. Pode ser feito recorrendo a um ou vários operadores. Contudo é comum a utilização de tapetes rolantes, AGVs e robôs manipuladores.
- **Sistemas de transporte:** trata-se de equipamentos completamente autónomos especialmente desenvolvidos para a automatização da armazenagem de cargas. É responsável por transportar os materiais dentro do armazém, podendo ser capaz de executar movimentos transversais e de elevação. Estes equipamentos possuem um controlador programável que comanda os seus movimentos e verifica a boa realização dos mesmos, recolhe dados sobre o ambiente que o rodeia e fornece informação sobre o estado do *stock*.
- **Unidades de carga:** elementos utilizados para transportar os materiais fora ou dentro dos armazéns (paletes, caixas, etc.).
- **Sistema de gestão logística (SGL):** tipicamente, é constituído por um computador que está permanentemente a monitorizar todas as fases do processo e em permanente comunicação com os restantes elementos do sistema para que, em caso de “falha de material” ou “fim de *stock*” por exemplo, haja uma resposta imediata no sentido de repor a normalidade. Todos os movimentos relativos ao armazém, ambiente externo e fluxos de informação são registados por ele para que em qualquer momento seja possível ao operador responsável saber o ponto da situação. Deste modo o SGL torna-se parte integrante de todo o processo o que obriga a garantir um nível de fiabilidade muito grande. Em certas situações assegura-se esta situação ao colocar dois equipamentos destes a trabalhar em simultâneo para evitar falhas em caso de avaria de uma das máquinas [11], [13] e [15].

## 2.8 Tipos de AS/RS

Em seguida são apresentados e explicados os diversos tipos de AS/RS existentes no mercado, *Unit-load*, *Mini-load*, *Man-on-board*, *Deep-lane* e *Double-deep*.

O tipo de AS/RS deve ser escolhido em função das necessidades e requisitos de cada infraestrutura.

- **Unit-Load:** é um sistema de armazenamento e recuperação automatizado para cargas de grandes dimensões e de massa elevada. Permite um manuseamento eficiente, preciso, seguro e estável de paletes e contentores. Tem capacidade para transportar cargas até 2500kg. O sistema AS/RS de Unit Load, ilustrado na Figura 2-3, funciona como um guindaste montado num eixo tridimensional entre os corredores que são apenas ligeiramente mais largo do que a carga que está a ser armazenada. Existe uma unidade de mudança de corredor que circula em torno do armazém de forma a fazer a comutação do sistema pelos vários setores.

Permite uma capacidade de armazenamento vertical até 24 metros, altura inacessível por empilhadores ou outros equipamentos tipicamente utilizados no manuseamento de cargas de grandes dimensões. O sistema Unit Load pode atingir acelerações de  $1 \text{ m/s}^2$  e deslocar-se a uma velocidade de  $3 \text{ m/s}$ , permitindo aumentos de fluxos entre a chegada, organização e saída de materiais do armazém [19].

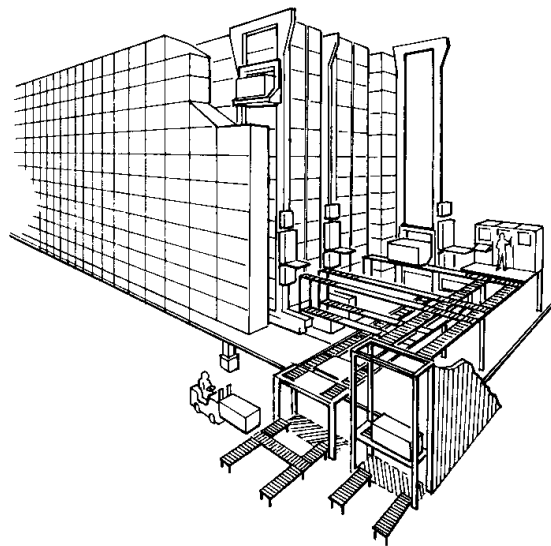


Figura 2-3: Tipo de AS/RS Unit load [19].

- **Mini-load:** São usados para manipular pequenas cargas armazenadas em conjuntos dentro de caixas (módulo de armazenamento) de forma rápida e eficiente. As caixas são transferidas das racks para a estação de carga e descarga, onde são armazenados ou

retirados os itens pretendidos, como demonstra a Figura 2-4. Em seguida são repostas ao compartimento de origem.

É ideal para o armazenamento e recuperação automática de stock em operações de armazém de alta densidade, fluxo dinâmico, reabastecimento automatizado e sistemas de atendimento de pedidos. Existem diversos modelos destes sistemas que variam no manipulador de carga e que fornecem a interface entre os produtos e o sistema Mini-Load. O sistema pode atingir acelerações na ordem dos  $6,5 \text{ m/s}^2$  e deslocar-se a uma velocidade de  $6,5 \text{ m/s}$ . Este desempenho contribui para um potencial aumento da taxa de transferência e, conseqüentemente, num rápido retorno do investimento.

Mini-Load pode ser usado para aplicações que vão desde de 2 metros de altura até mais de 22 metros em corredores com mais de 100 metros de comprimento. Esta arquitetura AS/RS pode ser instalada em construções existentes ou incorporada em novas [20].



Figura 2-4: Tipo de AS/RS mini load [18].

- **Man-on-board:** É uma alternativa ao sistema de *miniload* em que os itens são retirados ou colocados individualmente por um operador que faz parte do sistema. É geralmente construído com base num carril no chão ou ao longo do teto, permitindo a deslocação do sistema ao longo do armazém. O operário comanda o mecanismo de forma a levá-lo até ao local onde se encontra o produto requerido, como está ilustrado na Figura 2-5.

Este tipo de arquitetura é muitas vezes mais cara do que outros tipos de AS/RS, uma vez que implica uma estrutura complexa de carris. Contudo, devido ao seu alcance e flexibilidade, pode proporcionar maior economia de espaço, maior área de armazenamento e mais um posto de trabalho. O facto deste tipo de AS/RS ser manipulado por um operador faz com que este tipo seja mais económico do ponto de vista do controlo computacional. [21].

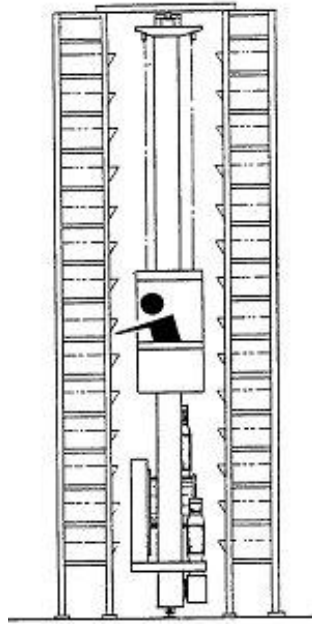


Figura 2-5: Tipo de AS/RS Man-on-board [21].

- **Deep-lane:** É um sistema de armazenamento de alta densidade, apropriada ao armazenamento de material de dimensões reduzidas em grandes quantidades, representado na Figura 2-6. Pode ser dividido em dois grupos:
  - **Single-deep:** Este tipo de armazenamento automático compreende a recuperação direta de todas as cargas unitárias armazenadas através de um dos dois lados das racks. É ideal para uma menor gama de itens ou para itens que sejam acedidos com frequência. O modo *single-deep* utiliza uma estrutura do tipo grua telescópica.
  - **Double-deep:** A recuperação de cargas unitárias armazenadas é feita partir de qualquer corredor do armazém. É útil para o armazenamento de uma gama maior de artigos ou para situações de elevadas variações no inventário [22].

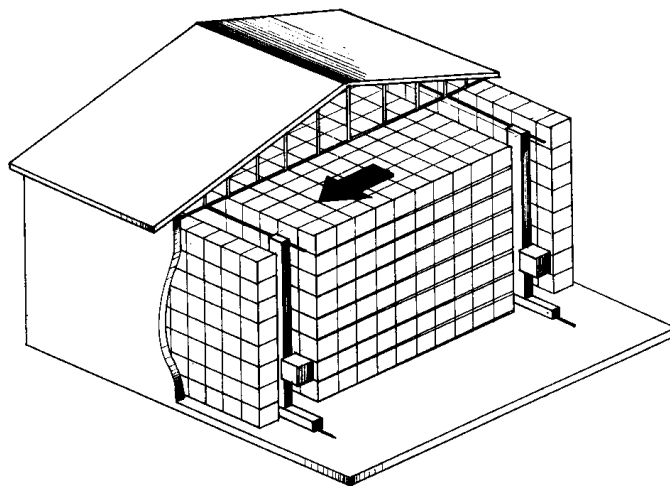


Figura 2-6: Tipo de AS/RS Deep-Lane [18].

## 2.9 Tecnologias de AS/RS

As tecnologias AS/RS existem numa grande quantidade de soluções que divergem em várias características de forma a abranger os diversos tipos de armazéns e forma de armazenamentos existentes, da forma mais eficiente e prática possível.

### 2.9.1 Stocador Transelevador – Transtocador

Trata-se de uma máquina completamente automática especialmente desenvolvida para a automatização da armazenagem de cargas. Em termos de construção o transtocador é uma base que se desloca sobre um carril no solo, como demonstra a Figura 2-7. Sobre essa base está montada uma coluna que tem uma altura igual à altura máxima de trabalho. A estabilidade é conseguida através de guias para a coluna no topo.

Sobre a coluna desloca-se verticalmente uma plataforma que transporta as cargas a armazenar. A transferência dessas cargas da plataforma para a estante e vice-versa é feita através de um dispositivo especial. No caso mais frequente são utilizados garfos telescópicos. A conjugação do movimento da base (translação) com o movimento da plataforma (elevação) permite atingir qualquer ponto do espaço de armazenagem.

O transtocador possui um controlador programável que comanda todos os seus movimentos, verifica a boa realização dos mesmos assim como o perfeito funcionamento da máquina e dos seus dispositivos de segurança. Este controlador comunica ainda com o computador de gestão que centraliza todo o processo de decisão [18].



Figura 2-7: Transtocador [18].

### 2.9.2 Veículos Guiados Automaticamente

Os veículos guiados automaticamente (AGV - *Automated Guided Vehicle*) são autônomos, alimentados por baterias, e têm a capacidade de se deslocar dentro de uma certa área de uma forma completamente autônoma, como mostra a Figura 2-8. A forma de navegação mais tradicional baseia-se na introdução de fios no chão, que são percorridos por um sinal de radiofrequência. O veículo possui antenas que identificam os vários sinais e que lhe permitem determinar/corrigir a sua posição relativamente ao caminho que deve seguir. Inicialmente, estes veículos usavam sensores de infravermelhos em conjunto com bandas de fita preta coladas no chão de forma a compor o trajeto que o veículo deverá percorrer.

Nos dias de hoje, os AGV usam a tecnologia GPS para se deslocarem no ambiente em que se encontram, o que facilita a sua integração uma vez que não são necessárias quaisquer alterações físicas no edifício para que estes se orientem, basta apenas instalar antenas emissoras de sinal. O AGV possui um dispositivo de transferência de carga que lhe permite realizar a sua função básica que é a de "carregar em A, descarregar em B".

De forma idêntica ao transtocador, existe no veículo um controlador programável que controla todos os seus movimentos e verifica o seu bom funcionamento. A nível dos sistemas de segurança, deve realçar-se que estes veículos estão preparados para circular em zonas abertas, com pessoas presentes e tem capacidade de evitar acidentes.

Este tipo de automatismos apresenta as seguintes vantagens [1], [2], [7] e [24]:

- A completa automatização com as correspondentes melhorias de segurança e eficiência;
- A ausência de infraestruturas no solo (os fios estão enterrados), não sendo necessário reservar áreas exclusivas para a movimentação;
- A modularidade que permite fazer crescer o sistema quer em cadência, instalando mais veículos, quer em funcionalidade, acrescentando percursos adicionais.



Figura 2-8: AGV [24].

### 2.9.3 AGV STOCADOR

São fundamentalmente constituídos na mesma base que as dos AGV comuns tendo sido apenas acrescentado um mastro, permitindo um movimento de elevação ao dispositivo de transferência de cargas, como mostra a Figura 2-9. Assim, além da função básica de transporte horizontal, pode realizar funções de armazenagem e transporte vertical com o mesmo automatismo.

Relativamente ao transtocador clássico, que se desloca sobre um carril, o AGV stocador tem uma velocidade de funcionamento mais lenta e a altura máxima de trabalho é, também, mais baixa. No entanto, para sistemas em que os fluxos a garantir sejam moderados e em que não se pode tirar partido de alturas elevadas, trata-se de uma alternativa interessante na medida em que a mesma máquina é rentabilizada para automatizar duas funções [24].



Figura 2-9: AGV stocador [24].

### 2.9.4 Kiva System (Amazon Robotics)

É um sistema criado em 2003, que tem como objetivo melhorar o processo de recolha, embalagem e envio de bens desde o armazém/loja até ao consumidor final. Devido ao seu potencial e crescimento, em 2012 a empresa e o sistema foram comprados pela Amazon passando então a chamar-se *Amazon Robotics*. A solução para esta melhoria passa então pela criação do sistema Kiva que é constituído por pequenos robôs semelhantes a AGV, demonstrado na Figura 2-10 e que circulam pelo armazém transportando com eles estantes com os artigos requeridos pela estação de carga/descarga. Estes AGV, com dimensões de apenas 60x16x10 cm existem em duas versões, uma mais comum e outra mais avançada. A mais comum é capaz de transportar estantes até um peso máximo de 450 kg enquanto a versão mais avançada é capaz de transportar três vezes mais este valor.

Os AGV pertencentes ao Kiva System são dotados de um sistema elevatório que permite a estes equipamentos posicionarem-se debaixo de uma estante e elevarem-na de forma a poderem transportá-la, a uma velocidade equiparada à que um ser humano se desloca a caminhar, 5 Km/h. Estes AGV deslocam-se por todo o armazém com base numa grelha de caminhos mapeada no chão através de autocolantes que contêm códigos de barras 2D que são colocados de metro a metro. Estes autocolantes estão também presentes nas estantes para que o robô as possa identificar. O AGV está equipado com uma câmara que aponta para cima e uma que aponta para baixo, estas detetam os autocolantes e fazem a leitura destes. Essa leitura informa o AGV da sua posição atual e informa também a central de controlo da posição do AGV em causa.

A deteção de obstáculos é feita com o auxílio de diversos sensores que asseguram que não ocorre nenhum choque entre AGV ou operadores. Desta forma a área em que circulam os AGV não tem necessidade de ser restrita a pessoas.

## 2- Estado da Arte

---

Os equipamentos que fazem parte de cada um destes robôs permitem que estes se desloquem sem qualquer tipo de iluminação o que viabiliza a redução de custos de energia e consequentemente a pegada ecológica.

Cada AGV desloca-se utilizando a energia de uma bateria que é carregada regularmente durante o dia, de duas em duas horas o AGV segue de forma autónoma até à estação de carga onde permanece durante 5 minutos até voltar ao trabalho. Este sistema encontra-se em total funcionamento nos armazéns da conceituada loja online Amazon, onde o seu modo de operação é o seguinte, [25]:

- 1- Um sistema informático recebe o pedido do cliente;
- 2- Automaticamente, o sistema Kiva entra em funcionamento no sentido de transportar todas as estantes que tenham os artigos encomendados até uma estação de carga descarga;
- 3- Um operador retira os itens de cada uma das prateleiras;
- 4- É dada a informação, via código de barras, da saída de cada um dos artigos atualizando em tempo real o inventário geral, e de cada uma das estantes transportada pelos robôs;
- 5- Os AGV voltam a colocar as estantes no devido lugar.



Figura 2-10: Robôs constituintes do sistema KIVA [25].

### 2.9.5 Fetch Robotic

O sistema Fetch Robotic é constituído por dois equipamentos, o Freight e o Fetch. O Freight é na sua essência uma base móvel, um AGV, enquanto o Fetch é também uma variante de um AGV, mas com a particularidade de ser também um manipulador. Estes equipamentos estão dimensionados para funcionarem em parceria com operadores, ajudando-os ou mesmo substituindo-os na realização de tarefas repetitivas como é o caso das entregas, recolhas e embalamentos dos mais diversos tipos de artigos em armazém.

A principal característica do Fetch, manipulador móvel, é o seu manipulador com 7 graus de liberdade, que é capaz de elevar cargas de até 6 Kg, estando elas na parte mais inferior da estante ou prateleira mais alta, devido também à sua espinha telescópica. A recolha dos artigos das prateleiras é assegurada pelo seu *gripper* modular e pela ligação dedicada à internet para que um operador à distância possa controlar esta função com base numa câmara e sensores instalados no Fetch.

O Freight destaca-se do Fetch pela rapidez com que é capaz de se deslocar no armazém. Devido a ser apenas uma base móvel consegue velocidades de 3 m/s. Em função da velocidade a que este se desloca o peso que pode transportar varia com ela. Este AGV consegue transportar até 70 Kg estando preparado para transportar desde estantes até caixas.

Ambos os robôs estão equipados com um sensor laser, com alcance de 25 metros, que permite aos robôs detetar pessoas de forma a ou evitá-las ou segui-las. Nomeadamente as bases móveis, Freight, são utilizados para seguir os operadores responsáveis por fazer a recolha dos itens para as diversas encomendas, demonstrado na Figura 2-11.

Os robôs são capazes de automaticamente, encontrar e usar a estação de carga, capazes de carregar as suas baterias em 20 minutos. Os robôs são comercializados juntamente com um software que gere a integração dos mesmos com os armazéns onde executam as suas funções, o seu sistema operativo é baseado num sistema de código aberto, ROS, que é capaz de ser adaptado e integrado a outros softwares, como softwares de gestão por exemplo. Estes equipamentos são comercializados com uma esperança média de vida de 13000 horas de funcionamento, 16 horas de funcionamento diário, 365 dias por ano, o que fortalece a questão do retorno de investimento [26].



Figura 2-11: Robôs Freight e um robô Fetch [26].

### 2.9.6 AutoStore

O sistema AutoStore opta por uma vertente diferente dos restantes sistemas na medida em que este sistema procura acabar com os típicos elementos dos armazéns, estantes, prateleiras, empilhadores, paletes e outros tipos de unidades de carga.

A solução do AutoStore é uma estrutura quadrangular, tridimensional, construída em alumínio com o intuito de formar uma grelha no seu interior. O seu tamanho apenas depende do tamanho disponível no armazém, como ilustra a Figura 2-12. O facto de a estrutura ser deste tipo permite uma capacidade de armazenamento de 98% e uma redução do espaço na ordem dos 50%.

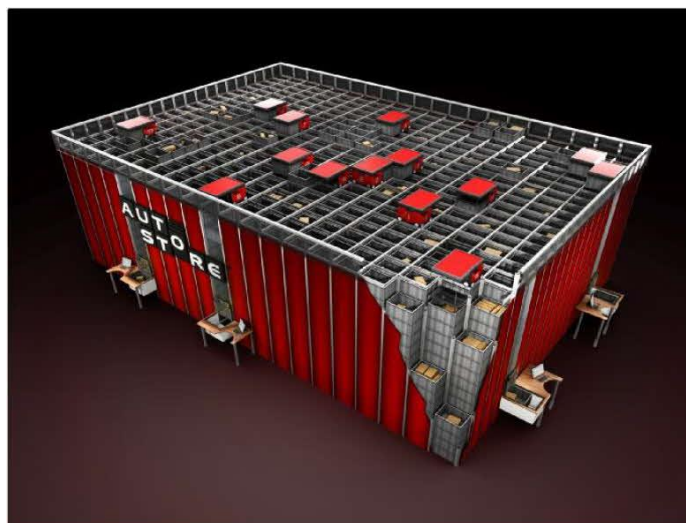


Figura 2-12: Estrutura do sistema AutoStore [27].

No interior desta estrutura são empilhadas caixas que preenchem todos os espaços da mesma em grelha, dentro destas caixas são armazenados os artigos que se pretendem armazenar.

A recolha e armazenamento de itens é feita inteiramente por robôs que se deslocam em carris apenas aplicados no topo da estrutura. Robôs semelhantes a AGV, representados na Figura 2-13, construídos para baixos consumos de energia, dotados de sistemas de carregamento da bateria através da energia regenerativa, sem qualquer necessidade de iluminação para o seu funcionamento e equipados com um mecanismo capaz de agarrar, subir e descer as caixas com os artigos.

Quando é requisitado um artigo que se encontra numa unidade de armazenamento no fundo da grelha o sistema otimiza a recolha do mesmo colocando vários robôs a retirar as caixas que estão em cima da pretendida, fazendo com que a entrega seja mais rápida. Após o artigo ser retirado da caixa, esta volta para grelha e é colocada aleatoriamente num espaço vago da grelha. À medida que os artigos são requisitados e arrumados novamente surge, naturalmente, uma organização dos artigos onde os que são requisitados com mais frequência encontram-se no topo da grelha, sendo mais fácil e rápido o seu acesso, enquanto os que são menos requisitados começam a ficar no fundo da grelha.

A este meio de armazenamento junta-se ainda o elemento da estação de carga e descarga que pode ser colocado em qualquer lado da grelha, servindo de interface entre a zona de armazenamento e o armazém [27].



Figura 2-13: Robôs constituintes do sistema AutoStore [27].

### 2.9.7 CUBY - Sistema de transporte económico e compacto

O sistema CUBY baseia-se na utilização dos elementos tipicamente constituintes de uma zona de armazenamento, estantes e prateleiras em conjunto com pelo menos um elevador e um robô por prateleira de armazenamento.

As estantes são dispostas lado a lado, unidas como se de uma peça única se tratasse, formando corredores. Entre cada corredor são dispostos os robôs, como demonstra a Figura 2-14, semelhantes a AGV's, que se deslocam em carris montados entre as prateleiras.



Figura 2-14: Robôs do sistema CUBY a deslocarem-se entre as prateleiras [28].

Estes AGV são dotados de um mecanismo, Figura 2-15, que os permite recolher caixas das prateleiras e em seguida deslocar-se na horizontal até à estação de carga e descarga ou até a um dos elevadores que fará com que a unidade de armazenamento se desloque na vertical até chegar a esta estação.

As principais vantagens deste sistema de transporte de mercadorias é a sua flexibilidade em termos de capacidade e alto desempenho. A estrutura pode atingir um comprimento de até 100 m e uma altura de até 15 m e um número ilimitado de corredores. Assim, proporciona a máxima densidade de armazenamento possível devido às suas faixas estreitas para os robôs vaivéns. Flexibilidade também significa ser capaz de se adaptar às estruturas de corredor existentes e integrar, por exemplo, as suas colunas [28].



Figura 2-15: Mecanismo para depositar e recolher artigos das prateleiras [28].

## 2.10 Fatores cruciais para um AS/RS

Num sistema de requisição e armazenamento automatizado onde é feito o transporte e gestão, muitas vezes de artigos de diversas dimensões, perigosos e frágeis existem diversos fatores a ter em conta durante a projeção dos mesmos de forma a garantir o melhor manuseamento dos materiais e as normas de segurança. Essas características a serem estudadas são referentes à estrutura física do sistema e referentes a toda a parte de controlo do mesmo. Essas especificidades são agora identificadas e explicadas [2], [11], [13], [26] e [29]:

- **Racks de armazenamento:** A escolha do tipo de *racks* é determinada com base nos artigos que se pretendem guardar e no tipo de AS/RS que se pretende implementar tendo em conta a dinâmica do armazém e espaço disponível para a implementação do sistema. O mais comum é utilizar estantes metálicas com prateleiras de dimensões adequadas as unidades de armazenamento.
- **Tamanho:** O correto dimensionamento das unidades de armazenamento sejam eles paletes, contentores ou diversos rolos é essencial na determinação do espaço que essa unidade vai ocupar aquando do seu armazenamento. Uma vez que as dimensões de uma unidade de carga podem ser variáveis, no final da determinação do espaço individual de armazenagem, pode ser necessário mais do que um tamanho para esse espaço. Simultaneamente ao tamanho máximo da carga, é fundamental determinar a orientação desta relativamente às prateleiras, de forma a estabelecer a largura de armazenamento. Por exemplo, caso a unidade de armazenamento seja uma paleta, as longarinas devem estar posicionadas paralelamente ao corredor por onde a empilhadora circula, conseguindo com isto aceder-lhe facilmente.

- **Peso:** Com vista à estruturação e seleção do tipo de unidade de carga procede-se à determinação do peso máximo das carga a serem movimentadas, para que não haja uma projeção subdimensionada nem sobredimensionada, desta forma evita-se o encarecer do projeto e uma projeção deficiente.
- **Quantidade de locais necessários para a armazenagem:** É o número de divisões necessárias para guardar os materiais. O número é obtido através da quantidade máxima de bens por unidade de carga. Sabendo o número de unidades de carga e as suas dimensões é possível obter a quantidade de locais necessários para o armazém. Deve haver um cuidado no sentido de ter em vista futuras necessidades.
- **Fluxo do sistema:** Isto é, o número de cargas que entram e saiem do sistema por hora. Uma vez que a movimentação de materiais está relacionada com os níveis de produção e saída de produtos, há que determinar o número de unidades a armazenar e a expedir em cada hora de funcionamento. É errado proceder a este cálculo considerando valores médios, uma vez que as taxas de entrada e saída de cargas não são relativamente constantes ao longo dos turnos. Deve-se ter isso em conta de forma a manter a eficiência em todas as instalações.
- **Altura do Sistema:** O cálculo da altura de um sistema deve ser efetuado com base nas cargas que este irá conter. Assim sendo, deve-se calcular a altura das cargas, não tendo exclusivamente em conta a sua altura real mas também a necessária aos elementos da estante que a suportam, assim como, as dimensões do transportador.
- **Número de colunas:** O número de colunas que um sistema deve conter é determinado através do número de unidades de carga que é necessário armazenar, número de guias e quantidade de cargas em altura.
- **Dimensões do sistema:** O comprimento do sistema é determinado calculando, *a priori*, o comprimento das prateleiras do sistema, isto é, o número total de colunas numa fila. Ao cálculo da largura de cada coluna deve-se adicionar a folga lateral da carga e a largura de um pilar da estante à largura da carga. De forma a determinar a largura do sistema, deve-se definir, primeiro, a unidade de corredor, isto é, a largura total de um corredor e das estantes de armazenagem adjacentes. Se o sistema necessitar de levar outros equipamentos que o apoiem, como é o caso de correias transportadoras, sistemas puxados por cabo, carro de transferência ou veículos sem condutor, deve-se ter em conta a medida do comprimento adicional de cada um, somando e obtendo, desta forma, um correto comprimento total do sistema.

- **Sistema AS/RS adequado:** A escolha do sistema AS/RS está relacionada com a escolha e dimensionamento das estações de carga e transtocador. A escolha deve ser feita com base nas taxas de entrada e saída de bens, nas quantidades a ser armazenadas e nas dimensões e formatos dos artigos e das unidades de carga. O sistema optado deverá ir de encontro às necessidades do armazém e deverá ainda executar a sua função da forma mais eficiente possível.
- **Necessidade futura de *picking*:** Consiste na recolha em armazém de certos produtos, podendo ser diferente em categoria e quantidades, respeitando o pedido de um cliente. O *picking* reduz substancialmente o tempo de ciclo do pedido, ou seja, o tempo que vai desde o pedido do cliente até a entrega dos produtos recolhidos, tem um acréscimo substancial, cerca de 30% a 40% do custo de mão-de-obra do armazém causado pelo uso de sistemas de controlo e monitoramento que suportam o serviço (dependendo do tipo de armazenagem).
- **Necessidade de armazenagem a baixas temperaturas:** Principalmente no caso do armazenamento de produtos alimentares existe a necessidade de o armazenamento ser feito a baixas temperaturas o que pode causar restrições a sistemas AS/RS.
- **Requisitos especiais contra incêndios e risco de explosão:** Na indústria, existem processos produtivos que ocorrem em ambientes suscetíveis de explosão derivado ao tipo de matérias-primas utilizadas, dado que muitas delas são combustíveis ou podem libertar gases suscetíveis de inflamação. Para minimizar estes riscos e assegurar a proteção de pessoas e bens, a União Europeia definiu diretivas que estabelecem os padrões mínimos de segurança exigidos nestas condições que estabelecem os requisitos dos equipamentos a utilizar neste tipo de ambientes, as condições de segurança e proteção para todos aqueles que trabalham nestas condições. Estas diretivas são conhecidas como normas ATEX.

## 3. O problema e a CFF

Neste capítulo é apresentado o problema em estudo e também a composição da CFF onde o projeto foi realizando especificando cada um dos seus elementos e suas funções.

### 3.1 O Problema

Como já foi referido anteriormente o objetivo desta dissertação é desenvolver software capaz de criar um inventário constantemente atualizado do material disponível no armazém. Em função do inventário as peças dos armários terão de ser movimentadas para que estejam mais próximas do local onde é feita a palatização. Este software é aplicado nos equipamentos da CFF do Laboratório de Automação e Robótica do departamento de Engenharia Eletrotécnica do Instituto Politécnico de Viseu. Outra vertente do trabalho é desenvolver um sistema de monitorização *online* que permita a visualização em tempo real da CFF, permita o acesso a todos os ficheiros relacionados com a atividade da célula, o envio remoto de comandos para o robô, possibilite o envio de correios eletrónicos com os dados sobre o setor e notifique o utilizador por diversas vias, nomeadamente correios eletrónicos e mensagens texto para telemóveis, em caso de alarme.

O sistema de monitorização é baseado num *web server* que estabelece comunicações em simultâneo com o controlador do robô e com o PLC gestor da CFF, de forma a poder monitorizar todas as fases e ocorrências do processo em causa.

Depois desta apresentação do contexto geral do problema, será apresentado o hardware disponível para o trabalho bem como uma descrição do mesmo.

## 3.2 O setor do Armazém

Dentro do setor do armazém do Laboratório de Automação e Robótica fazem parte os armários, o robô manipulador IRB 1400, o transportador principal, as células óticas, o PLC gestor da CFF e os elementos do sistema de controlo e sinalização. Na Figura 3-1 está ilustrado o *layout* da CFF e todos os elementos principais que a constituem.

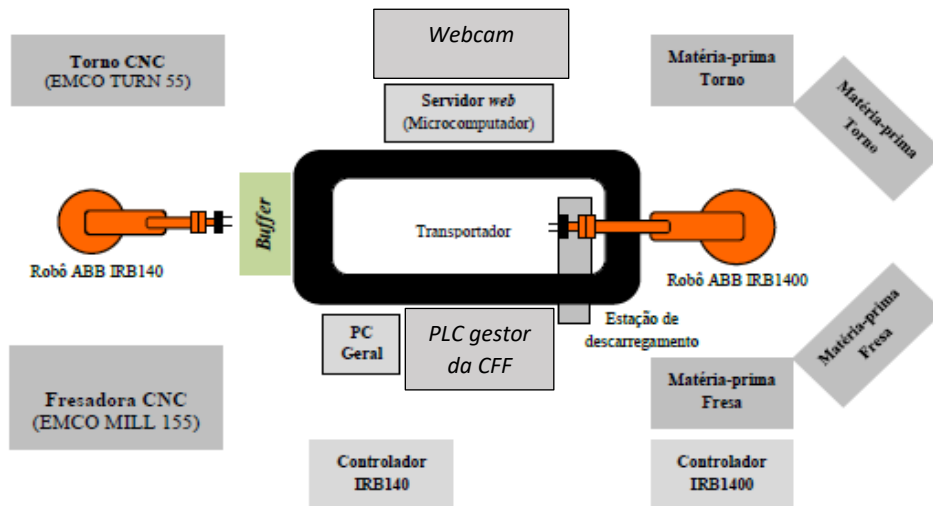


Figura 3-1: *Layout* da CFF.

### 3.2.1 Armários e constituintes

Um dos principais elementos constituintes do armazém do laboratório, e de qualquer armazém em geral, são os armários, *racks*. Os armários em causa são feitos em perfil de alumínio constituídos por quatro prateleiras cada um, sendo que cada uma destas prateleiras está dividida em oito posições, como é possível ver na Figura 3-2 o que se traduz num total de trinta e duas posições para arrumar peças.



Figura 3-2: Exemplo de uma *rack* do laboratório de automação.

A disposição destes armazéns está feita num semicírculo, como se pode ver na Figura 3-3. Os armário 1 e 2 são utilizados para armazenar peças cilíndricas, demonstradas na Figura 3-4, que são utilizadas como matéria-prima para o torno CNC, enquanto os armários 3 e 4 são para armazenar as peças paralelepipedais, demonstradas na Figura 3-5, utilizadas como matéria-prima para a fresadora CNC.



Figura 3-3: Disposição dos elementos do sector do armazém do laboratório de automação.

Como ainda é possível visualizar na Figura 3-3, o setor do armazém está equipado com cinco armários semelhantes. Contudo, para o caso em estudo, são apenas usados quatro armários dos cinco que existem neste sector.



Figura 3-4: Matéria-prima Torno CNC.



Figura 3-5: Matéria-prima Fresadora CNC.

### 3.2.2 Transportador

O sistema transportador principal de toda a CFF do laboratório é constituído por um tapete rolante montado de forma a percorrer todos os setores da célula. Este tipo de meio de transporte é comum em SFF, principalmente em situações em que as trajetórias dos artigos são fixas, devido à sua fiabilidade, robustez, baixa manutenção e preço acessível. No entanto são pouco flexíveis em termos de alteração de rotas e alteração de capacidade de carga.

No caso da CFF em estudo, independente do tipo ou estado dos materiais, todos circulam no mesmo sentido, sentido anti-horário. Em cada um dos setores, fabrico e armazém, pode existir uma interação entre o transportador principal e os transportadores secundários constituintes da CFF. No caso do setor de fabrico a interação é feita por um robô manipulador, ABB IRB 140, enquanto que, no caso do setor do armazém o robô manipulado responsável pela interação é o ABB IRB 1400, também ilustrado na Figura 3-3. No setor do armazém as matérias-primas são transferidas das *racks* de armazenamento para as paletes que se encontram no transportador. No caso do setor de fabrico, o robô manipulador IRB 140 retira as matérias-primas do transportador para uns *buffers* de *WIP* e de seguida para o interior das máquinas CNC. Após maquinação das peças este manipulador retira as peças e coloca-as então em *buffers* para os produtos acabados até à passagem de uma paleta vazia que as possa transportar.

### 3- O problema e a CFF

---

O transporte das peças é feito através de paletes. Cada uma das paletes que circula no transportador tem uma função diferente das demais. Apesar de aparentemente serem todas iguais entre si, encontram-se devidamente diferenciadas através de um código único atribuído por uns elementos metálicos que as constituem. Sendo assim, é possível colocar estas paletes de forma completamente aleatória no transportador.

Cada uma das quatro paletes que circula de forma contínua no transportador é destinada a um único tipo de material: matéria-prima do torno, matéria-prima da fresadora e uma para cada um dos produtos acabados resultantes da maquinação das matérias-primas. Na Figura 3-6 é possível ver as quatro paletes utilizadas devidamente etiquetadas na lateral com a identificação de cada uma delas, MP (Matéria-Prima) Torno, MP Fresa, PA (Produto Acabado) Fresa e PA Torno.

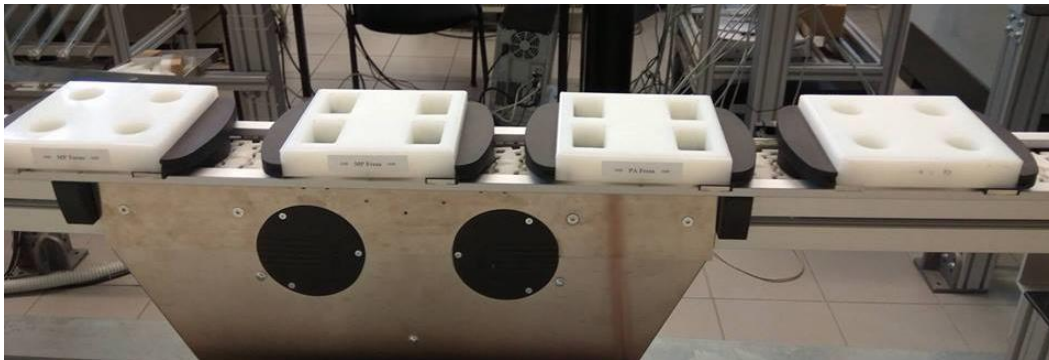


Figura 3-6: Paletes da CFF.

Na parte inferior de cada uma das paletes encontram-se os elementos metálicos, como demonstrado na Figura 3-7. Estes elementos fazem ativar uma série de sensores indutivos, (mais precisamente seis, S1, S2, S3, S4, S5 e S6), que se encontram posicionados no setor do armazém e no setor de fabrico de igual forma, como demonstra a Figura 3-8. Na Tabela 3-1 pretende-se apresentar a codificação de cada uma das paletes ao passarem nos sensores indutivos.

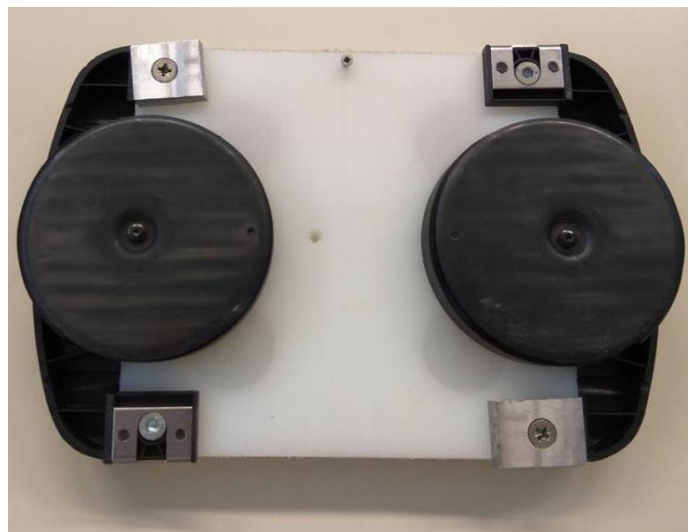


Figura 3-7: Elementos metálicos na paleta.

Paletes	Codificação
MP Torno	S1 – S2 – S3 – S4 – S5
MP Fresa	S1 – S4 – S5
PA Torno	S1 – S2 – S4 – S5
PA Fresa	S3 – S4 – S5

Tabela 3-1: Codificação das paletes.

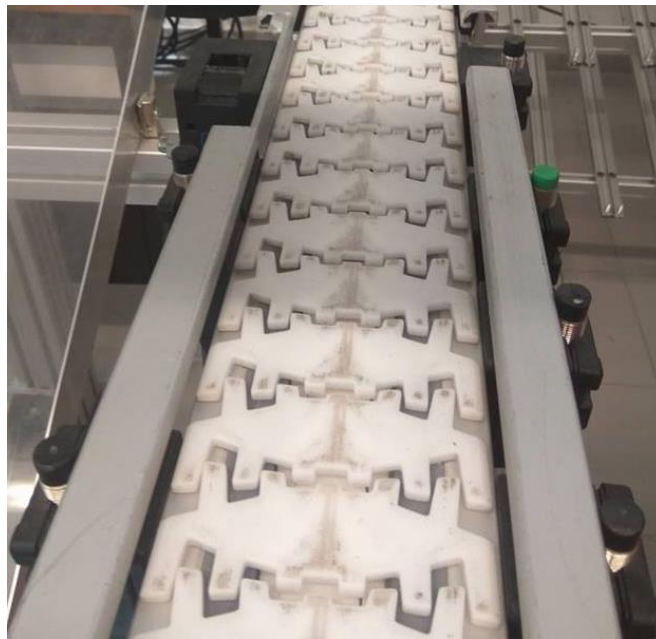


Figura 3.8: Sensores no setor do armazém.

Em função da combinação de sensores, que são ativados à passagem das paletes assim é possível identificar qual delas é. Em função das paletes e do estado em que se encontram, cheias ou vazias, são executadas ações que as envolvem. Estas ações passam numa fase inicial pela ativação de *stoppers* pneumáticos, representados na Figura 3-9.



Figura 3-9: Stopper do setor do armazém.

Quando é identificada a paleta solicitada no sector do armazém, é cortado o fornecimento de ar comprimido aos *stoppers* permitindo, assim, a sua elevação que por sua vez faz interromper o curso das paletes que circulam no transportador, como demonstra a Figura 3-10. Quando o ar comprimido volta a ser fornecido, após interação entre a paleta requerida e o setor onde se encontra, os *stoppers* baixam e a paleta prossegue ao longo do transportador.



Figura 3-10: Stopper elevado para reter paleta.

Entre o setor do armazém e o setor de fabrico existem outros dois *stoppers*, um de cada lado do transportador, iguais aos apresentados, que desempenham funções auxiliares, ou seja, evitam a formação de filas em cada sector, proporcionando uma distribuição das paletes mais uniforme ao longo do transportador.

### 3.2.3 Robô e Controlador

Aquando da escolha de um robô manipulador é necessário verificar se as suas características se adequam às funções a desempenhar. Sendo assim, um dos aspetos a ter em conta é o seu valor máximo de carga, calculado tendo em conta a carga máxima prevista a ser manipulada e a massa do órgão terminal. Através deste valor torna-se possível saber se este robô é o indicado para manusear o tipo de cargas pretendidas.

O volume de trabalho é outro aspeto determinante na escolha de um robô industrial. Esta característica representa, no espaço, o conjunto de todos os pontos atingíveis pela extremidade do manipulador. O volume de trabalho de um robô implica, por sua vez que todos os elementos com que este tem de interagir estejam dentro deste volume de trabalho. Outro aspeto a ter em conta é a repetibilidade, dado que as tarefas para as quais o robô é adquirido são na sua maioria tarefas repetitivas.

O robô que se encontra no setor do armazém da CFF é o robô manipulador da ABB IRB 1400 com 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 seis graus de liberdade, seis eixos de rotação, um punho esférico e uma estrutura antropomórfica, como é possível ver na Figura 3-11 e foi concebido para executar tarefas respetivas tais como soldadura, pintura, montagens de equipamentos, corte laser e manipulação de materiais. A Figura 3-12 representa o volume de trabalho do manipulador IRB 1400.

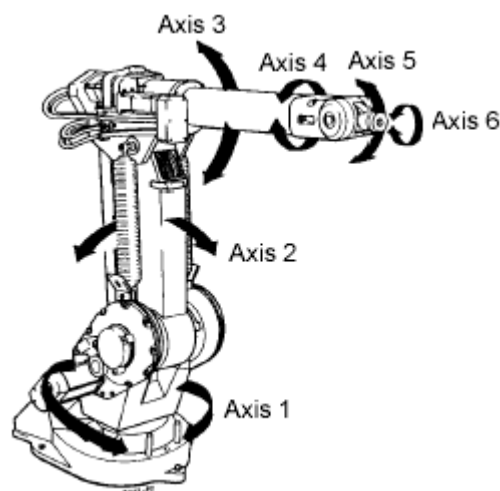


Figura 3-11: Estrutura e eixos do robô IRB 1400.

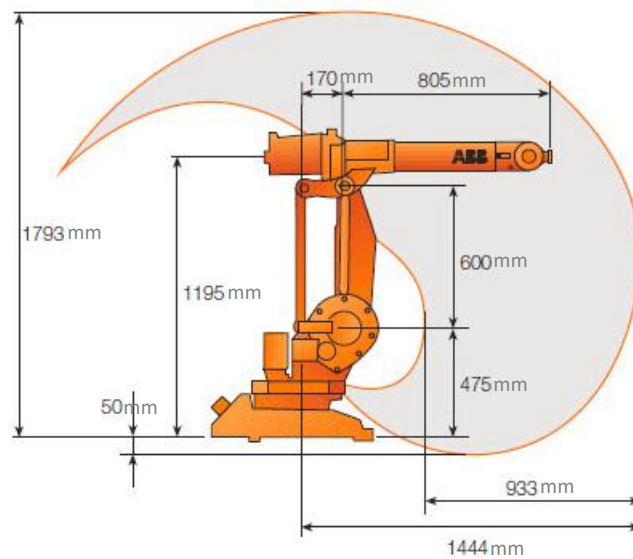


Figura 3-12: Volume de trabalho do robô manipulador.

Na Tabela 3-2 são apresentadas mais algumas características do manipulador em causa.

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

Tabela 3-2: Características do robô manipulador IRB 1400.

### 3- O problema e a CFF

---

Como qualquer outro robô industrial, o ABB IRB 1400 é controlado por um sistema eletrônico computadorizado, o controlador, responsável por controlar toda a estrutura física, coordenando a ação dos motores das juntas de acordo com o código do programa que está a ser executado, em conjunto com a informação captada pelos sensores de posição e velocidade. Além de controlar os movimentos do manipular, o controlador é também capaz de armazenar informação, bem como algoritmos de controlo e planeamento de trajetórias que descrevem a estrutura mecânica e o respetivo movimento.

Devido a estes aspetos, e dadas as crescentes exigências de precisão, velocidade e necessidade de grandes flexibilidades, os sistemas de controlo de robôs industriais são bastante avançados. Os controladores usam tipicamente multiprocessadores, baseados num *BUS* paralelo industrial *standard* ou através um mecanismo de comunicação interno série de alta velocidade (PROFIBUS, RS485, CAN). Utilizam normalmente sistemas operativos em tempo real que, de maneira geral, são baseados no UNIX.

São sistemas de utilização essencialmente local, que disponibilizam uma linguagem de programação estruturada (no caso *Rapid*), livrarias de funções de manipulação e controlo de posição avançadas, possibilidade de gestão de programas e ficheiros, bem como dispositivos de interface com o utilizador. Neste último, a interface é normalmente feita através de uma HMI, agregada ao controlador, dotada de um *display* de 16 linhas, um teclado, botão de paragem de emergência e um *joystick*. Através desta interface é possível controlar o manipulador manualmente, fazer o *display* de mensagens programadas, ler possíveis erros no código ou avisos internos do sistema.

O controlador associado ao robô ABB IRB 1400, é um ABB S4C, representado na Figura 3-13, dotado da particularidade de poder funcionar como um autómato com 16 I/O.



Figura 3-13: Controlador ABB S4C.

### 3.3 Ferramenta de trabalho

Ao manipulador IRB 1400 foi adicionada uma ferramenta de trabalho (*gripper*), que está demonstrada na Figura 3-14.

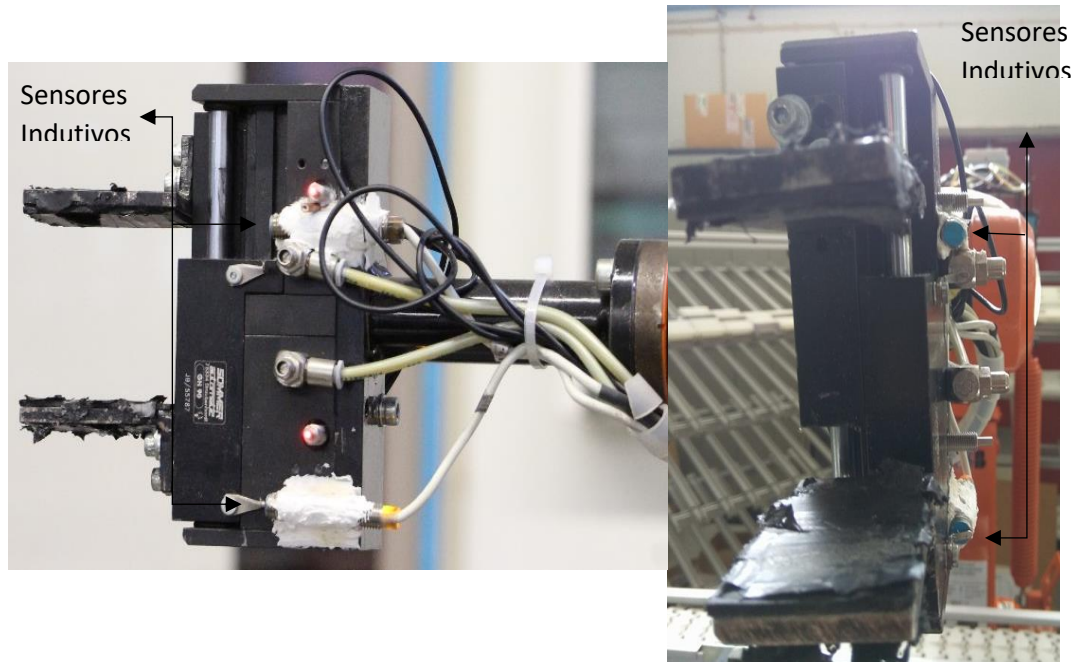


Figura 3-14: Ferramenta de trabalho do robô manipulador IRB 1400.

A ferramenta que se adiciona ao manipulador deverá ser projetada conforme as funções para as quais o robô foi adquirido. No caso em estudo, a função é manipular peças com geometrias distintas, cilindros e paralelepípedos. Este tipo de ferramenta é acionada através de um sinal digital que faz atuar uma válvula pneumática. Quando o sinal é 1, a ferramenta fecha, quando o sinal é 0 esta abre. Ainda na Figura 3-14 é possível ver que da ferramenta instalada fazem parte sensores de fibra ótica e sensores indutivos. Estes sensores estão ligados ao controlador do manipulador o que permite ao utilizador usar os seus sinais nos programas que desenvolve.

No caso em estudo são apenas utilizados os sensores indutivos, através da combinação dos sinais destes sensores foi desenvolvido um algoritmo que permite após a abertura e fecho do *gripper*, saber se numa determinada posição existe ou não uma peça.

### 3.4 Sistema de controlo e sinalização local

O sistema de controlo e sinalização é fundamental em qualquer sistema de automação, sendo responsável por sinalizar localmente uma ocorrência que possa surgir durante o processo que está a ser executado. Deste sistema fazem parte uma unidade de controlo manual (botoneira) demonstrada na Figura 3-15, uma baliza de sinalização demonstrada na Figura 3-16 e ainda a consola *Teachpendant* do robô manipulador, como é visível na Figura 3-17.

A botoneira é a unidade de controlo manual e é constituída por três botões de impulso, cada um responsável por uma ação de controlo distinta. Esta unidade permite ao utilizador enviar opções de controlo básicas e de fácil perceção, de forma a auxiliar no solucionamento de problemas ocorridos o mais rapidamente possível. Dessas opções de controlo fazem parte os comandos de “Start”, “Stop” e “Repor”.

O sistema de sinalização é constituído por uma baliza de sinalização composta por elementos luminosos e um sonoro. Esta constituição permite ao operador, que não se encontra perto da CFF, perceber o estado em que a mesma se encontra através do sinal sonoro e em função da luz que se encontra acesa.

A consola *Teachpendant* apresenta mensagens de texto que permitem identificar rapidamente as falhas ocorridas no setor do armazém. Este sistema é replicado no *webserver* como será descrito mais à frente nesta dissertação.



Figura 3-15: Botoneira.



Figura 3-16: Baliza sinalizadora.



Figura 3-17: Consola Teachpendant.

### 3.5 Sistema de segurança e emergência local

O sistema de segurança e emergência instalado no sector do armazém tem como objetivo garantir a proteção dos operadores que estejam em redor do volume de trabalho do robô.

Este sistema de segurança consiste em dois sensores óticos que se encontram instalados nas duas entradas possíveis para o setor do armazém, nos armários 1 e 3. Na Figura 3-18 é apresentado o tipo de sensor ótico em causa. A presença destes dois sensores garante que, se o robô estiver em movimento e o seu volume de trabalho for invadido, o movimento do manipulador seja interrompido de imediato.

Seguidamente é ativado o sistema de controlo e sinalização local que permite ao operador local identificar a falha ocorrida, através da consola *Teachpendant* ou pelas vias remotas como é o caso da SMS (*Short Message Service*) e correio eletrónico, como será explicado posteriormente neste trabalho.

Após a ocorrência todo o sistema aguarda pelo sinal de “OK”, proveniente do sistema de controlo para retomar o processo no ponto em que tinha ficado.

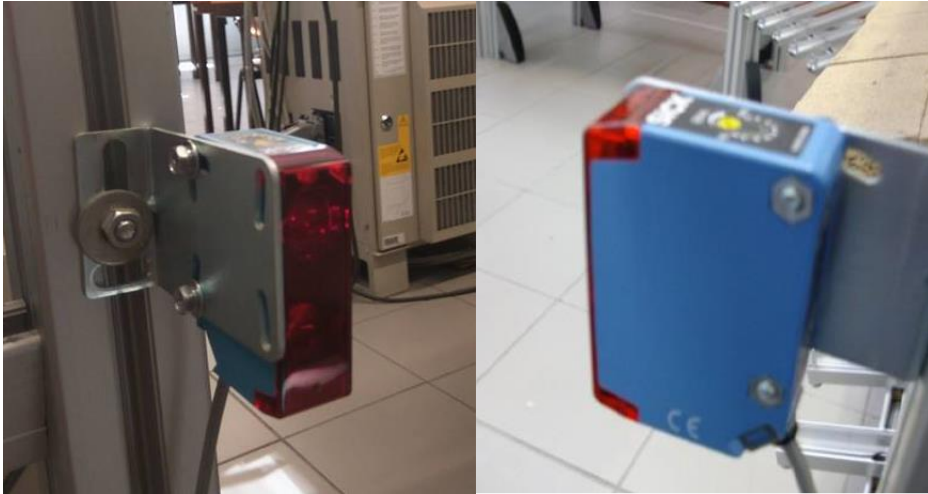


Figura 3-18: Sensor ótico do sistema de segurança local.

### 3.6 PLC gestor da CFF

O PLC gestor da CFF é constituído por um PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly, representado pela Figura 3-19, que tem como função gerir todos os sectores da CFF e as tarefas a serem executadas nestes setores. Este controlador possui 14 entradas digitais e 10 saídas digitais que são utilizadas para receber e enviar sinais aos robôs e aos equipamentos do transportador. 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*. A programação deste autómato é feita através do software TIA PORTAL V13 fornecido pelo fabricante do PLC.

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 entre o transportador, sensores indutivos e *stoppers*.

No caso do transportador principal da CFF, o PLC é responsável por monitorizar o estado de cada palete (cheias ou vazias). Cada vez que uma paleta passa na zona onde se encontram os sensores indutivos, apresentados anteriormente, o autómato recebe os sinais provenientes dos sensores que são ativados em função dos elementos metálicos constituintes das paletes e em função dos sinais recebidos e do estado das paletes o PLC decide se é necessário parar a paleta ou não.

### 3- O problema e a CFF

No caso do setor do armazém, a paragem das paletes é feita sempre que passe a paleta MP Torno ou a paleta MP Fresa e que os estados destas paletes seja “vazia”. Sempre que esta situação ocorrer, o PLC deixa de enviar o sinal digital para as válvulas pneumáticas dos *stoppers*, o que faz com que estes subam e parem a paleta. Em simultâneo, envia um sinal digital para o controlador do robô IRB 1400 que o informa qual é a paleta que se encontra parada e à espera para ser carregada.

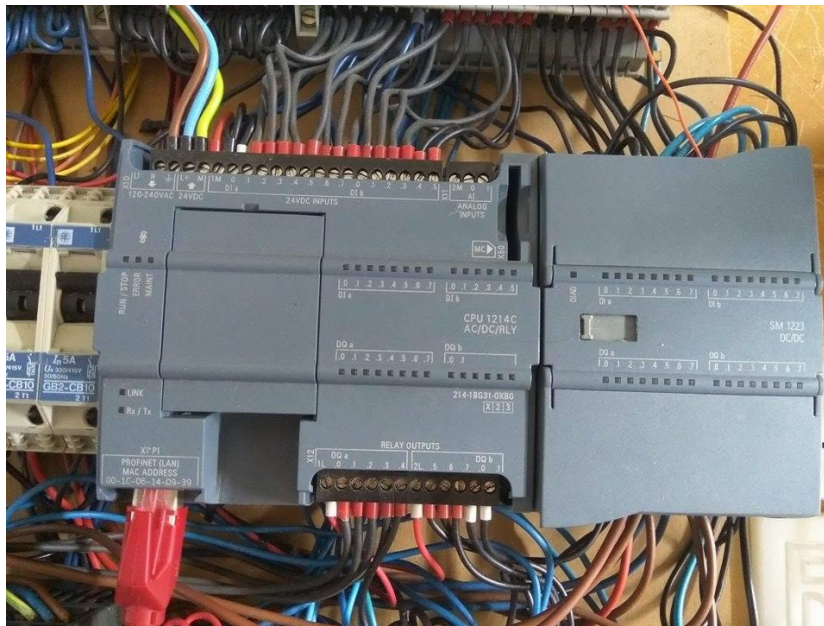


Figura 3-19: PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1214C AC/DC/Rly.

### 3.7 Microcontrolador, Servidor web – Raspberry Pi

Para desempenhar as funções de um servidor *web*, interface entre página *web* e controlador do robô, FTP *server* e interface entre página *web* e o PLC gestor da CFF foi utilizado o microcomputador Raspberry Pi 2, demonstrado na Figura 3-20. Desenvolvido pela Fundação Raspberry Pi com o intuito de levar um computador de baixo custo, *open source*, às mãos de qualquer pessoa, em qualquer parte do mundo, dando-lhes a possibilidade de aprenderem a programar e de desenvolver projetos para elas e para a comunidade.

Este microcomputador está equipado com um processador ARMv7Quad Core com uma velocidade de processamento de 900 MHz, 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*, 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*).

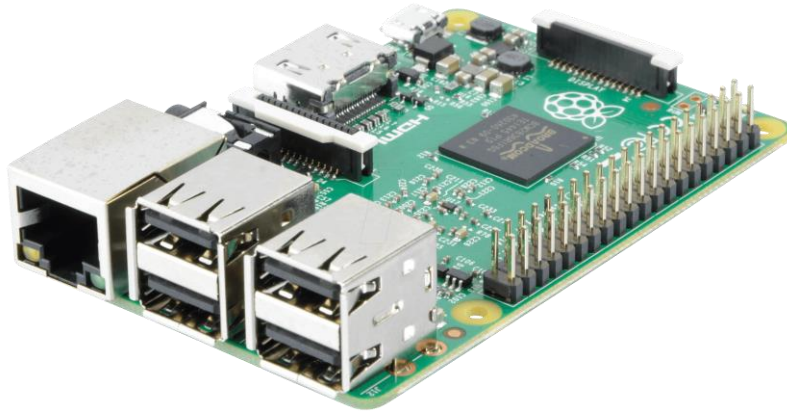


Figura 3-20: Raspberry Pi 2.

No caso em estudo, o Raspberry está ligado via *Ethernet* à mesma LAN que o PLC e os controladores dos robôs através de um *switch* D-Link, montado no laboratório e mostrado na Figura 3-21. Desta forma, o Raspberry Pi consegue fazer o *download* de ficheiros \*.txt armazenados no disco interno dos controladores e consegue ler e alterar o estado das alocações de memória, entradas e saídas do PLC gestor da CFF.

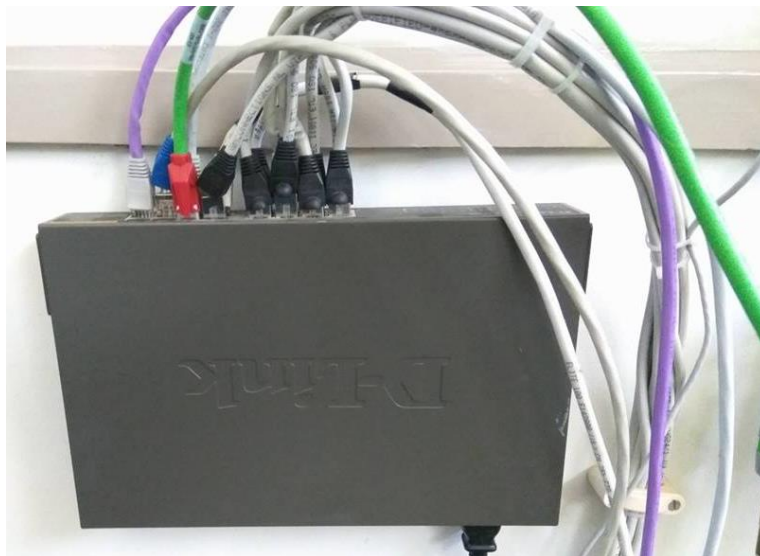


Figura 3-21: Switch D-Link.

De forma a ser possível aos dispositivos móveis, como é o caso dos *smartphones*, aceder à página *web* foi instalado um *router* da marca TP-LINK modelo WR-841N, representado na Figura 3-22, que está também ligado ao *switch* e que disponibiliza uma rede *WI-FI* com o *SSID* CFF-IPV à qual qualquer dispositivo com capacidade de se ligar a uma rede *wireless* pode fazê-lo e aceder à página *web* fornecida pelo Raspberry Pi.



Figura 3-22: Router TP-Link 840N.

Uma vez que um dos objetivos da página *web* é ver em tempo real o setor do armazém da CFF, foi instalada uma *webcam* HP HD 2300, no laboratório como é possível ver na Figura 3-23, que se encontra ligada via USB ao Raspberry Pi.



Figura 3-23: Webcam HP HD 2300.

### **3.8 Sistema de controlo e alerta remoto**

O sistema de controlo e sinalização remoto, via página web, apresenta as mesmas funcionalidades do sistema de controlo e sinalização local. Significa isto que a partir deste sistema, acedendo-lhe via *smartphone* ou computador, é possível enviar os mesmos comandos que são possíveis enviar com a botoneira do sistema de controlo local.

O sistema de alerta é replicado através de um sistema de SMS e correios eletrónicos (*e-mails*) que são acionados sempre que existe a invasão do volume de trabalho do robô manipulador do setor do armazém. O conteúdo da SMS é explícito e informa que o alarme foi ativado. No caso dos correios eletrónicos, estes são mais detalhados e são enviados com mais frequência, são enviados para informam que o alarme foi ativado e para informam quando o mesmo é repostado e se encontra pronto a funcionar. Na página *web* é criado um histórico de todos alarmes ocorridos, o operador tem ainda a opção de receber todo esse histórico na sua caixa de correio eletrónico.

Para enviar SMS foi criada uma conta no site “textlocal” com o endereço de correio eletrónico “raspberrypipv@gmail.com”. Este site disponibiliza um serviço de mensagens de texto enviadas via um servidor de Internet associado à conta do próprio utilizador e onde o remetente do SMS foi denominado de CFF.

## 4. Proposta de Solução

Neste capítulo são apresentadas as soluções desenvolvidas para resolver os problemas propostos para esta dissertação. São apresentados todos os algoritmos para cada um dos elementos constituintes deste projeto: robô IRB 1400, PLC gestor da CFF e *Raspberry Pi*, desenvolvidos no sentido de obter uma aplicação global de fácil utilização e percepção. Na Figura 4-1 mostra-se a interligação entre estes elementos através de um fluxograma.

As conexões entre o *Raspberry Pi*, o robô manipulador e o PLC gestor da CFF são baseadas na rede LAN, criada no *switch* D-Link, já referido anteriormente, via Ethernet. As restantes conexões entre o controlador do robô, o PLC e o transportador são feitas com base em sinais digitais I/O, onde o PLC assume um papel de *master* do sistema.

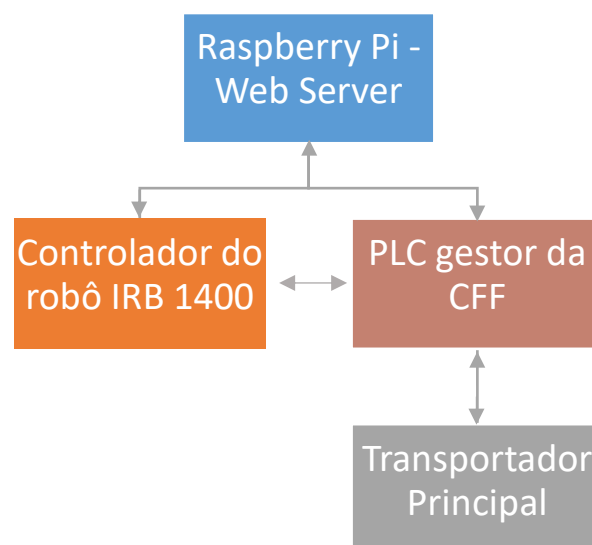


Figura 4-1: Comunicação entre os diversos elementos da CFF.

#### 4- Proposta de solução

---

Para designar uma determinada tarefa para o robô, é ativado um *bit* no PLC que por sua vez ativa uma saída do mesmo que está diretamente ligada, via cablagem, a uma entrada específica do controlador do robô.

O programa que está a ser executado pelo robô está preparado para, ao receber estes sinais, interpretá-los como interrupções que fazem executar determinadas rotinas ou programas em função dos sinais recebidos. Desta forma, é possível executar tarefas diferentes com o mesmo programa, variando apenas o sinal recebido no controlador. A programação do PLC é feita através da linguagem de contactos (Ladder).

Ao todo foram produzidos dois programas para o robô do sector do armazém, desenvolvidos a partir da linguagem de programação “*RAPID*” da *ABB*. O programa que desempenha as tarefas relativas ao inventário, gestão e carregamento das paletes é o programa principal denominado por “*Armazém.prg*”.

O segundo programa denominado de “*ProgAlarme.prg*” tem com objetivo garantir a segurança dos operadores da CFF, funcionando em simultâneo com o programa principal, em modo *multitask* e garante que sempre que alguém invade o volume de trabalho do robô, este pare e o alarme seja acionado.

O outro elemento da CFF, o transportador, é controlado e monitorizado apenas pelo PLC gestor da CFF. Os sensores indutivos encontram-se ligados às entradas do PLC e os *stoppers*, encontram-se ligados às saídas. Deste modo o transportador torna-se um *slave* do PLC.

A página *web* alojada no *Raspberry Pi* é responsável por permitir a monitorização da CFF em tempo real, apresentar os inventários de cada um dos armários presentes no setor do armazém, apresentar o histórico dos avisos e apresentar o histórico dos alarmes. O servidor acede ao controlador do robô, através de diversos *scripts python*, onde estão disponíveis os ficheiros \*.txt com os inventários e históricos. Copia-os para o seu próprio disco e disponibiliza a sua apresentação ao operador através da página *web*.

Outra funcionalidade criada foi o envio de comandos remotos. Estes são enviados através de botões na página *web* associados a *scripts python* que, ao serem executados fazem a ligação entre o servidor e o PLC, permitindo alterar o estado de *bits* do autómato e por sua vez no controlador do robô. Além desta interface o servidor é ainda dotado da capacidade de envio de correios eletrónicos e SMS que servem para informar e alertar o operador da CFF em determinadas situações.

## 4.1 Interface Robótica

A interação de diversos equipamentos numa CFF gera a necessária comunicação entre eles para que o sistema num todo, tenha uma noção real do ambiente em que está inserido bem como do que se está a passar em tempo real. Desta forma, torna-se mandatário a existência de uma interface, de um ou de vários tipos, capaz de estabelecer um ligação fiável e eficaz entre todos os elementos.

Nas tabelas 4-1 e 4-2, são apresentadas e descritas, respetivamente, as entradas e saídas do controlador do robô IRB 1400 que constituem a interface robótica de comunicação entre este e o PLC.

Na tabela 4-3 são apresentados os bits que complementam partes do algoritmo desenvolvido para o PLC e que fazem parte da interface entre o autómato e o *Raspberry Pi*.

Saídas do PLC	Entrada no Controlador do IRB 1400	Descrição
Q0.0	-	Stopper Setor de Fabrico
Q0.1	-	Stopper Setor do Armazém
Q0.2	-	Stopper entre o setor do Armazém e o de Fabrico
Q0.3	-	Stopper entre o setor de Fabrico e o do Armazém
Q0.4	DI10_12	Carrega Palete MP Torno
Q0.5	DI10_13	Carrega Palete MP 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

Tabela 4-1: Interface robótica: Entradas controlador IRB 1400 - Saídas PLC.

<b>Entradas do PLC</b>	<b>Saídas no Controlador do IRB 1400</b>	<b>Descrição</b>
<b>I0.0</b>	-	Sensor Indutivo 1 do setor do armazém
<b>I0.1</b>	-	Sensor Indutivo 2 do setor do armazém
<b>I0.2</b>	-	Sensor Indutivo 3 do setor do armazém
<b>I0.3</b>	-	Sensor Indutivo 4 do setor do armazém
<b>I1.0</b>	DO10_9	Paleta MP Torno Carregada
<b>I1.1</b>	DO10_10	Paleta MP Fresa Carregada
<b>I1.2</b>	-	Paleta MP Torno Descarregada
<b>I1.3</b>	-	Paleta MP Fresa Descarregada
-	DO10_2	Baliza verde
<b>I9.1</b>	DO10_3	Baliza vermelha e sirene
-	DO10_1Pinca	<i>Close/Open Gripper</i>

Tabela 4-2: Interface robótica: Saídas controlador IRB 1400 - Entradas PLC.

<b>Bits PLC</b>	<b>Descrição</b>
<b>M0.0</b>	Paleta MP Fresa Carregada
<b>M0.1</b>	Botão de pressão “Start” foi pressionado no local
<b>M0.2</b>	Bit do primeiro ciclo
<b>M0.3</b>	Paleta MP Torno Carregada
<b>M0.4</b>	Bit Alarme Ativado
<b>M0.5</b>	Botão de pressão “Stop”
<b>M0.6</b>	Botão de pressão “Start”
<b>M0.7</b>	Botão de pressão “Repor”
<b>M1.4</b>	Paleta MP Torno
<b>M1.5</b>	Paleta MP Fresa

Tabela 4-3: Interface Ethernet PLC - *Raspberry Pi*.

## **4.2 Setor do Armazém**

A principal função do setor do armazém é carregar a paleta da matéria-prima do torno CNC e a paleta da matéria-prima da fresadora CNC. Contudo, um dos objetivos principais desta dissertação é utilizar o tempo em que o robô não está a executar a tarefa principal para executar outras tarefas, nomeadamente arrumar peças em posições de mais fácil acesso, para melhorar a gestão e organização do setor sem comprometer a tarefa principal.

A forma mais eficaz de agilizar o processo é dar a conhecer ao robô as posições exatas onde existem peças para satisfazer o pedido de palatização. Desta forma, não é despendido tempo à procura de peças. Para tal foi elaborado um algoritmo que segue a lógica demonstrada na figura que se segue e que pretende ilustrar a lógica seguida para desenvolver as rotinas executadas enquanto o robô não está a executar a sua tarefa principal.

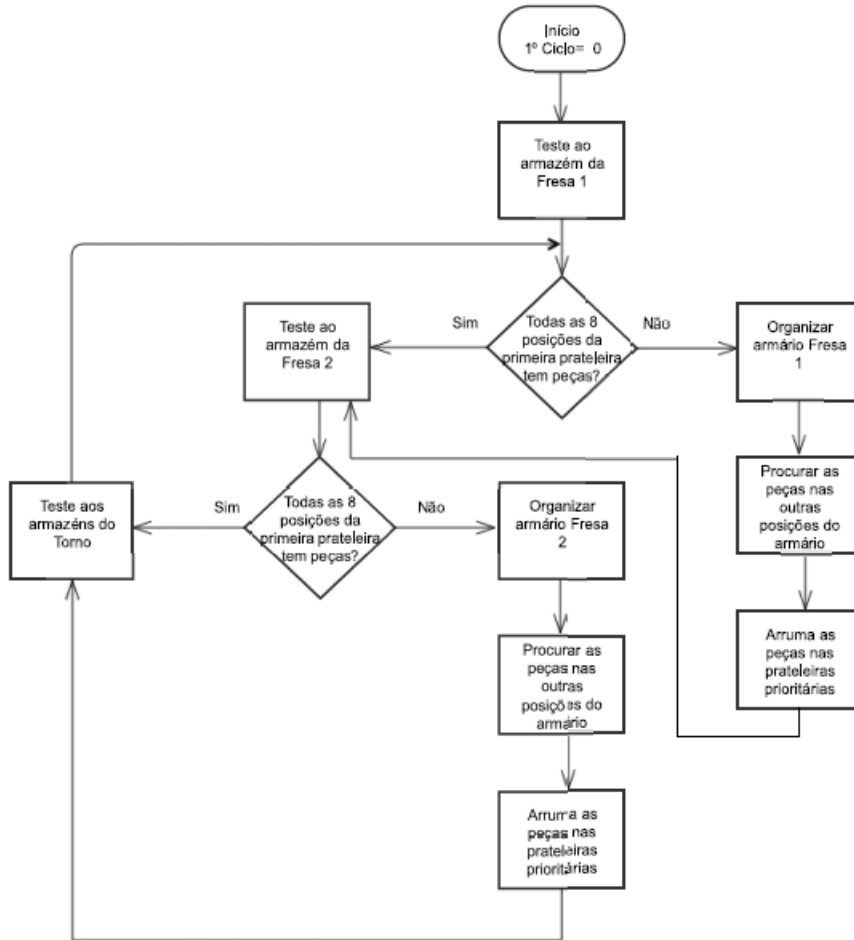


Figura 4-2: Fluxograma base do programa principal.

O setor do armazém está separado em duas partes, sendo que cada uma das partes tem dois armários para armazenar as peças. Uma das partes tem as peças para serem trabalhadas na fresadora CNC e a outra parte armazena peças para serem trabalhadas no torno CNC. Pela Figura 4-2 é possível perceber que o que se pretende é que, em cada armário, haja sempre peças na primeira prateleira, para que a tarefa principal seja mais rápida. O fluxograma em causa está apenas a referir o processo para os armários da fresadora. Contudo, o processo para os armários do torno é exatamente o mesmo e será abordado mais à frente, de forma a explicar algumas particularidades.

## 4.2.1 Variáveis e reconhecimento do inventário

Sempre que o programa do robô é executado pela primeira vez, as variáveis responsáveis por representar todas as posições dos armários são colocadas a 0. Estas variáveis, do tipo *array*, representadas na Figura 4-3, são coladas a 1 ou deixadas a 0 em função da rotina “rTesteF” e “rTesteT”, para os armários da fresadora e para os armários do torno, respectivamente.

```
VAR num nArmTorno11{8};
VAR num nArmTorno12{8};
VAR num nArmTorno13{8};
VAR num nArmTorno14{8};
VAR num nArmTorno21{8};
VAR num nArmTorno22{8};
VAR num nArmTorno23{8};
VAR num nArmTorno24{8};
VAR num nArmFresa11{8};
VAR num nArmFresa12{8};
VAR num nArmFresa13{8};
VAR num nArmFresa14{8};
VAR num nArmFresa21{8};
VAR num nArmFresa22{8};
VAR num nArmFresa23{8};
VAR num nArmFresa24{8};
```

Figura 4-3: Variáveis representativas das posições dos armários.

Cada uma das variáveis representadas na última figura é um *array* constituído por 8 elementos que representam as 8 posições de cada uma das prateleiras dos armários. As variáveis “nArmTorno11”, “nArmTorno12”, “nArmTorno13” e “nArmTorno14” representam as 4 prateleiras do armário 1 do torno. Foi usada a mesma nomenclatura para os restantes armários, como é possível ver na mesma Figura.

Abordando primeiro os armários da fresadora, a rotina “rTesteF”, conduz a ferramenta de trabalho até à primeira prateleira do armário 1 da fresadora percorrendo as 8 posições, abrindo e fechando o *grripper*, de forma a obter a combinação de sinais provenientes dos sensores indutivos (ver Tabela 4-4), o que permite saber se em cada uma das posições existe alguma peça.

Estado da Posição	Combinação
Com Peça	DI10_10PincaDesp = 0 e DI10_11PincaAper = 1
Sem Peça	DI10_10PincaDesp = 0 e DI10_11PincaAper = 0

Tabela 4-4: Combinação dos sensores indutivos

#### 4- Proposta de solução

---

Após feito o teste à primeira prateleira, é criado um ficheiro, na raiz do disco interno do controlador do robô, com o nome “ArmFresa.txt”, “ArmTorno.txt” no caso dos armários do torno, contendo a informação do estado das 8 posições do armário, como é possível ver na Figura 4-4.

ARMAZEM F1	COLUNA-1	COLUNA-2	COLUNA-3	COLUNA-4	COLUNA-5	COLUNA-6	COLUNA-7	COLUNA-8
FILA 1	S/Pecas	S/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas
FILA 2	0	0	0	0	0	0	0	0
FILA 3	0	0	0	0	0	0	0	0
FILA 4	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4-4: Inventário à primeira prateleira do armário da fresadora.

Através da leitura do ficheiro, o operador sabe que no armário 1 da fresadora, as posições 1 e 2 não têm peças e as restantes têm pelo menos uma peça.

Em seguida é feita a leitura do *array*, pelo controlador do robô, através do algoritmo representado na Figura 4-5. Com a informação obtida pela leitura é executada a próxima rotina, como é possível ver na Figura 4-6.

```
FOR i FROM 1 TO 8 DO
    WHILE nArmFresall{i}=0 AND ReporpecasFl=0
        Est_ArrumaFl:=0;
        rArrumaFl;
    ENDWHILE
```

Figura 4-5: Leitura e análise do *array* referente á primeira prateleira do armário da fresadora.

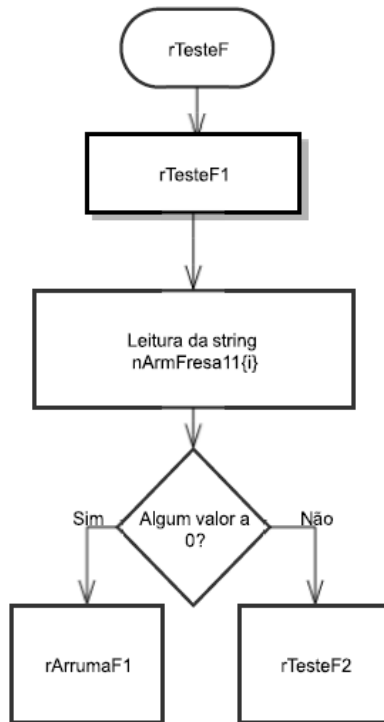


Figura 4-6: Fluxograma do algoritmo após leitura do *array*.

Como é perceptível pela figura, no caso de haver alguma posição sem peças é chamada a rotina “rArrumaF1” e no caso de haver peças em todas as posições, o manipulador segue para o armário 2 da fresadora e executa o teste ao mesmo, tal como fez ao armário 1.

### 4.3 Carregar Paletes com matéria-prima

O carregamento de paletes com a matéria-prima do torno e da fresadora pode ocorrer em qualquer momento de utilização do sistema. Apesar de o comportamento do sistema ser diferente em função da altura em que a interrupção é iniciada. A Figura 4-7 procura mostrar as variantes existentes na tarefa de carregar as paletes em função da altura em que ocorre a interrupção.

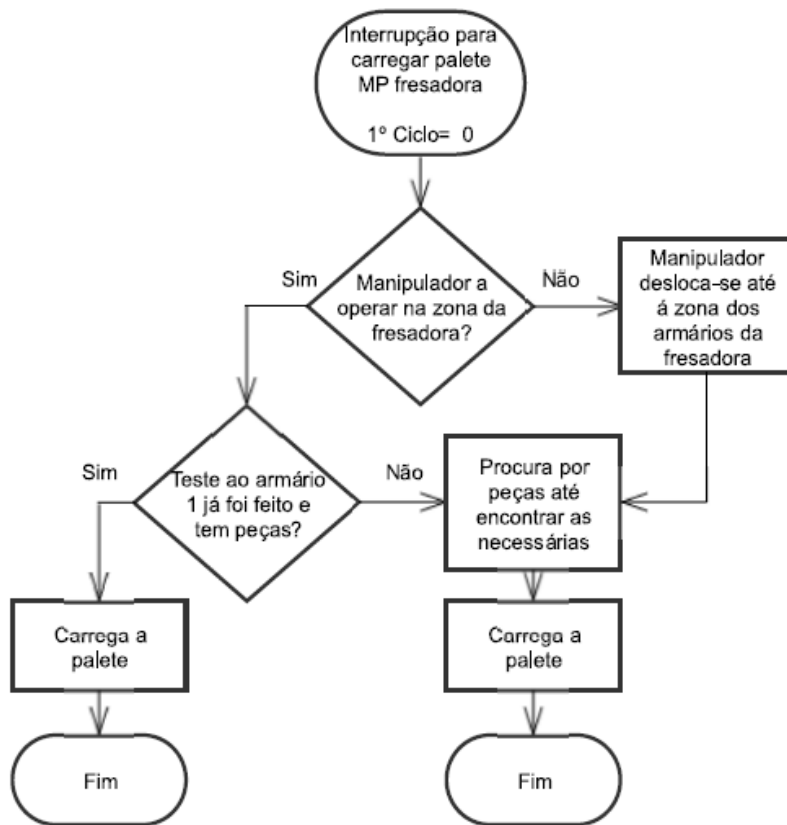


Figura 4-7: Fluxograma base do algoritmo para carregar as paletes.

Através da Figura 4-7 é possível perceber que, ao ser acionado uma interrupção para carregar a paleta, a principal preocupação passa, não só por saber qual é a paleta a ser carregada, como também por conhecer a localização da ferramenta de trabalho. No caso de o robô estar a operar no local oposto aquele onde se encontram as peças necessárias para satisfazer o pedido é necessário abandonar essa zona e deslocar-se até à zona onde estão as peças requeridas.

Seguidamente a situação resume-se a saber se o teste aos armários com as peças em causa já foi feito ou não. No caso de o teste já ter sido executado, as peças necessárias para satisfazer o pedido serão retiradas das posições onde o robô sabe que têm peças, o valor do *array* para uma dada posição é 1. Até completar a paleta, com quatro peças, o robô irá atualizar o *array* da posição à medida que vai retirando as peças.

Em situações onde o teste ainda não ocorreu, o robô recorre à rotina “rDetectaPecaF” que percorre todas as posições prioritárias dos armários e, em caso de não encontrar peças inicia uma busca em todas as posições do armário na tentativa de encontrar quatro peças para carregar a paleta.

Em caso de não existirem peças para satisfazer o pedido, o robô passará essa informação ao operador, como será explicado mais à frente e retomará à rotina que estava a executar antes da interrupção.

## 4- Proposta de solução

---

Esta lógica foi aplicada a todos os armários do setor do armazém, o que permite poupar tempo seja qual for a situação em que o robô se encontra. Por exemplo, se ele se encontrar a arrumar peças no armário 2 do torno e surgir uma interrupção para carregar uma paleta com matéria-prima do torno, o manipulador vai suspender a arrumação do armário, vai retirar uma peça, se existir, da prateleira prioritária do armário onde está a operar, vai colocar essa peça na paleta, e em seguida, se houver informação de que existem peças na fila prioritária do armário 1 do torno, será daí que as peças que faltam para carregar a paleta são retiradas, caso isto não se verifique, o robô volta para o armário 2 e retira de lá as peças até satisfazer o pedido. O objetivo é garantir sempre, que o pedido é satisfeito e que é feito da maneira mais rápida possível, sempre.

### **4.4 Arrumação dos Armários**

A arrumação dos armários era um dos focos principais desta dissertação e como já foi sendo explicado ao longo do trabalho, o objetivo é que a primeira prateleira de cada um dos armários da CFF esteja sempre com peças e, se possível, que cada posição da prateleira esteja preenchida com quatro peças. Desta forma a tarefa principal torna-se mais rápida e eficiente.

#### **4.4.1 Armários Fresadora**

A rotina “rArrumaF1” foi elaborada com base na Figura 4-8 e foi desenvolvida com o intuito de alcançar um dos objetivos da dissertação.

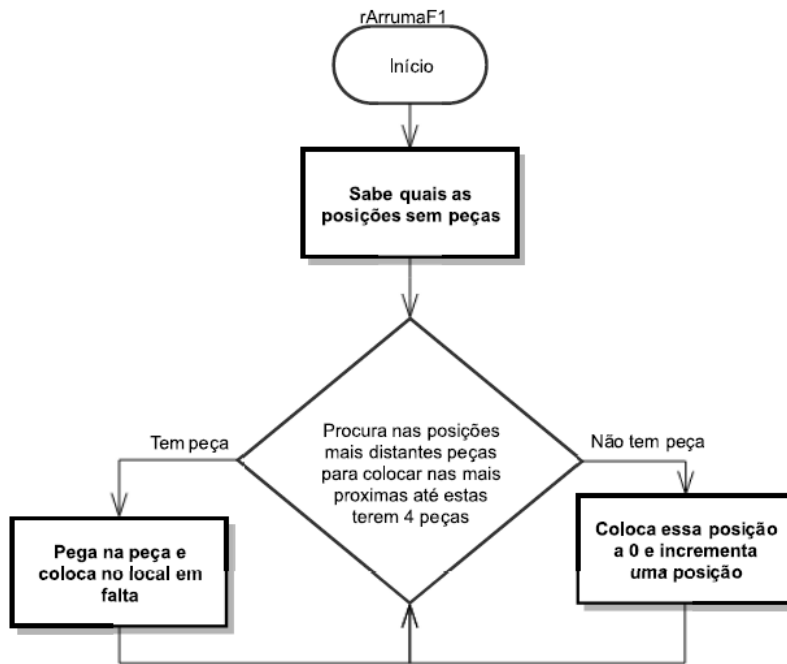


Figura 4-8: Fluxograma base da rotina para arrumar os armários.

O presente fluxograma mostra que a rotina ao ser executada comanda o manipulador a procurar por peças em posições mais distantes do armário. No caso dos armários da fresadora, as posições consideradas como mais distantes são as representadas na Figura 4-9. Quando a ferramenta de trabalho alcança esta posição é feito o teste à posição, verificando se existe peça ou não, através da combinação dos sinais dos sensores indutivos já referida anteriormente.

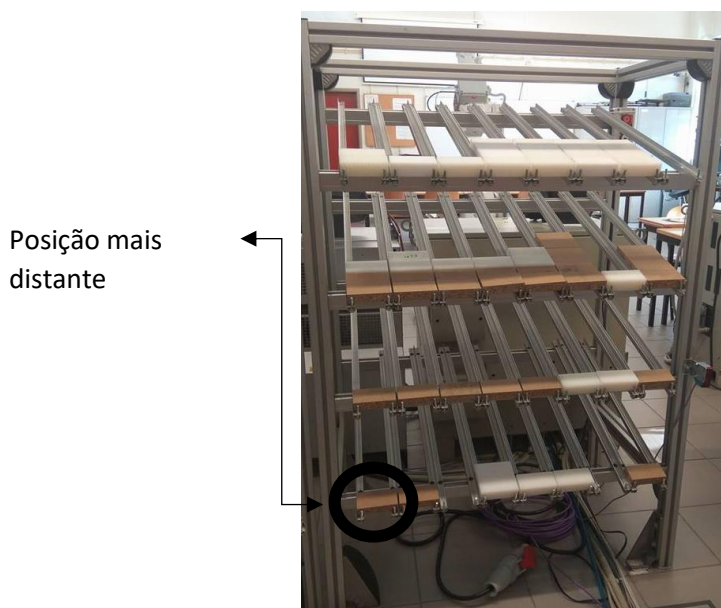


Figura 4-9: Posição mais distante nos armários da fresadora.

#### 4- Proposta de solução

---

No caso de não existir nenhuma peça nessa posição, o valor do *array* que representa a posição da fila em causa é colocado a 0 e é incrementada na variável “nColunasFresaF1”, para que o manipulador se desloque no sentido de alcançar a posição seguinte na prateleira, onde repetirá o processo anterior. Quando o teste resulta num valor positivo, ou seja, é encontrada uma peça, ela é retirada do local onde se encontra para a posição em falta na prateleira prioritária, até nela se encontrarem 4 peças.

A arrumação das peças no local prioritário é feita sempre da mesma forma, independente da quantidade de peças que estejam no local. A sequência de imagens que se segue pretende ilustrar a forma como são colocadas as peças.



Figura 4-10: Posicionamento da peça MP-Fresadora.

O robô coloca a peça alinhada com o local onde a irá deixar, como é possível ver na Figura 4-10, e em seguida, desloca-se no sentido do armário para que a peça que transporta na ferramenta de trabalho desloque as peças que possam estar já na posição prioritária, como é possível pela Figura 4-11.



Figura 4-11: Peça transportada desloca as seguintes.

Ao deslocar as peças suficientemente para trás é criado o espaço para colocar a nova peça no local, como mostra a Figura 4-12.



Figura 4-12: Peça na posição correta.

A rotina “rArrumaF1” é repetida até que em todas as posições da prateleira prioritária, que estavam vazias no primeiro ciclo, estejam preenchidas com 4 peças de matéria-prima para a Fresadora.

À medida que as peças vão sendo retiradas do setor do armazém para as paletes, pelo robô, este irá procurar por peças para preencher as posições prioritárias sem peças e também as posições com um número de peças inferior a 4.

Ainda dentro da lógica desta rotina, o objetivo de criar um algoritmo eficiente foi posto em prática através da combinação da leitura dos *arrays* com a variável “nColunasFresaF1”.

## 4- Proposta de solução

---

Combinado estas duas variáveis foi possível desenvolver um mecanismo que permite não gastar tempo a percorrer novamente posições que já tenham sido percorridas, isto é: sempre que o robô faz o teste a uma posição e esta não tem peças, ela não volta a ser testada até o manipulador receber a informação de que as peças foram repostas. Esta informação é dada através do comando “Repor” que será explicado mais adiante.

### 4.4.2 Armários Torno

O mecanismo para arrumar os armários do torno é o mesmo que o utilizado para arrumar os armários da fresadora, já explicado anteriormente. Contudo, a forma como o manipulador coloca as peças nas posições é diferente e as rotinas responsáveis por arrumar estes armários são a “rArrumaT1” e “rArrumaT2”, para o armário 1 e para o armário 2, respectivamente. Na Figura 4-13 é ilustrada a posição considerada mais distante nos armários do torno e a forma como o robô coloca as peças nas posições prioritárias da primeira fila dos armários.



Figura 4-13: Posição mais distante nos armários do torno.

#### 4- Proposta de solução

---

Mais uma vez, o robô começa por colocar a peça em frente à posição onde a irá colocar. No entanto, devido à geometria das peças representativas da matéria-prima para o torno CNC, a peça é posicionada de lado como é possível ver na Figura 4-14.



Figura 4-14: Posicionamento da peça MP-Torno.

Seguidamente o robô desloca-se no sentido do armário para que a peça que transporta na ferramenta de trabalho desloque as peças que possam estar já no local, como é possível perceber pela Figura 4-15.



Figura 4-15: Peça transportada desloca as seguintes.

Ao deslocar-se o suficiente no sentido do armário é criado espaço para rodar a ferramenta de trabalho, até a peça que transporta ficar centrada na posição. Posteriormente, a peça é baixada e é aberto o *grripper* deixando a peça na posição prioritária como mostra a Figura 4-16.

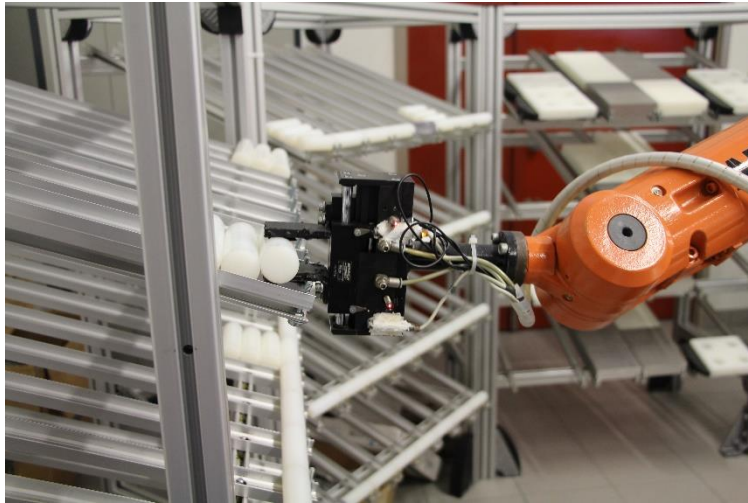


Figura 4-16: Peça na posição correta.

De forma a tornar o programa principal mais eficiente e facilitar a replicação de algumas funções entre os vários armários, foram utilizados *work object data* - *wobjdata*. Os *wobjdata* são utilizados para descrever a ferramenta de trabalho utilizada pelo robô. Como no caso em questão a ferramenta de trabalho é sempre a mesma, referida no subcapítulo 3.3, o objetivo da utilização dos *wobjdata* é definir quatro sistemas de coordenadas, um para cada armários. Esta opção de programação permite a reutilização de rotinas, fazendo pequenas alterações nas mesmas e permite reduzir o tempo que se despende ao marcar todos os pontos manualmente uma vez que, com este método é apenas alterado o sistema de coordenadas, basta apenas marcar os pontos principais pois os *offsets* vão manter-se.

### 4.5 Falta de peças nos armários

Após carregar várias paletes com matéria-prima para ser trabalhada nas máquinas CNC e após retirar peças dos locais mais distantes para as prateleiras prioritárias, acabaram por faltar peças para terminar os processos de arrumação e de palatização.

De forma a resolver esta situação foram criados mecanismos utilizando as rotinas “rCarregaMPF”, “rCarregaF”, “PecasTrueF1”, “PecasTrueF2”, “rPegaPecaF” “rDetectaPecaF”, para os armários da fresadora e as “rCarregaMPT”, “rCarregaT”, “PecasTrueT1”, “PecasTrueT2”, “rPegaPecaT” “rDetectaPecaT” para os armários do torno, que contornam o problema para que a tarefa principal seja a menos comprometida possível. A Figura 4-17 pretende elucidar todo o processo lógico utilizado.

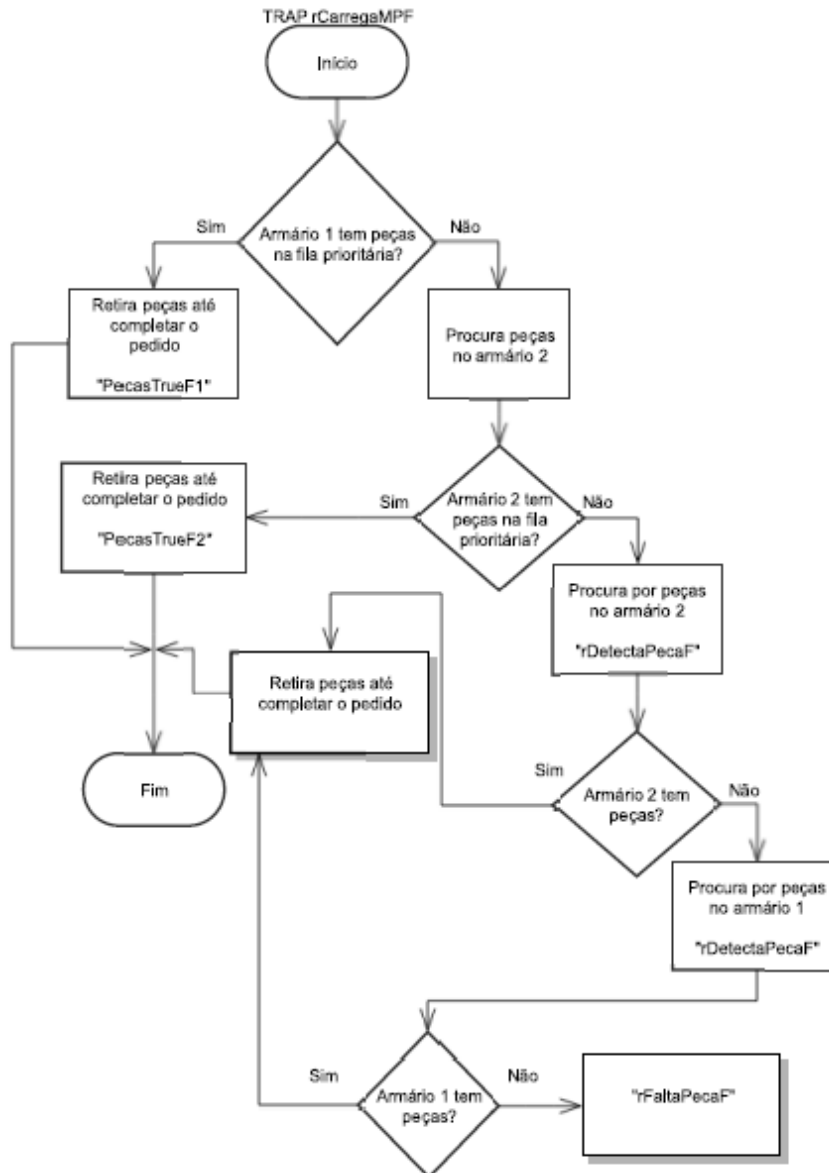


Figura 4-17: Fluxograma representativo da lógica associada à falta de peças.

Sempre que são necessárias peças para carregar as paletes, a prioridade é o armário com as peças corretas mais próximo do manipulador. Caso esta premissa não se verifique resta retirar peças da prateleira prioritário do outro armário com o mesmo tipo de peças. Contudo, pode acontecer que este último também não tenha peças na prateleira prioritária. Em seguida são procuradas as peças nas restantes posições dos armário na tentativa de satisfazer o pedido.

Na situação destas premissas se esgotarem e o pedido de carregamento não estar concluído então é ativada a rotina “rFaltaPecaF” ou “rFaltaPecaT” em função das peças requeridas (fresadora ou torto, respetivamente). Estas rotinas fazem acionar o elemento sonoro da baliza de sinalização presente na CFF e alteram a luz de sinalização desta baliza de verde para vermelho, através da mudança de estado do *bit* DO10\_3. Em simultâneo é atualizado o ficheiro com o nome “Alertas.txt” contendo a informação de qual é o armário que se encontra sem peças.

#### 4- Proposta de solução

---

Na Figura 4-18 é possível ver o formato da informação sobre estes alertas apresentados ao utilizador através da página *web*.



Figura 4-18: Histórico dos avisos – repor as peças.

Uma vez acionado este aviso o robô continua a executar tarefas com a exceção daquelas que necessitam das peças que estão em falta. Após o operador repor a matéria-prima, nos armários em falta, tem de premir o botão “Repor” da botoneira do sistema de controlo local ou fazê-lo através da página *web*, como mostrado mais à frente.

Quando é enviada a informação de que as peças foram repostas, o sinal sonoro é desativado, a luz de sinalização retoma a verde e o ficheiro é atualizado de acordo como mostra a Figura 4-19.



Figura 4-19: Histórico dos avisos – peças repostas.

## 4.6 Sistema de emergência e segurança do sector de armazém

O programa “ProgAlarme.prg” tem como função garantir a segurança dos operadores da CFF. É necessário que este programa funcione em simultâneo com o programa principal, por isso foi definido como *multitask* no controlador do robô. A definição de *multitask* dá prioridade a este programa sobre o principal, ou seja, neste caso o programa “ProgAlarme.prg” tem prioridade sobre o programa “Armazem.prg”.

Na Figura 4-20 é apresentado o fluxograma do programa “ProgAlarme.prg”. Como se pode verificar, quando o programa é iniciado verifica se algum dos sensores óticos foi ativado, através dos *bits* DI10\_1 e DI10\_2 aos quais os sensores estão associados. Estes sensores são monitorizados permanentemente e são responsáveis pela deteção de invasões no sector de armazém. A ocorrência deste alarme significa que o volume de trabalho do robô foi invadido, conduzindo à paragem do movimento do manipulador, através da instrução “StopMove”. Consequentemente, o alarme luminoso e sonoro da baliza de sinalização é ativado, no ecrã da consola é escrita uma mensagem a informar que o alarme foi ativado, como mostra a Figura 4-21. De seguida, é enviado um correio eletrónico e um SMS para o operador informando que o alarme da CFF foi acionado, e por fim é registado no ficheiro “Alarmes.txt” a informação de que o alarme foi ativado, com indicações de data, horas e o sensor que foi ativado, como é possível ver na Figura 4-22. Mais à frente este tema será abordado novamente.

#### 4- Proposta de solução

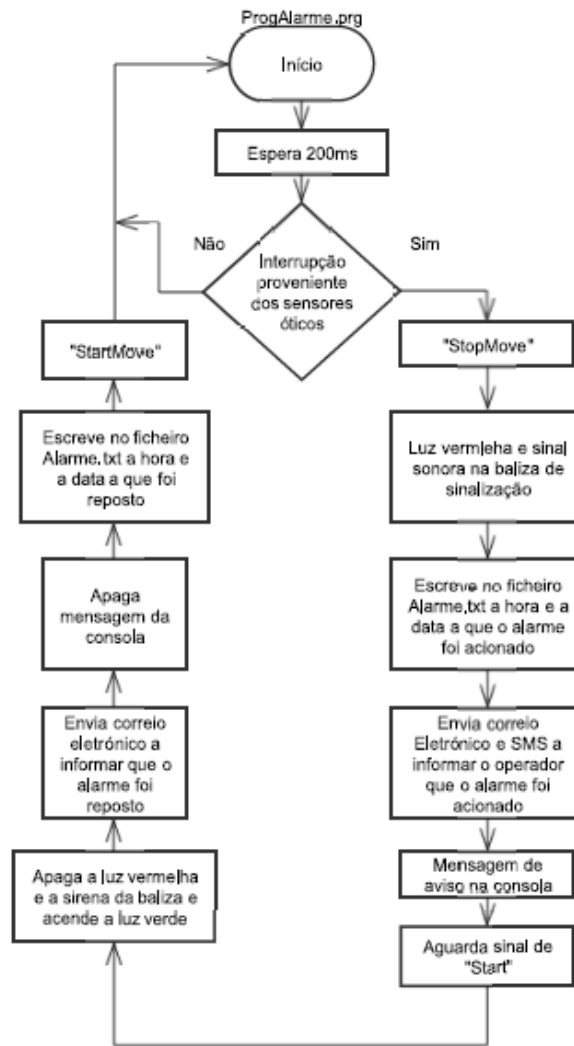


Figura 4-20: Fluxograma representativo do sistema de alarme da CFF.

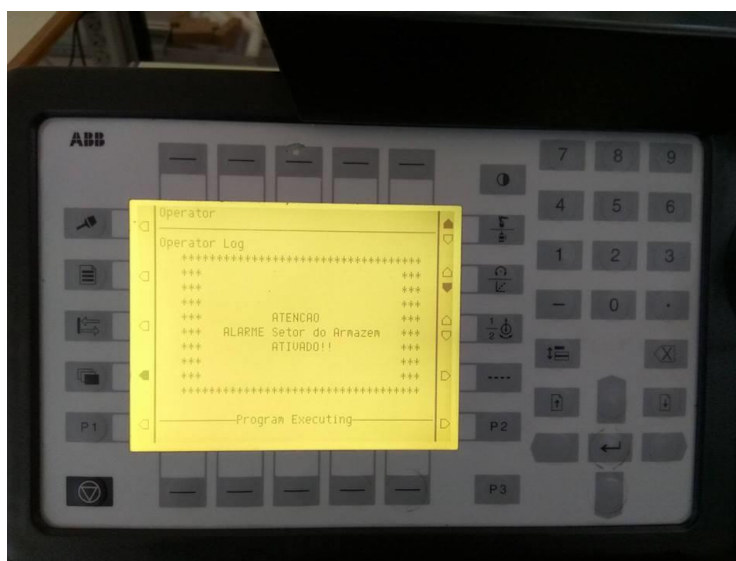


Figura 4-21: Mensagem na HMI de aviso de alarme acionado.

#### 4- Proposta de solução

---

Para continuar a executar as tarefas relativas ao sector de armazém é necessário que o operador pressione o botão “Start” que se encontra na unidade de controlo local do sector de armazém ou utilize o botão de “Start” que se encontra no separador “Comandos” da página *web*.

Antes de ser pressionado o botão “Start”, o operador deve verificar se existem equipamentos ou pessoas dentro da zona de operação do robô. Quando este botão é pressionado o alarme luminoso e sonoro é desativado e a luz verde da baliza é novamente ativada, indicando o correto funcionamento do sector.

É enviado um *e-mail* a informar que o alarme já foi reposto e é registado no ficheiro “Alarmes.txt” essa informação com a indicação da data e horas a que isso aconteceu, como mostra a Figura 4-22. Através da instrução “StartMove” o movimento do robô é retomado a partir do ponto onde ficou imobilizado.

NUMERO	DATA	HORA	SENSOR
1	2017-07-10	16:23:08	1

\*\*\*\*\*  
Alarme 1 reposto as 16:23:30 a 2017-07-10  
\*\*\*\*\*

Figura 4-22: Histórico dos alarmes.

### 4.7 Relação entre PLC gestor da CFF e Sector de armazém

Relativamente ao sector de armazém, o PLC gestor da CFF tem como função designar as tarefas principais que são aqui executadas, em função da informação disponibilizada pelo transportador, pelos sensores indutivos e pelo sector de armazém. Outro facto determinante na designação de uma tarefa é o estado das paletes que transportam as matérias-primas por toda a CFF. O PLC é responsável pelas seguintes tarefas no sector de armazém: carregar a paleta MP Torno; carregar a paleta MP Fresa; descarregar a paleta PA Torno e descarregar a paleta PA Fresa. O carregamento de uma paleta MP Fresadora só é ativado pelo PLC quando é detetada

#### 4- Proposta de solução

uma paleta MP Fresadora vazia e o respectivo armazém possuir a matéria-prima solicitada. De seguida, se não se verificar a ordem de paragem pelo alarme, o PLC ordena a ativação do *stopper*, e por sua vez, ativa a saída Q0.4, que é vista como uma interrupção pelo controlador do robô, responsável por ordenar o carregamento da paleta MP Fresadora.

A função de carregamento das paletes é desativada sempre que faltarem peças para satisfazer o pedido, esta informação é passada através das rotinas “rFaltaPecaF” ou “rFaltaPecaT”, para a matéria-prima da fresadora e para a matéria-prima do torno, respetivamente. Em função das tarefas realizadas são ativadas diferentes entradas no PLC.

Quando é efetuado um carregamento da paleta MP Torno é ativada a entrada I1.0, que significa que foi efetuado o carregamento da paleta MP Torno. No caso da paleta MP Fresa ser carregada é ativada a entrada I1.1. Após as paletes terem sido carregadas, são colocas novamente em circulação, através do abaixamento dos *stoppers* e são ativados os *bits* M0.3 e M0.0, em função da paleta torno e fresadoras respetivamente, que identificam o estado da paleta, cheia (*bit* a 1) ou vazia (*bit* a 0). Na Figura 4-23 é apresentado o fluxograma do algoritmo do autómato que ativa o carregamento das paletes MP Fresadora e MP Torno.

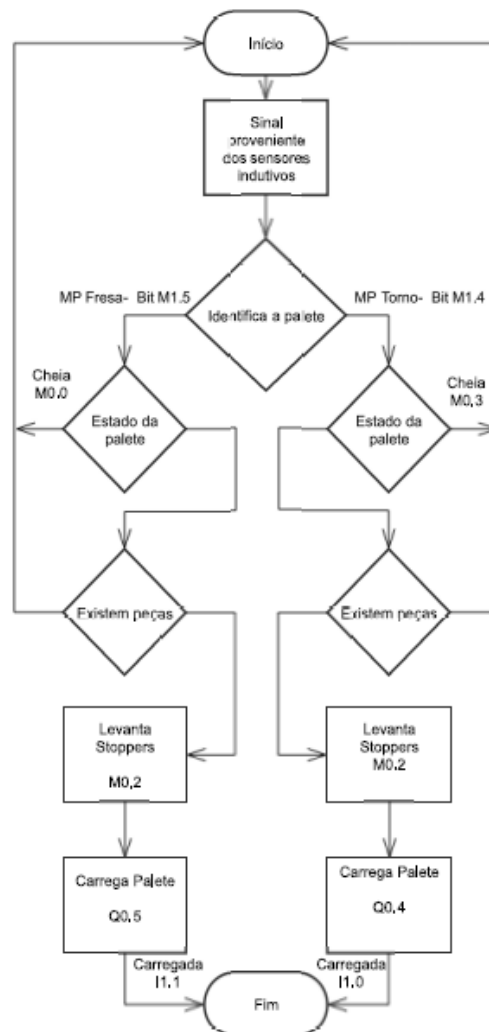


Figura 4-23: Fluxograma representativo da lógica associada à tarefa principal.

### 4.8 Servidor Web

O servidor *web* aloja uma página de internet, onde o operador da célula pode controlar e monitorizar remotamente a CFF. O operador pode através desta página ver em tempo real, consultar os dados do inventário global de todos os armários do setor do armazém, analisar as possíveis falhas e avisos ocorridos em cada sector e enviar comandos remotos. Para além, disso é possível ainda enviar todos estes dados via correio eletrónico para a caixa de entrada do operador. Na ocorrência de um alarme ou de um aviso o operador deve identificar e corrigir a situação anómala, no menor tempo possível, para não afetar a produtividade da célula.

Para tornar o processo de alertas o mais eficiente possível são enviadas SMS e *e-mails*, com a informação da falha ocorrida. Desta forma, o operador não tem de estar a supervisionar permanentemente a página da CFF.

A página *web* foi desenvolvida com o objetivo de ser o mais intuitiva possível, para que o operador possa identificar possíveis anomalias do processo e decidir a operação de controlo mais adequada. A implementação de um sistema de supervisão remoto da CFF, através da instalação de um servidor *motion* no *Raspberry Pi* e uma *webcam*, apresenta uma grande vantagem, dado que o operador não necessita de estar junto à CFF, podendo monitorizá-la remotamente.

Para estabelecer a comunicação entre o *Raspberry* e o PLC foram desenvolvidos vários *script* em *python* que lêem e armazenam o estado lógico dos bits, entradas e saídas e Mx.x, Ix.x e Qx.x. Estes *scripts* fazem uso da biblioteca “snap7” que faz a comunicação com o PLC S7-1200.

O *Raspberry* também comunica com os controladores dos robôs para aceder aos ficheiros “ArmFresa.txt”, “ArmTorno.txt”, “Alarmes.txt”, “Avisos.txt”, que serão apresentados na página da CFF. Mais uma vez, o acesso a estes dados recorre a um *script* em *python* e ao facto de o *Raspberry Pi* e os controladores dos robôs serem *ftp servers*, o que permite a troca de dados entre eles.

Quando a página da CFF é requerida é feito o acesso a um ficheiro HTML, localizado na memória do *Raspberry Pi*. O ficheiro em causa faz uso de um conjunto de comandos característicos de linguagens como PHP, HTML, CSS e um conjunto de *frameworks*, biblioteca de estilos, como *Bootstrap* e *Jquery*. Estas linguagens e ferramentas *web* são ferramentas que permitem desenvolver páginas *web* capazes de alojar *scripts* desenvolvidos em diversas linguagens e que permitem dar à página *web* todas as ferramentas visuais e flexíveis que o utilizador precisa.

Para o operador poder conectar-se ao *Raspberry Pi*, este foi ligado através da porta *Ethernet* ao *switch* D-Link. Com esta ligação e com a designação de um IP fixo, este equipamento passa a

## 4- Proposta de solução

---

fazer parte da rede da CFF, tendo acesso a todos os outros equipamentos ligados ao *switch*. Nesta situação só um operador com acesso à rede local, LAN, é que conseguiria aceder à página *web*. Contudo, e tendo em vista a importância da mobilidade dos operadores, foi instalado um *router wireless*, que se encontra ligado no mesmo *switch* e que disponibiliza uma rede *WI-FI* com o *SSID* “CFF-IPV”. Após o operador se ligar a esta rede e aceder pelo *browser* ao endereço 192.168.1.50, IP do *Raspberry Pi*, vai ter acesso a toda a página *web* e a todas as ferramentas que esta disponibiliza. No caso de o utilizador aceder à página *web* via *smarthphone* ou qualquer outro dispositivo que não um PC, a página que irá aparecer poderá ser ligeiramente diferente da que apareceria num computador isto porque a página foi desenvolvida de forma a ser responsiva. Uma página *web* responsiva adapta-se ao dispositivo que lhe acede, *mobile friendly*.

Sempre que o servidor é iniciado é enviado um correio eletrónico a informar o operador que o sistema se encontra pronto a funcionar, como mostra a Figura 4-24. No caso do correio eletrónico não surgir o operador deverá verificar a sua ligação à internet bem como se todos os elementos da CFF se encontram ligados, PLC e controladores do robô.



Figura 4-24: Correio eletrónico recebido a quando do arranque da CFF.

### 4.8.1 Página Web

A página principal do *website* da CFF encontra-se representada na Figura 4-25. Como é possível verificar, esta disponibiliza um menu lateral, que permitem o acesso às diferentes opções de monitorização e controlo da CFF.



Figura 4-25: Página principal da página *web* da CFF.

Do menu da página *web* da CFF fazem parte:

- “Página Inicial – Stream”: apresenta a *stream* da CFF, em tempo real acompanhada de data e horas, permitindo que o operador monitorize a célula em tempo real;
- “Inventário” subdividido em: “Armazém Fresadora” e “Armazém Torno”: o operador tem acesso a todo o inventário de cada um dos armários constituintes do setor do armazém, separados entre os da matéria-prima para a fresadora e os com a matéria-prima para o torno;
- “Alarmes”: apresenta um histórico de todos os alarmes ocorridos e repostos na CFF;
- “Avisos”: apresenta um histórico de todos os avisos ocorridos e repostos na CFF;
- “Comandos”: apresenta três botões que permitem ao operador enviar três comandos diferentes para o PLC que, por sua vez, chegam ao controlador do robô.

A Figura 4-26 mostra o menu lateral completo e com maior detalhe. É através deste menu que o operador acede aos diferentes conteúdos da página *web*. Após ser selecionado uma das opções deste menu, a cor do separador selecionado muda de preto para vermelho. Na Figura 4-26 encontra-se selecionada a opção “Página Inicial – Stream”.



Figura 4-26: Menu lateral da página *web* da CFF.

### 4.8.2 Menu “Página Inicial – Stream”

A página inicial é a única parte da página onde o operador tem acesso à transmissão em direto da CFF, via *stream*. O posicionamento da câmara permite ao operador ver todo o setor do armazém, incluído a baliza de sinalização e parte do transportador principal. Desta forma, a atuação, no caso da situação de alarme, pode ser ainda mais rápida pois é possível ver com nitidez a luz que se encontra acessa na baliza. Através da *stream* pode ainda monitorizar as paletes que circulam no transportador, possibilitando desta forma ao operador saber o estado delas, como é possível na Figura 4-25.

### 4.8.3 Menu “Inventário”

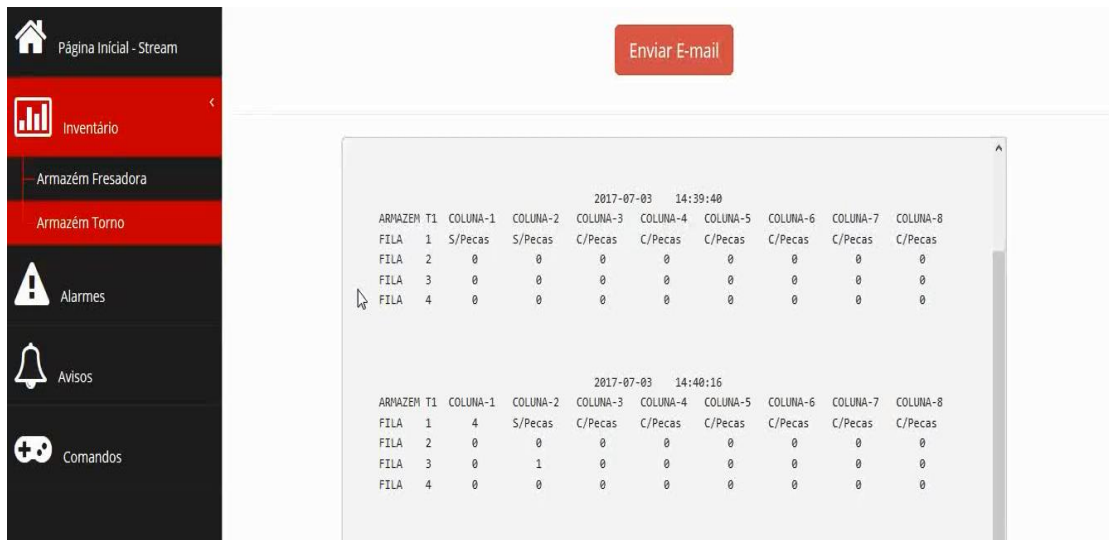
Como já referido anteriormente o menu “Inventário” está dividido em dois outros menus: menu “Armazém Fresadora” e menu “Armazém Torno”.

Quando o operador da CFF solicita a página “Armazém da Fresadora” ou “Armazém Torno” é acionado um *script* em *python* denominado de “GetArmFresa.py” ou “GetArmTorno.py”, respetivamente, que se encontram guardados juntamente com todos os ficheiros relativos a toda a página *web* no cartão de memória do *Raspberry Pi*. Estes *scripts* começam por se ligarem via *ftp* ao controlador do robô IRB 1400, através do endereço 192.168.1.8. Após feita a ligação é

## 4- Proposta de solução

mudada a diretoria, da raiz do disco do controlador até à pasta onde se encontram os ficheiros “ArmFresa.txt” e “ArmTorno.txt”. Uma vez nesta pasta, e em função de qual dos dois *scripts* foi executado, é feito o *download* do ficheiro do controlador do robô para a pasta onde se encontram os *scripts* dentro do *Raspberry Pi*.

Após o ficheiro se encontrar nesta pasta é feita a sua leitura e *display* no menu da página web pretendido. A Figura 4-27 mostra o display do ficheiro “ArmTorno.txt” no respetivo menu “Armazém Torno”, dentro do menu global “Inventário”.



2017-07-03 14:39:40

ARMAZEM T1	COLUNA-1	COLUNA-2	COLUNA-3	COLUNA-4	COLUNA-5	COLUNA-6	COLUNA-7	COLUNA-8
FILA 1	S/Pecas	S/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas
FILA 2	0	0	0	0	0	0	0	0
FILA 3	0	0	0	0	0	0	0	0
FILA 4	0	0	0	0	0	0	0	0

2017-07-03 14:40:16

ARMAZEM T1	COLUNA-1	COLUNA-2	COLUNA-3	COLUNA-4	COLUNA-5	COLUNA-6	COLUNA-7	COLUNA-8
FILA 1	4	S/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas	C/Pecas
FILA 2	0	0	0	0	0	0	0	0
FILA 3	0	1	0	0	0	0	0	0
FILA 4	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4-27: Menu “Armazém Torno” da página *web* da CFF.

Uma vez dentro desta página e mostrado o conteúdo do ficheiro em causa, o utilizador tem a opção de enviar um correio eletrónico com o ficheiro para a sua conta de correio eletrónico. O remetente do correio eletrónico é o endereço “raspberrypipv@gmail.com” e o destinatário será o operador da CFF, através de um endereço de correio eletrónico definido previamente. Mais uma vez foi elaborado um *script* em *python* para criar esta opção.

Quando o utilizador carrega no botão “Enviar E-mail” é executado o *script* “EmailTorno.py” ou no caso de estar no menu do “Armazém Fresadora”, “EmailFresa.py”, que estrutura um correio eletrónico com todos os dados: remetente, destinatário, assunto, anexos e conteúdo. No caso do anexo é necessário designar, no *script*, o nome e diretoria onde está o ficheiro a ser anexado. Criado o correio eletrónico este é enviado através de um servidor *smtp* da “gmail”.

Posteriormente, aparecerá uma mensagem a informar o utilizador que o correio eletrónico foi enviado com sucesso, como mostra a Figura 4-28. O resultado final encontra-se na Figura 4-29, onde é possível ver o correio eletrónico recebido, anexando o ficheiro “ArmFresa.txt”. Este serviço tem inúmeras vantagens, pois permite um número ilimitado de *e-mails*, caracterizados

#### 4- Proposta de solução

---

com um número ilimitado de caracteres no conteúdo e sem qualquer custo monetário para os utilizadores.



Figura 4-28: Mensagem de sucesso após envio do correio eletrónico.

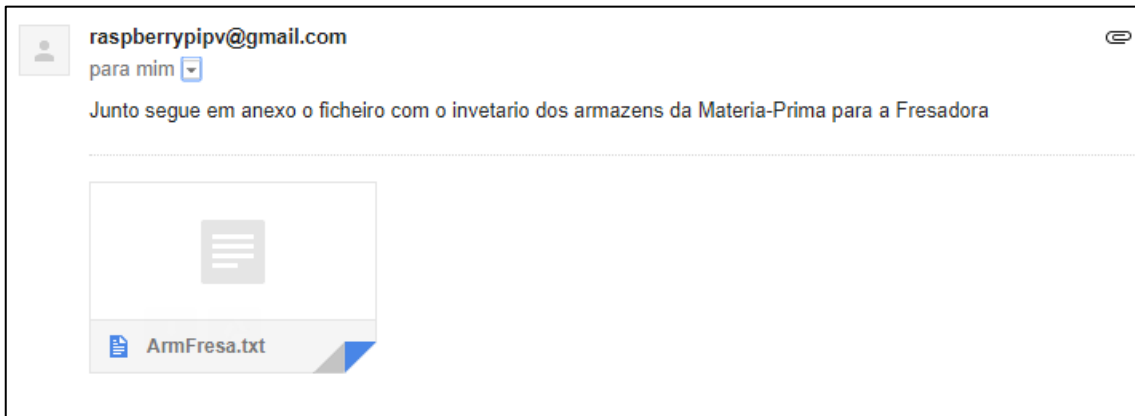


Figura 4-29: Correio eletrónico com o anexo do ficheiro do inventário dos armários da fresadora.

### 4.8.4 Menu “Alarmes”

O menu “Alarmes” é, em tudo, idêntico ao menu “Inventário”, contudo apenas com as seguintes diferenças: o *script* executado para fazer o *download* do ficheiro denomina-se de “GetAlarmes.py” e faz o *download* do ficheiro “Alarmes.txt”. Após o ficheiro ser mostrado ao utilizador, pode-se novamente, enviar um correio eletrónico com o anexo do ficheiro em causa, “Alarmes.txt”, como mostra a Figura 4-30.

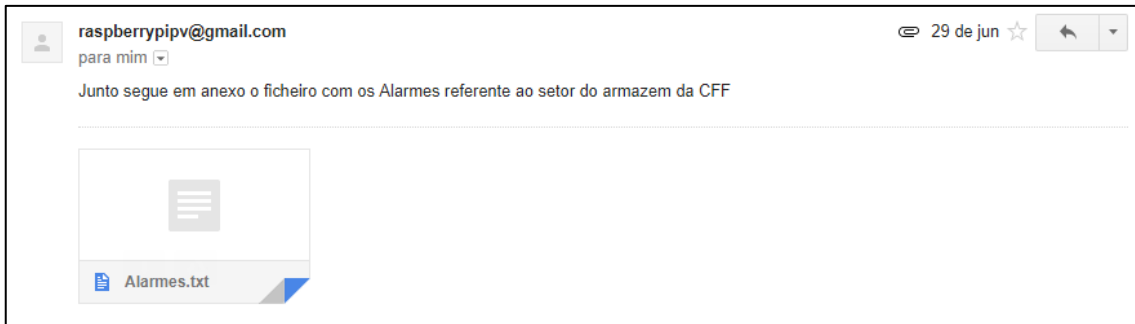


Figura 4-30: Correio eletrónico com o anexo do ficheiro com o histórico de alarmes.

No entanto, a relação 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 o alarme da CFF é acionado, ou seja sempre que haja uma invasão do espaço de trabalho do robô. Ao ser acionado o alarme, o controlador do robô aciona o *bit* M0.4. O *Raspberry Pi* deteta a variação do estado do bit de 0 para 1, através de um *script python* e executa a função, disponibilizada pelo site “textlocal.com”, permitindo o envio de um SMS para o número do operador da CFF informando-o que o alarme foi ativado, como mostra a Figura 4-31.

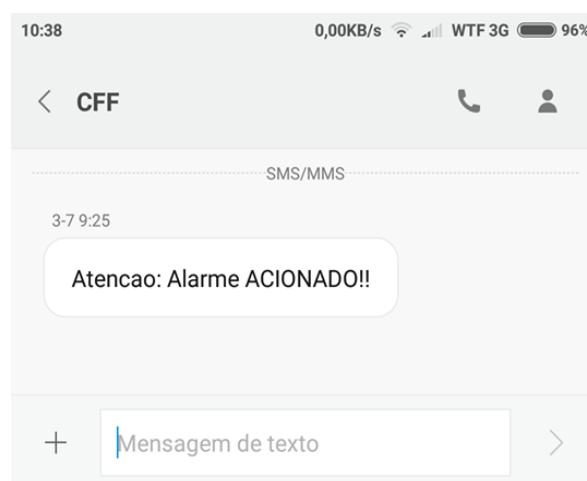


Figura 4-31: Mensagem de texto recebida após o alarme da CFF ser acionado.

## 4- Proposta de solução

Em simultâneo é enviado um correio eletrónico com a mesma informação, como demonstra a Figura 4-32.

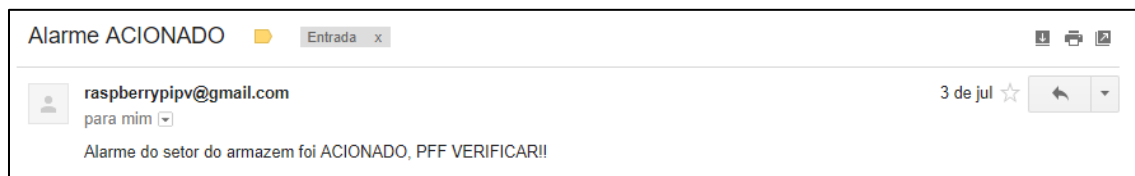


Figura 4-32: Correio eletrónico recebido após o alarme da CFF ser acionado.

O serviço de SMS está limitado a dez mensagens gratuitas, após esta quantidade o utilizador terá de pagar para poder enviar mais SMS. Contudo, é um serviço rápido e uma mais-valia para a CFF pois permite que o operador seja alertado em caso de alarme onde quer que se encontre.

### 4.8.5 Menu “Avisos”

No caso do menu “Avisos” é utilizado o script “GetAvisos.py” para fazer o *download* do ficheiro “Avisos.txt”, que contém a informação de todos os avisos da CFF referentes à falta de peças nos armários do torno e da fresadora. Contém também a informação de quando é que estes avisos foram repostos, como mostra a Figura 4-33.



Figura 4-33: Menu “Aviso” da página *web* da CFF.

O fator tempo é de extrema importância no que toca a linhas de fabrico, como é o caso em estudo. Por esse motivo, o facto destes avisos conterem informações sobre o dia e horas exata em que aconteceram as ações é imprescindível, ajudando o operador a saber quanto tempo se perde devido aos avisos e alarmes que ocorrem.

## 4- Proposta de solução

Como é possível ver na figura anterior é, mais uma vez, disponibilizado ao operador a opção de enviar um correio eletrónico para poder receber o ficheiro \*.txt na sua caixa de *e-mails* para posterior análise ou arquivo.

### 4.8.6 Menu “Comandos”

Por último, o menu “Comandos” em que o operador dispõe de três botões que enviam comandos para o PLC e que, por sua vez, o PLC envia para o controlador do robô. Estes três botões têm a mesma função e ordem que os botões presentes na botoneira do sistema de controlo local. Isto significa que o operador dispõe de um botão para o “Start”, um para o “Stop” e um para “Repor”.

A cada botão presente no menu está associado um *script python*. O *script* começa por se ligar ao PLC através do endereço 192.168.1.45, IP do PLC gestor da CFF. Após a ligação e através das funções disponibilizadas pela biblioteca “snap7”, sempre que o operador clica num dos botões é alterado o estado do *bit* correspondente a cada botão.

Na tabela 4-3 já foram identificados os *bits* que são usados pelos botões: o “Start” está associado ao *bit* M0.6, o botão de “Stop” ao M0.5 e o botão “Repor” altera o estado do *bit* M0.7.

A alteração do estado dos *bits* está associada a uma saída do PLC. Respetivamente Q9.2, Q9.3 e Q8.1 como é possível na Figura 4-34.

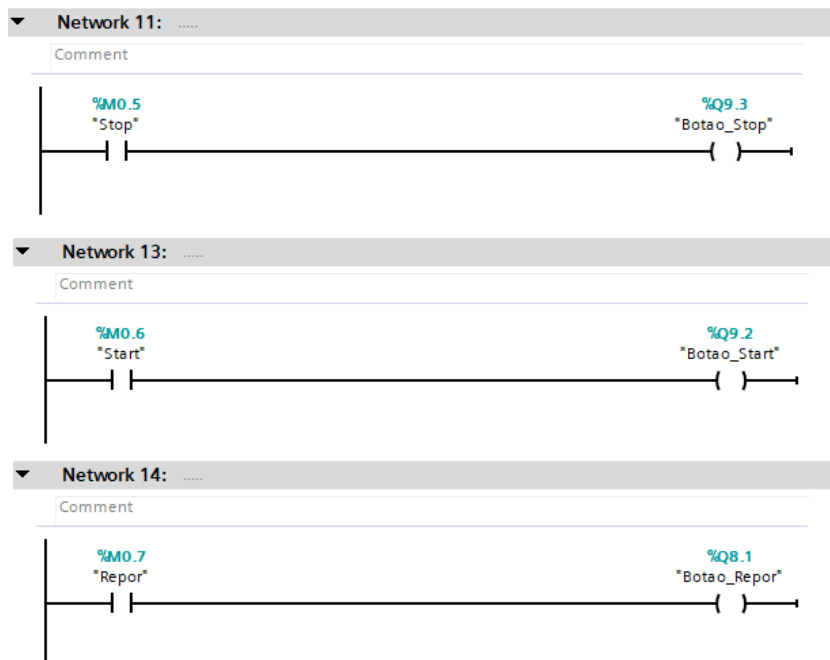


Figura 4-34: Código *Ladder* representativo dos *bits* associados as saídas.

#### 4- Proposta de solução

---

As saídas, por sua vez, estão ligadas a entradas no controlador do robô. A saída Q9.3 está associada ao *bit* DI10\_4, a saída correspondente ao botão de “Start” está ligada ao *bit* DI10\_3 e o botão “Repor” faz atuar o *bit* DI10\_5. Através desta mecânica é estabelecida a ligação entre a página *web* e o controlador robô.

Contudo, o inverso também ocorre, o controlador do robô comunica com o *Raspberry Pi*, nomeadamente quando o botão “Start” da botoneira do sistema de controlo local é premido. Esta informação é importante pois no caso do alarme da CFF ocorrer e o “OK” do operador surgir através do sistema de controlo local e não através página *web*, é necessário que um correio eletrónico seja enviado a informar que o alarme foi repostado.

Para que o controlador estabeleça esta ligação com o *Raspberry* existe uma ligação física associada ao *bit* DI10\_3 que no caso do seu estado ser alterado faz ativar a entrada I9.1 do PLC gestor da CFF. Uma vez ativada, é acionado o *bit* M0.4 que está a ser monitorizado pelo *Raspberry Pi*, através de um *script python*. No caso de a CFF estar em modo de alarme e este *bit* mudar o seu estado de 0 para 1, o alarme é repostado e o servidor *web* envia o correio eletrónico da Figura 4-35.



Figura 4-35: Correio eletrónico recebido após o alarme da CFF ser repostado.

O último caso a referir é na situação em que ocorre a falta de peças em algum dos armários do setor do armazém. Nesta situação, como já foi referido no ponto 3.4. Depois de o operador repor as peças em falta, tem de informar o controlador do robô do mesmo premindo o botão repor da botoneira do sistema de controlo local ou como mostra a Figura 4-36, através da página *web*. Associado a este botão está o *bit* M0.7 que ativa a saída Q8.1 do PLC e, por sua vez, altera o estado do *bit* DI10\_5 do controlador do robô. Este último *bit* é reconhecido pelo algoritmo presente no programa “Armazem.prg” como uma interrupção que anula o aviso de reposição de peças.

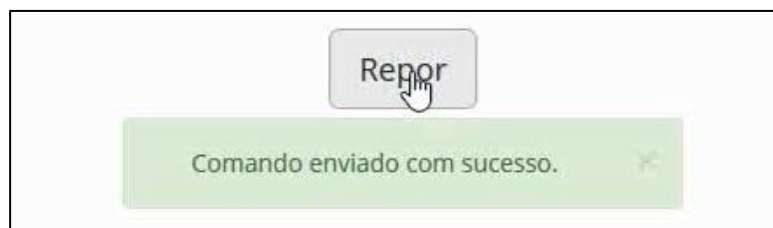


Figura 4-36: Comando “Repor” enviado com sucesso.

## 5. Conclusão e propostas para trabalhos futuros

Neste capítulo é exposto um resumo do trabalho desenvolvido ao longo da dissertação e é apresentada uma lista de propostas para trabalhos a desenvolver no futuro.

### 5.1 Conclusão

Em análise a todo o trabalho desenvolvido concluí-se que todos os objetivos propostos foram conseguidos. O objetivo principal deste trabalho tinha como premissa rentabilizar o tempo em que o robô não estava a executar a sua tarefa principal, carregar paletes, de uma forma eficiente e útil para todo o processo.

Foram desenvolvidos e testados no laboratório os vários softwares que integram os diversos elementos da CFF, robô ABB IRB 1400, PLC gestor da CFF e o *Raspberry Pi* que mostraram cumprir com as funções para os quais foram projetados. Durante todo o processo nunca foi esquecida a questão da segurança dos operadores e equipamentos. Como resultado, foi obtido um sistema capaz de assegurar ao operador da CFF que em caso de intrusão da área de trabalho do robô do setor do armazém, este se imobilize.

A rentabilização de tempos e processos fabris foi outro dos focos no desenvolvimento deste projeto. É sabido que hoje em dia são critérios de extrema importância na indústria e como tal, o sistema desenvolvido neste projeto só poderia envolver a criação de uma solução para este problema, de forma a que o processo apenas seja interrompido em situações extremas, evitando paragens desnecessárias.

## 5- Conclusão e propostas para trabalhos futuros

---

A integração do minicomputador *Raspberry Pi* acrescenta uma mais-valia notória a este projeto. A partir dele foi criada e desenvolvida a página web que permite ao operador controlar e monitorizar a CFF em tempo real. Com a *webcam* instalada no laboratório o operador tem uma visão global de todos os elementos da setor do armazém, nomeadamente do inventário presente nos armários.

A partir da página da CFF o operador pode consultar todos os dados referentes aos inventários de todos os armários da célula, bem como um histórico detalhado dos alarmes e avisos ocorridos, podendo ainda dispor de todos estes dados na sua caixa de correio eletrónico para posterior arquivo ou análise, por exemplo. O *Raspberry Pi* possibilitou ainda ao operador receber avisos, via SMS e *e-mails* em tempo real, aquando de uma intrusão no espaço de trabalho do robô. Permitiu ainda, através da página *web*, o envio de comandos de controlo remoto dando a possibilidade de repor o funcionamento da CFF remotamente.

Englobando todas estas características é concluído um sistema que abdica da supervisão de um operador permanente.

## 5.2 Proposta para trabalhos futuros

Mesmo que os objetivos tenham sido cumpridos, existem aspetos que podem completar, de certa forma, o trabalho desenvolvido, tanto a nível da CFF como da interação entre a célula e os operadores.

De seguida é apresentada uma perspetiva dos trabalhos a desenvolver:

- Instalação de um mecanismo na *webcam* que permita, através da página *web*, movimentá-la de forma a ver toda a CFF;
- Desenvolver o algoritmo do robô do armazém para que este descarregue as paletes com os produtos maquinados;
- Desenvolvimento de um sector de armazém destinado a armazenar produtos acabados, caso fosse necessário possuir *stock*;
- Desenvolvimento de um software que permita ao operador fornecer ao robô dados sobre o inventário, nomeadamente quantidades de peças armazenadas em cada uma das posições prioritárias;
- Desenvolvimento de um sistema de reconhecimento por visão artificial para a detetar se as peças são colocadas corretamente nas posições prioritárias.

Haverá sempre algo a acrescentar, mas acredito que as prioridades passam por desenvolver algum dos aspetos acima revelados.

## REFERÊNCIAS

- [1] Apontamentos Teóricos do Prof. Doutor António Ferrolho, Departamento de Engenharia Eletrotécnica da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu;
- [2] Groover, Mikell P. (2001) “*Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing*”, USA: Prentice Hall;
- [3] Koren, Yoram (1985) “*Robotics for Engineers*”, New York: McGraw-Hill;
- [4] Craig, J.J (1986) “*Introduction to Robotic Mechanics & Control*”, Addison Wesley;
- [5] U. Rembold, B.O. Nnaji and A. Storr (1993) “*Computer Integrated Manufacturing and Engineering*”, Addison-Wesley;
- [6] Mckerrow, P.J (1991) “*Introduction to Robotics*”, Singapore: Addison Wesley;
- [7] Ana Isabel, “Desenvolvimento e melhoramento da Célula Flexível de Fabrico da ESTGV”, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal, 2015;
- [8] Daniel Carreira, “Sistema de Palatização Robotizado no setor de Pesagem/Etiquetagem do queijo”, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, 2012.
- [9] Nelson Gomes, “Sistema Robótico de Paletização para Caixas com Grandes Volumes de Produção Caso de Estudo: Cerutil”, Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal, 2013;
- [10] José Feio, “Controlo de Impedância de Robôs Manipuladores para Aplicações em Cirurgia Ortopédica”, Disserta de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2008;
- [11] AS/RS. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/AS/RS> [Consultado em 1 de dezembro de 2016];
- [12] Work in Process WIP Materials & Finished Goods Storage | High Density Shelving. Disponível em: <http://www.southwestsolutions.com/high-density-mobile-shelving/work-in-process-wip-materials-finished-goods-storage-high-density-shelving> [Consultado a 3 de dezembro de 2016];
- [13] Automated storage and retrieval system. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Automated\\_storage\\_and\\_retrieval\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Automated_storage_and_retrieval_system) [Consultado a 3 de Dezembro de 2016];
- [14] Open Platform Communications. Disponível em: [https://en.wikipedia.org/wiki/Open\\_Platform\\_Communications](https://en.wikipedia.org/wiki/Open_Platform_Communications) [Consultado a 5 de Dezembro de 2016];

- 
- [15] Double Deep AS/RS. Disponível em: <http://www4.ncsu.edu/~kaymhetax/StorEq/Images/Deep-Lane%20ASRS.gif> [Consultado a 5 de Dezembro de 2016] ;
- [16] History of Automated Warehouses at Daifuku. Disponível em: <http://www.daifuku.com/solution/technology/automatedwarehouse/> [Consultado em 1 de dezembro de 2016];
- [17] Competing robotic warehouse systems. Disponível em: <https://www.therobotreport.com/news/goods-to-man-robotic-systems> [Consultado a 5 de dezembro de 2016];
- [18] J. Norberto Pires, Robótica e Automação em PMEs. Disponível em: [http://robotics.dem.uc.pt/norberto/nova/robotica\\_pme.pdf](http://robotics.dem.uc.pt/norberto/nova/robotica_pme.pdf) [Consultado a 5 de dezembro de 2016];
- [19] Unit Load ASRS. Disponível em: <http://www.invata.com/warehouse-automation/automated-storage-and-retrieval-systems-asrs/unit-load-asrs/> [Consultado a 6 de dezembro de 2016];
- [20] Mini-Load ASRS Crane. Disponível em: <http://www.invata.com/warehouse-automation/automated-storage-and-retrieval-systems-asrs/mini-load-asrs-crane/> [Consultado a 6 de dezembro de 2016];
- [21] Chapter 8 Automated Storage and Retrieval Systems: A Review on Travel Time Models and Control Policies. Disponível em: <http://bit.ly/2Dt8kEe> [Consultado a 6 de dezembro de 2016];
- [22] Single, double-deep and multiple-deep AS/RS. Disponível em: <https://www.westfaliausa.com/products/automated-storage-retrieval-systems/storage-density/> [Consultado a 7 de dezembro de 2016]
- [23] Automated Storage and Retrieval Systems – ASRS. Disponível em: <http://www.invata.com/warehouse-automation/automated-storage-and-retrieval-systems-asrs/> [Consultado a 6 de dezembro de 2016];
- [24] Logística Industrial. Disponível em: <http://robotics.dem.uc.pt/norberto/cas0001/app1.pdf> [Consultado a 7 de dezembro de 2016];
- [25] Is Kiva Systems a Good Fit for Your Distribution Center? An Unbiased Distribution Consultant Evaluation. Disponível em: [http://www.mwpl.com/html/kiva\\_systems.html](http://www.mwpl.com/html/kiva_systems.html) [Consultado a 8 de dezembro de 2016];
- [26] Fetch Robotics Introduces Fetch and Freight: Your Warehouse Is Now Automated. Disponível em: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/fetch-robotics-introduces-fetch-and-freight-your-warehouse-is-now-automated> [Consultado a 8 de dezembro de 2016];
- [27] AutoStore. Disponível em: <http://autostoresystem.com/theystem> [Consultado a 9 de dezembro de 2016];

[28] CUBY - Cost Effective and Compact Shuttle System for Bins and Cartons. Disponível em: <http://www.ssi-schaefer.us/automated-systems/systems-products/storage-retrieval-systems/cuby.html> [Consultado a 9 de dezembro de 2016];

[29] ATEX – Atmosfera Perigosa. Disponível em: [http://www.indusmelec.pt/newsletter/11/ATEX-Atmosferas\\_Explosivas.pdf](http://www.indusmelec.pt/newsletter/11/ATEX-Atmosferas_Explosivas.pdf) [Consultado a 13 de dezembro de 2016];