



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

Automação e controlo de um sistema de armazenamento de bicicletas

PAULO ANDRÉ GUIA SILVA GONÇALVES
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes
Licenciado Luis Afonso Melo

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogais:

Prof. Doutor José Alberto de Jesus Borges
Prof. Nuno Paulo Ferreira Henriques
Prof. Doutor Mário José Gonçalves Cavaco Mendes
Prof. Luís Afonso Melo

Dezembro de 2011

Aos meus Pais.

Ao meu Irmão.

À Rita.

*"Na arte da vida, com conhecimento voamos, com amor
crescemos, com ambição cegamos."*

Anónimo

AGRADECIMENTOS

É com muita satisfação que expresso aqui o mais profundo agradecimento a todos aqueles que tornaram este trabalho possível.

Gostaria antes de mais agradecer ao Professor Mário Mendes, orientador desta dissertação, pelo seu apoio, disponibilidade e incentivo, demonstrados desde o início, e essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

Gostaria também de agradecer ao Professor Luís Melo, co-orientador desta dissertação, pelo seu apoio, pelas suas sugestões e conhecimentos de motores, essenciais ao desenvolvimento do projecto.

Ao Professor Joaquim Infante Barbosa pelo seu apoio e esclarecimentos dados a nível da estrutura.

Ao Eng.º Vitor Medeiros e ao Eng.º Henry Simões da Infaimon pelos esclarecimentos prestados sobre os sistemas de visão artificial.

À minha família que sempre me acompanhou durante a minha vida académica, por todo o apoio, motivação e incentivo que sempre me deram para seguir em frente.

À Rita, por todo o carinho, motivação, compreensão, apoio e ajuda dados. Simplesmente pela pessoa especial que é para mim.

Aos meus amigos mais próximos pela força e motivação.

RESUMO

A crescente procura da bicicleta como meio de transporte alternativo torna relevante a criação e desenvolvimento de infra-estruturas de apoio, tais como ciclovias e parques para bicicletas.

Os sistemas tradicionais de estacionamento de bicicletas com recurso a correntes e cadeados não fornecem segurança nem comodidade. No entanto, começam a surgir, em várias cidades do mundo, parque automáticos onde é possível guardar uma bicicleta em segurança, protegendo-a quer das intempéries quer de actos de vandalismo.

Este trabalho apresenta uma proposta para um parque automático de armazenamento de bicicletas, com recurso a caixas individualizadas que garantem a sua segurança, e também de outros bens que podem ser guardados junto da mesma, como por exemplo um capacete ou uma mochila.

O sistema proposto no âmbito deste trabalho é um complemento às alternativas existentes. As vantagens apresentadas pelo sistema proposto são: a sua construção modular e personalizada; e a possibilidade de instalação num terreno plano, sem recurso a obras de construção civil.

O objectivo foi criar um projecto de automação e controlo de um protótipo, com base na proposta apresentada. O projecto de automação e controlo engloba a escolha dos sensores e dos actuadores. Para o dimensionamento dos motores foi necessário recorrer a um cálculo simplificado da estrutura do robô manipulador. Foi feita a escolha dos sensores, actuadores e do controlador com base nos requisitos funcionais. A programação foi desenvolvida numa linguagem normalizada.

O modelo desenvolvido poderá servir de base para um projecto multidisciplinar entre vários departamentos do Instituto e dessa cooperação poderá surgir um novo projecto optimizado para produção e de menor custo.

PALAVRAS-CHAVE: Automação, Parque automático de bicicletas, Mobilidade sustentável, Autómatos programáveis, Sensores, Actuadores.

ABSTRACT

The increasing demand for cycling as alternative transport system makes it relevant the need of infrastructures like cycle lanes or bicycle parks.

Traditional systems for parking bicycles using locks and chains do not provide security or convenience. However, begin to appear in several cities around the world, automatic bicycle parks where you can store a bicycle safely, protecting it from the weather or acts of vandalism.

This work presents a proposal for an automatic parking bicycle storage, using individual boxes to ensure their safety, as well as to storage other accessories, such as a helmet or a backpack.

The system proposed in this work is a complement to other existing systems. The advantages presented by the proposed system are its modular and customizable construction and the possibility of installing on a flat terrain, without recourse to civil works.

The aim was to create and design the automation and control system of a prototype, based on the proposal. The automation and control project includes the selection of sensors and actuators. To design the motors was necessary to use a simplified calculation of the robot manipulator structure. It made the choice of sensors, actuators and controller based on functional requirements. The program was developed in a standardized language.

The model developed can serve as a basis for a multidisciplinary project between several departments of the Institute and from such cooperation may emerge a new design optimized for production and lower cost.

KEYWORDS: Automation, Automatic Bike Park, Sustainable mobility, Programmable Logic Controllers, Sensors, Actuators.

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Abreviaturas

AR/RS	- Automated Storage and Retrieval Systems.
CPU	- Central processing unit.
FDB	- Function Diagram Blocks.
GPRS/3G	- General packet radio service/3ª Geração.
GRAFCET	- Gráfico Funcional de Comandos Etapa-Transição.
HDPE	- High density polyethylene.
HMI	- Human-Machine Interface.
I/O	- Input/Output.
ID	- Identification Number.
IDAE	- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energia.
IEC	- Internacional Electrotechnical Commission.
IL	- Instruction List.
ISEL	- Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
LAD	- Ladder Diagram.
MA	- Módulos de armazenamento.
NA	- Normalmente aberto.
NF	- Normalmente fechado.
PLC	- Programmable logic controller.
PID	- Proportional integral derivative.
PIN	- Personal Identification Number.
PROFIBUS	- Process Field Bus.
PROFINET	- Process Field Ethernet
RFID	- Radio frequency Identification.
SFC	- Sequential Function Chart.
ST	- Structured Text.
UA	- Unidade de armazenamento.
VEF	- Variador electrónico de frequência.
ZED	- Zona de entrega/devolução.

Símbolos

μ_{RC}	- Coeficiente de atrito estático do sistema roda-carril.
f_{base}	- Coeficiente de atrito de rolamento da base do robô.
$F_{base(X)}$	- Força horizontal necessária para mover o robô.
$F_{base(Y)}$	- Força vertical exercida pela elevador na base do robô.
f_{EL}	- Coeficiente de atrito de rolamento do elevador.
$F_{lubrificador}$	- Força de atrito que os lubrificadores adicionam ao sistema.
F_{max}	- Força máxima exercida pela UA na extremidade da plataforma superior.
F_{mola}	- Força necessária para actuar o sistema de mola que fixará a UA ao módulo de armazenamento.
$F_{PS(X)}$	- Componentes da força horizontal provocada na fixação da plataforma superior ao elevador.
$F_{PS(Y)}$	- Componentes da força vertical provocada na fixação da plataforma superior ao elevador.
l_{EL}	- Altura do elevador.
l_{PS}	- Comprimentos da plataforma superior.
m_{DLS3}	- Massa da plataforma superior.
$m_{elevador}$	- Massa do elevador.
m_{PS}	- Massa total da plataforma superior.
M_{PS}	- Momento exercido pela plataforma superior no apoio do elevador.
m_{UA}	- Massa da Unidade de armazenamento (estrutura mais carga).
P_{EL}	- Potência do elevador.
v_{base}	- Velocidade de projecto da base do robô.
v_{EL}	- Velocidade de projecto para o elevador.
v_{PS}	- Velocidade de projecto para a plataforma superior.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ASPECTOS GERAIS	1
1.2. OBJECTIVO DO TRABALHO.....	1
1.3. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. PARQUES AUTOMÁTICOS DE BICICLETAS PELO MUNDO: ESTADO DA ARTE	3
2.1. INTRODUÇÃO.....	3
2.2. INCENTIVOS AO USO DA BICICLETA	3
2.3. BIKE-SHARING	4
2.4. SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO AUTOMÁTICO DE BICICLETAS	5
2.4.1. <i>Biceberg</i>	5
2.4.1.1. Descrição.....	5
2.4.1.2. Funcionamento.....	6
2.4.1.3. Instalação e recursos necessários.....	7
2.4.1.4. Vantagens e limitações.....	7
2.4.2. <i>B-Igloo</i>	8
2.4.2.1. Descrição.....	8
2.4.2.2. Funcionamento.....	9
2.4.2.3. Instalação e recursos necessários.....	10
2.4.2.4. Vantagens e limitações.....	10
2.4.3. <i>Cycle Tree – Multi-Level Mechanical Bicycle Parking System</i>	10
2.4.3.1. Descrição.....	10
2.4.3.2. Funcionamento.....	12
2.4.3.3. Vantagens e limitações.....	12
2.4.4. <i>Bikedispenser</i>	13
2.4.4.1. Vantagens e limitações.....	14
2.5. ARMAZÉNS INTELIGENTES.....	14
2.5.1. <i>Funcionamento</i>	15
2.6. CONCLUSÃO	16
3. SISTEMA PROPOSTO PARA ARMAZENAMENTO AUTOMÁTICO DE BICICLETAS	19
3.1. INTRODUÇÃO.....	19
3.2. ANÁLISE DAS NECESSIDADES	19
3.2.1. <i>Objectivo do Sistema</i>	19
3.2.2. <i>Requisitos do sistema</i>	20

3.2.3. Utilizações Tipo e Locais de Instalação.....	20
3.3. PROPOSTA DO SISTEMA.....	22
3.3.1. Unidade de Armazenamento.....	23
3.3.2. Módulos de Armazenamento	25
3.3.3. Robô Manipulador	27
3.3.3.1. Carris principais de movimento do robô (base do robô):.....	28
3.3.3.2. Elevador:	29
3.3.3.3. Plataforma superior:	29
3.3.4. Módulo de recepção/entrega.....	30
3.3.5. Configuração adoptada.....	31
3.4. CONCLUSÃO	34
4. DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO ROBÔ MANIPULADOR.....	35
4.1. INTRODUÇÃO	35
4.2. PLATAFORMA SUPERIOR	35
4.2.1. Cargas aplicadas.....	35
4.2.2. Escolha dos componentes.....	37
4.2.3. Determinação da potência motora necessária	38
4.2.4. Cálculo aproximado da massa da plataforma superior	38
4.3. ELEVADOR.....	39
4.3.1. Cargas aplicadas.....	39
4.3.2. Escolha dos componentes.....	40
4.3.3. Cálculo da potência necessária.....	41
4.3.4. Cálculo aproximado da massa do elevador	42
4.4. BASE DO ROBÔ.....	43
4.4.1. Determinação das cargas aplicadas	43
4.4.2. Escolha dos componentes.....	44
4.4.3. Cálculo da potência necessária.....	44
4.5. CONCLUSÃO	45
5. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CONTROLO.....	47
5.1. INTRODUÇÃO	47
5.2. ESCOLHA E SELECÇÃO DOS COMPONENTES DE ENTRADA E SAÍDA.....	48
5.2.1. Variadores Electrónicos de Frequência.....	48
5.2.2. Sensores.....	51
5.2.2.1. Controlo do sistema em anel fechado	51
5.2.2.2. Controlo com base em sensores fim de curso	52
5.2.3. Módulo de fixação da UA.....	55
5.2.4. Portas automáticas.....	58
5.2.5. Sistema de pesagem.....	59
5.2.6. Sistema de verificação do conteúdo da UA	60

5.2.6.1. O problema da verificação do interior da UA	61
5.2.6.2. Selecção do sistema de visão artificial	61
5.2.7. <i>Leitor RFID</i>	63
5.2.8. <i>Autómato programável</i>	63
5.2.8.1. Lista de pontos	64
5.2.8.2. Selecção do PLC	65
5.2.8.3. Interface HMI (Human-Machine Interface)	67
5.3. INSTALAÇÃO ELÉCTRICA	68
5.4. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE CONTROLO	70
5.4.1. <i>Descrição de funcionamento e lógica de controlo</i>	70
5.4.2. <i>Estrutura e Organização do Programa de Controlo</i>	72
5.4.3. <i>Lista de símbolos</i>	75
5.4.4. <i>Exemplo de uma função</i>	76
5.5. ENSAIO DO PROGRAMA	77
5.6. CONCLUSÃO	78
6. CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHO FUTURO.....	81
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	81
6.2. PRINCIPAIS PROBLEMAS	82
6.3. TRABALHOS FUTUROS.....	83
ANEXO I - CATÁLOGOS DOS FABRICANTES.....	89
ANEXO II - LISTAGEM DO PROGRAMA DE AUTOMAÇÃO E CONTROLO	91
AII-I- LISTA DE SÍMBOLOS	93
AII-II- OB1 “MAIN PROGRAM”	97
AII-III- FC1 “FC_MOTOR_CONTROL”	103
AII-IV- FC2 “FC_COMPARE”	107
AII-V- FC3 “FC_SEARCH_EMPTY”	109
AII-VI- FC4 “FC_SEARCH_ID”	123
AII-VII- FC5 “FC_GO_POSITION”	133
AII-VIII- FC6 “FC_GO_HOME”	147
AII-IX- FC7 “FC_CHECK”	151
AII-X- FC8 “FC_REGISTER”	155
AII-XI- FC9 “FC_OPERATION”	189
AII-XII- DB1 “DB_DADOS”	195

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Quadro síntese das características dos equipamentos estudados	17
Tabela 4.1 - Excerto da tabela de selecção de motores para o sistema DLS3	38
Tabela 4.2 - Cálculo da massa da plataforma superior	38
Tabela 4.3 - Características dos perfis de construção usados	39
Tabela 4.4 - Excerto da tabela de selecção do sistema HDSL para vida de 10000km	41
Tabela 4.5 - Características do motor do elevador.....	42
Tabela 4.6 - Listagem de componentes e determinação da massa total do elevador	42
Tabela 4.7 - Características do sistema redutor+motor do robô	45
Tabela 5.1 - Características dos VEF escolhidos.....	51
Tabela 5.2 - Resumo da quantidade e tipo de sensores de fim de curso necessários	53
Tabela 5.3 - Principais características da garra HGPLE	55
Tabela 5.4 - Lista das características mais importantes do sistema AT12	58
Tabela 5.5 - Características do sistema de visão artificial Teledyne DALSA	62
Tabela 5.6 - Resumo das entradas e saídas necessárias para o PLC	64
Tabela 5.7 - Características técnicas do autómato e dos módulos adoptados	66
Tabela 5.8 - Descrição dos componentes usados na interface HMI.....	67
Tabela 5.9 - Descrição de funcionamento das funções usadas no programa de controlo.	73
Tabela 5.10 - Lista de símbolos	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Sistema de Bike-Sharing	4
Figura 2.2 - Modelos do sistema BiceBerg com capacidades desde 23 a 92 bicicletas	5
Figura 2.3 - Sistema de recepção e devolução de bicicletas do Biceberg em Barcelona	6
Figura 2.4 - Estrutura subterrânea construída em placas de betão pré-fabricado. A esquerda, aspecto das placas prefabricadas e sua disposição. A direita, aspecto final da estrutura.....	7
Figura 2.5 - Aspecto exterior do sistema b-igloo	9
Figura 2.6 - Esquema explicativo da constituição do sistema b-igloo	9
Figura 2.7 - Aspecto da zona de recepção e entrega das bicicletas.....	11
Figura 2.8 - Vista do interior de um silo do sistema Cycle Tree.....	11
Figura 2.9 - Parque de bicicletas na estação Kasai em Tóquio	12
Figura 2.10 - Vista exterior do sistema Bikedispenser	13
Figura 2.11 - Diversas configurações do sistema Bikedispenser	13
Figura 2.12 - Armazém inteligente, com destaque para o robô transelevador	15
Figura 2.13 - Robô transelevador (a) e sistema de extracção lateral (b)	16
Figura 3.1 - Exemplos de configurações possíveis do sistema de armazenamento.	23
Figura 3.2 - Exemplo ilustrativo de uma unidade de armazenamento.	24
Figura 3.3 - Exemplo de um módulo de armazenamento.	26
Figura 3.4 - Caracterização dos componentes do robô manipulador.	28
Figura 3.5 - Localização da zona de recepção/devolução	31
Figura 3.6 - Configuração da estrutura adoptada - Vista em planta.	32
Figura 3.7 - Configuração da estrutura adoptada - Corte AA'	32
Figura 3.8 - Configuração da estrutura adoptada - Corte BB'	33
Figura 4.1 - Diagrama de forças da plataforma superior.....	36
Figura 4.2 - Exemplo de um actuador linear. Sistema DLS da Hepco.....	37
Figura 4.3 - Diagrama de esforços do elevador	40
Figura 4.4 - Detalhe do sistema de transmissão linear	44
Figura 5.1 - Várias etapas de projecto de um sistema de controlo.....	47
Figura 5.2 - Exemplo de um variador electrónico de frequência	49
Figura 5.3 - Esquema de ligações do VEF a esquerda e pormenor da ligação do controlo a dois fios	50
Figura 5.4 - Exemplo de um sensor mecânico de fim de curso	52
Figura 5.5 - Localização dos sensores X0 a X6 (vista em planta).	54
Figura 5.6 - Localização dos sensores Y1, Y01, Y2 e Y02.	54
Figura 5.7 - Localização dos sensores ZED, Z0 e Z1 (vista alçado).....	54
Figura 5.8 - Exemplo de uma garra paralela industrial	55

Figura 5.9 – Exemplo dos dedos da garra e as suas posições de abertura e fecho (vista em planta).....	56
Figura 5.10 - Explicação detalhada da montagem da garra no carrinho do actuador linear (alçado).....	56
Figura 5.11 - Processo de fixação e deslocamento da UA.	57
Figura 5.12 - Célula de carga Siemens SIWAREX R - RN series	59
Figura 5.13 - Exemplo da distribuição das células de carga e dos estabilizadores.....	60
Figura 5.14 - Imagens obtidas por um sistema de visão artificial para verificação das dimensões (a direita) e detecção de imperfeições (a esquerda)	61
Figura 5.15 - Sistema de visão artificial Teledyna DALSA.....	62
Figura 5.16 - Bancada de ensaios com o controlador S7-314 IFM.	65
Figura 5.17 - Exemplo de interface com o utilizador.	68
Figura 5.18 – Circuito de potência e de comando do parque.	69
Figura 5.19 - Fluxograma que descreve o processo de funcionamento do parque automático de armazenamento de bicicletas.	71
Figura 5.20 - Descrição da organização do ficheiro de base de dados.....	72
Figura 5.21 - Esquema de organização dos blocos dentro do programa principal.	74

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

1.1. Aspectos gerais

A elevada dependência do petróleo, os problemas ambientais, o trânsito nas grandes cidades e os problemas de estacionamento, têm tornado a bicicleta cada vez mais numa alternativa limpa, económica e barata comparativamente ao automóvel e aos transportes públicos tradicionais.

No entanto a adaptação das grandes cidades para o aumento do tráfego de bicicletas requer vias de circulação próprias e espaços destinados ao estacionamento seguro destas quando estas não estão em circulação. Os espaços tradicionais destinados a esse fim, além de escassos, normalmente não permitem o estacionamento seguro das bicicletas e dos seus acessórios, quer contra pessoas, quer contra intempéries.

Assim surge a necessidade de um sistema que permita o estacionamento seguro, simples (de preferência totalmente automático), barato e localizado perto dos locais de maior afluência (centros históricos, centros empresariais, transportes públicos, etc.). Tal deverá garantir a segurança da bicicleta e dos seus acessórios, assim como garantir a facilidade de utilização por parte dos seus utilizadores. Um sistema deste tipo, instalado em sítios estratégicos, deverá proporcionar aos seus utilizadores uma forma segura e cómoda de guardar a sua bicicleta e potenciar o uso dos transportes alternativos.

O desenvolvimento de um equipamento deste género servirá para colmatar uma lacuna existente no mercado nacional a nível de parques automáticos de armazenamento de bicicletas. Com um projecto deste género poderá existir futuramente um produto totalmente desenvolvido e construído em Portugal.

1.2. Objectivo do trabalho

Pretende-se, com este trabalho, propor um modelo de um protótipo de um sistema de armazenamento automático de bicicletas, adaptado a realidade das nossas cidades, que permita guardar a bicicleta e todos os seus acessórios (capacete, luvas, mochila, etc.) de forma prática e segura.

O principal objectivo deste trabalho é o desenvolvimento do projecto de automação e controlo para o modelo do protótipo proposto.

1.3. Estrutura e organização da dissertação

A estrutura deste trabalho será composta por um segundo capítulo dedicado a estudar os sistemas existentes em outros países. Durante esse estudo serão analisadas as características técnicas, o tipo de construção e as vantagens e desvantagens.

No capítulo três é proposto um modelo para um protótipo de um parque automático de armazenamento de bicicletas. Serão analisadas as necessidades do nosso mercado para a posterior definição das características técnicas do equipamento.

O capítulo quatro abordará a componente de cálculo estrutural essencial para o cálculo da potência motora do equipamento e para a selecção do equipamento de controlo.

O desenvolvimento do projecto de automação e controlo será feito no capítulo cinco.

Capítulo 2

PARQUES AUTOMÁTICOS DE BICICLETAS PELO MUNDO: ESTADO DA ARTE

2.1. Introdução

Nos últimos anos, com o crescente aumento do preço do petróleo e da preocupação pela adopção de modos de vida saudáveis, a bicicleta tem surgido cada vez mais como um meio de deslocação nas grandes cidades. Associado à promoção do uso da bicicleta, como meio de transporte para o trabalho ou simplesmente como forma de lazer, está a criação de infra-estruturas próprias, nomeadamente as ciclo vias e os espaços destinados ao armazenamento das bicicletas.

Assim, têm surgido nas grandes cidades diversos equipamentos que permitem o armazenamento seguro das bicicletas quando não estão em uso. A par destes têm surgido também diversos serviços de aluguer de bicicletas para uso temporário, mais conhecidos como Bike-Sharing (Partilha de bicicletas).

Este é portanto um assunto de grande actualidade e por isso pretende-se com este capítulo fazer o estado da arte dos diversos sistemas automáticos de armazenamento de bicicletas existentes no mundo. Focando as suas características principais, o seu funcionamento, as suas vantagens e limitações. Além disso, far-se-á uma pequena apresentação de alguns programas europeus de promoção da bicicleta e execução de infra-estruturas nesta área. Uma pequena referência a armazéns inteligentes também será apresentada.

2.2. Incentivos ao uso da bicicleta

Recentemente diversos países têm criado programas que promovem o uso da bicicleta nas grandes cidades, em especial nas deslocações de casa para o trabalho.

Um dos projectos que surgiu a nível europeu foi o “*PRESTO - promoting cycling for everyone as a daily transport mode*”. Este projecto ambiciona reunir o que melhor se faz a nível europeu em políticas e conhecimentos na área do ciclismo urbano. Pretende servir como um guia de referência

européu, tanto a nível de infra-estruturas, como a nível de promoção e incentivo ao uso da bicicleta (Dufour, 2010).

Outra iniciativa para a promoção do uso da bicicleta é proposta pelo governo espanhol, apresentada sobre a forma de um guia. O “*Guía metodológica para la implantación de sistemas de bicicletas públicas en España*” criado pelo *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)* reúne num documento único as boas práticas e políticas a seguir para fomentar o uso da bicicleta nas cidades espanholas (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2007).

2.3. Bike-Sharing

O Bike-sharing é um conceito de partilha de bicicletas por diversos utilizadores através de equipamentos próprios (Figura 2.1). Neste contexto foram desenvolvidos dois modelos: um comunitário, onde a bicicleta pode ser levantada num ponto e entregue em outro ponto da cidade; e um modelo residencial, onde a bicicleta é levantada e entregue no mesmo ponto (DeMaio, Will Smart Bikes Succeed as Public Transportation in the United States?, 2004).



Figura 2.1 - Sistema de Bike-Sharing (DeMaio, *Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future*, 2009)

Estes equipamentos promovem o aumento da utilização dos transportes públicos e reduzem as distâncias entre os diversos meios de transporte. O conceito original foi criado nos anos 60 em Amesterdão, mas só com a actual tecnologia de monitorização foi possível promover o seu uso com a introdução dos cartões de acesso, em 1996 na Portsmouth University em Inglaterra (DeMaio, *Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future*, 2009).

2.4. Sistemas de Armazenamento Automático de Bicicletas

Recentemente têm surgido no mercado diversos sistemas de armazenamento automático de bicicletas. Estes são práticos para guardar de forma segura a bicicleta quando não está em uso. Qualquer um dos sistemas aqui apresentado funciona de forma totalmente automática. O utilizador só necessita de colocar a bicicleta correctamente na zona de recepção do equipamento e através do painel de controlo registar a entrada.

2.4.1. Biceberg

O sistema Biceberg foi criado em 1994 pela empresa ma-SISTEMAS (Espanha) com o objectivo de criar um sistema seguro para armazenar bicicletas e seus acessórios (capacete, mochilas, etc.).

A bicicleta é recolhida à superfície e guardada num silo subterrâneo de forma totalmente automática e sem qualquer intervenção do utilizador, num tempo inferior a 30 segundos. O controlo de utilizadores é feito com recurso a um cartão electrónico e um PIN (*Personal Identification Number*) para maior segurança (ma-SISTEMAS, 2003).

2.4.1.1. Descrição

Este equipamento é composto por módulos circulares, possíveis de agrupar em diversos níveis. Estes módulos podem ser agrupados na vertical, variando capacidade do equipamento instalado (tal como ilustrado na Figura 2.2). Cada módulo é composto por 23 caixas de armazenamento de bicicletas e respectivos acessórios. As caixas são construídas em fibra de vidro, com uma ranhura na base interior, com o objectivo de encaixar os pneus da bicicleta tornando-a estável (ma-SISTEMAS, 2003).

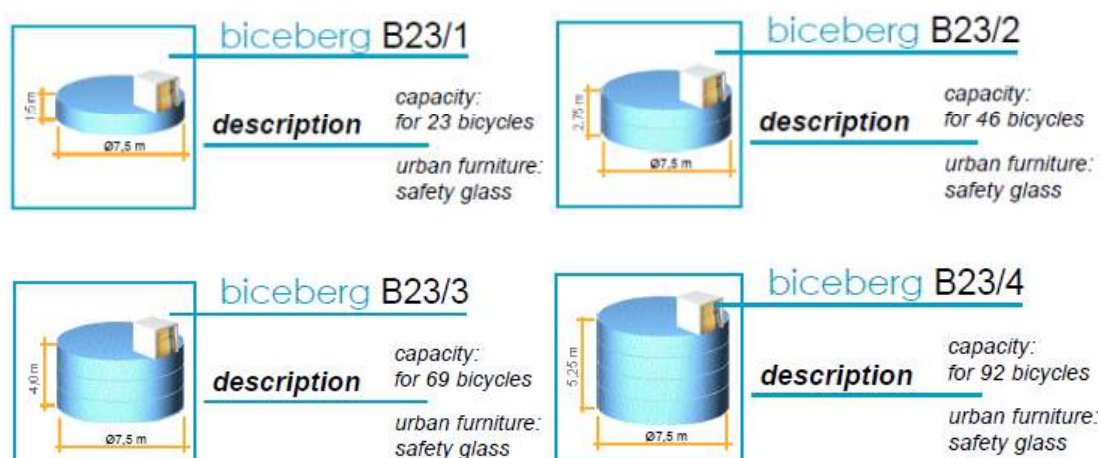


Figura 2.2 - Modelos do sistema BiceBerg com capacidades desde 23 a 92 bicicletas (ma-SISTEMAS, 2003)

A recepção e devolução da bicicleta são feitas num equipamento urbano próprio instalado à superfície (como ilustrado na Figura 2.3). Este pode ser construído em alumínio, vidro ou betão pré-fabricado e é composto por um painel onde o utilizador insere o seu cartão pessoal e o seu PIN e uma porta de acesso para a caixa onde vai ficar guardada a bicicleta e os respectivos acessórios (ma-SISTEMAS, 2003).



Figura 2.3 - Sistema de recepção e devolução de bicicletas do Biceberg em Barcelona (ma-SISTEMAS, 2003)

A única diferença notável entre os diversos modelos é a profundidade necessária de escavação, de acordo com o número de módulos instalados (ma-SISTEMAS, 2003).

2.4.1.2. Funcionamento

A utilização por parte do utilizador é muito intuitiva. O manual do utilizador refere os seguintes passos a seguir:

1. Inserir o cartão pessoal;
2. Marcar o PIN;
3. Seleccionar uma opção no painel;
4. Inserir / Remover a bicicleta;
5. Remover o cartão pessoal;

Existe um número de telefone sempre disponível para onde o utilizador pode ligar caso haja algum problema com a entrega/devolução da bicicleta.

O sistema tem a capacidade para uma bicicleta e mais 25 kg de bagagem. Não é permitido guardar seres vivos, motociclos, patins e agentes inflamáveis (ma-SISTEMAS, 2003).

2.4.1.3. Instalação e recursos necessários

Este sistema requer para a sua instalação um espaço cilíndrico com 7,5 metros de diâmetro e uma profundidade de acordo com a capacidade a instalar. Este espaço pode ser subterrâneo (instalado por baixo da via pública ou de um jardim) ou por exemplo, instalado na cave de um prédio. No caso de a instalação ser subterrânea o local onde é montado o equipamento pode ser feito em betão armado ou em peças de betão pré-fabricado, desde que cumpra os requisitos para suportar a carga a que está sujeito à superfície (ma-SISTEMAS, 2003).

Na Figura 2.4 pode-se observar o aspecto da estrutura subterrânea construída em peças de betão pré-fabricado. Na figura da direita é possível visualizar o local onde vai ser colocado o mobiliário urbano de acesso ao equipamento (indicado com a seta laranja). O orifício em forma de semi-círculo é o local onde o elevador interior vai ser montado possibilitando a devolução da caixa à superfície.



Figura 2.4 - Estrutura subterrânea construída em placas de betão pré-fabricado. A esquerda, aspecto das placas prefabricadas e sua disposição. A direita, aspecto final da estrutura (ma-SISTEMAS, 2003).

Para o correcto funcionamento do equipamento é necessário um ponto de alimentação eléctrica monofásica de 230 VAC com 5500w de potência mínima, com ligação a terra. É necessária também uma linha telefónica analógica, para gestão e monitorização do equipamento à distância (ma-SISTEMAS, 2003).

2.4.1.4. Vantagens e limitações

Este sistema apresenta as seguintes vantagens:

- Permite guardar de forma segura e cómoda uma bicicleta de qualquer tamanho e todo o equipamento associado ao seu uso, como o capacete, uma mochila, um colete reflector, etc.;
- Não ocupa muito espaço útil da via pública, apenas a zona de recepção/devolução da bicicleta, que necessita de estar acima da cota do solo;
- Por ser um sistema modular, a sua capacidade pode ser configurada de acordo com as necessidades do local.

E as seguintes limitações:

- Requer trabalhos especializados de construção civil para a sua instalação;
- Necessita de alimentação eléctrica e linha telefónica;
- Uma vez instalado não permite uma ampliação, sem recorrer a demolições.

2.4.2. B-Igloo

O sistema b-igloo é um parque automático de armazenamento de bicicletas, que permite guardar com segurança uma bicicleta e todos os acessórios inerentes ao seu uso, como por exemplo um capacete ou uma mochila. Este pode ser instalado em qualquer local, pois não necessita de obras de construção civil para sua instalação. A bicicleta é devolvida num tempo máximo de dez segundos. Este foi criado pela ma-SISTEMAS em parceria com a empresa UNDERCOVER S.L. em Espanha (UNDERCOVER S.L, 2005).

2.4.2.1. Descrição

Este sistema é constituído por uma estrutura circular composta por 24 caixas construídas em material compósito – boxes – onde são armazenadas a bicicleta e os acessórios. A estrutura roda sobre um eixo vertical e está totalmente coberta por uma superfície em resina de poliéster. Quando é seleccionada uma determinada “box” a estrutura roda até que esta fique alinhada com a porta de acesso (UNDERCOVER S.L, 2005).

O controlo de acessos é feito por meio de um cartão de acesso e um PIN. Para segurança as portas tem um sensor de força, para impedir que algum objecto ou até o próprio utilizador fiquem presos na porta. Existe também um sensor de visão artificial para detectar a presença de seres vivos dentro da caixa e impedir as portas de fechar neste caso. O sensor de carga evita sobrecarregar os motores e colocar em causa o funcionamento do equipamento (UNDERCOVER S.L, 2005).

No caso de o sistema ser instalado com o intuito de aluguer de bicicletas, pode ser previsto um leitor de RFID (*Radio-frequency identification*) para identificação da bicicleta alugada (UNDERCOVER S.L, 2005).

Este equipamento pode ser mantido e controlado a distância através de uma ligação sem fios GPRS/3G (*General packet radio service/3ª Geração*). Além disso pode funcionar com recurso a energias renováveis, sendo assim um equipamento totalmente autónomo (UNDERCOVER S.L, 2005).

Na Figura 2.5 pode-se observar o aspecto exterior do sistema b-igloo, sendo de notar que a superfície exterior pode ser usada para publicidade ou integrada visualmente no local a instalar. Na

Figura 2.6 é ilustrada a constituição interior deste equipamento, onde pode ser observado a disposição das bicicletas e o aproveitamento do espaço (sem a ilustração das boxes). Este equipamento também pode ser instalado no interior de um edifício, dispensando nesse caso a cobertura em resina de poliéster (UNDERCOVER S.L, 2005)

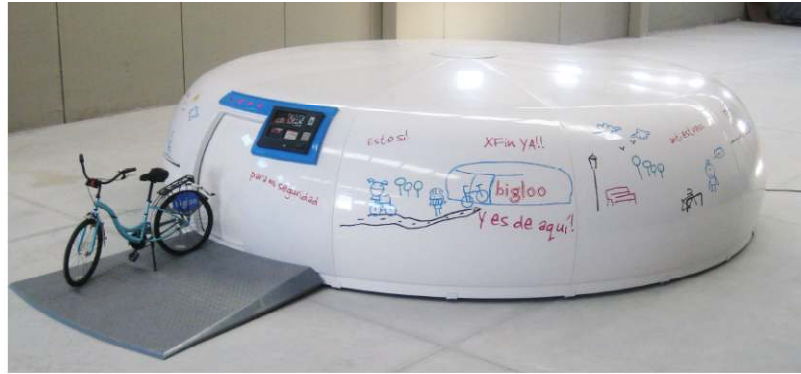


Figura 2.5 - Aspecto exterior do sistema b-igloo (UNDERCOVER S.L, 2005).

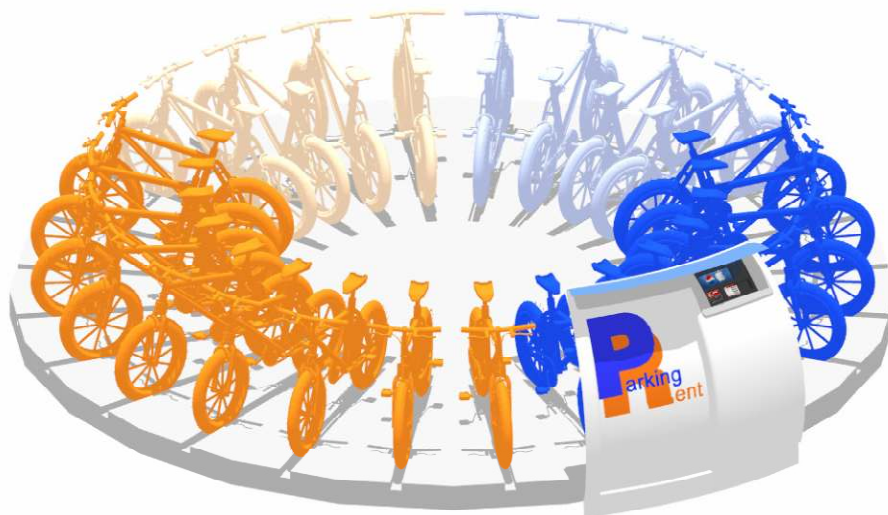


Figura 2.6 - Esquema explicativo da constituição do sistema b-igloo (UNDERCOVER S.L, 2005).

2.4.2.2. Funcionamento

Como este sistema é baseado no Biceberg, o seu modo de funcionamento é idêntico ao descrito no subcapítulo 2.4.1.2.

2.4.2.3. Instalação e recursos necessários

Este equipamento não precisa de trabalhos de construção civil especializados para sua instalação. Apenas é necessária uma área circular com 7m de diâmetro em superfície plana e assegurar a alimentação eléctrica caso não se opte pela instalação de painéis solares (UNDERCOVER S.L, 2005).

2.4.2.4. Vantagens e limitações

Este sistema apresenta as seguintes vantagens:

- Permite guardar de forma segura e cómoda uma bicicleta de qualquer tamanho e todo o equipamento associado ao seu uso;
- Pode ser instalado de forma permanente ou temporária sem necessitar de trabalhos especializados de construção civil para a sua instalação;
- Pode funcionar de forma totalmente autónoma com recurso a energias renováveis e comunicações sem fios;
- Pode ser facilmente integrado na paisagem, decorado com publicidade ou até parcialmente enterrado, ou instalado no interior de um edifício (nesse caso apenas o equipamento mecânico é instalado);
- O sistema é bastante rápido a responder, bastando 10 segundos para devolver a bicicleta.

E as seguintes limitações:

- Não permite ampliação, sendo a sua capacidade fixa;
- Apenas pode ser instalado a superfície, ocupando assim algum espaço na via pública.

2.4.3. Cycle Tree – Multi-Level Mechanical Bicycle Parking System

Este sistema criado pela JFE Engineering Corporation permite armazenar de forma totalmente automática uma grande quantidade de bicicletas num espaço reduzido. Este foi desenvolvido no Japão e garante-nos a segurança da bicicleta contra pessoas e intempéries.

2.4.3.1. Descrição

O Cycle Tree (ilustrado na Figura 2.7) é composto por um enorme silo subterrâneo, constituído por pequenas calhas dispostas de forma radial em relação ao eixo do silo (Figura 2.8 ponto A). Essas calhas foram desenvolvidas de modo a permitirem estabilizar as bicicletas, através de um encaixe próprio para as rodas. No centro do silo alinhado com o eixo vertical existe um robô (Figura 2.8 no ponto B) que se desloca axialmente e roda sobre o seu próprio eixo para arrumar as bicicletas nas

calhas. Esse robô possui umas garras para segurar a bicicleta e um braço extensível para colocar a bicicleta ao longo das calhas radiais dispostas no silo. Neste sistema o silo é construído a medida do local a instalar e de acordo com a capacidade requerida (JFE Engineering Corporation, 2009).

O controlo de acessos é feito por meio de um cartão magnético e uma etiqueta de RFID colocada na bicicleta quando é feito o registo no sistema. A segurança do utilizador é garantida pelos sensores que detectam a presença de pessoas junto a zona de recepção (JFE Engineering Corporation, 2009).

Na Figura 2.9 pode-se observar um parque de bicicletas na estação Kasai em Tóquio. Tendo uma capacidade total para 6480 bicicletas, é composto por 36 silos com a capacidade de 180 bicicletas cada. É considerado actualmente o maior parque automático subterrâneo de bicicletas do mundo e iniciou o seu funcionamento no ano 2008 (JFE Engineering Corporation, 2009).



Figura 2.7 - Aspecto da zona de recepção e entrega das bicicletas (JFE Engineering Corporation, 2009).

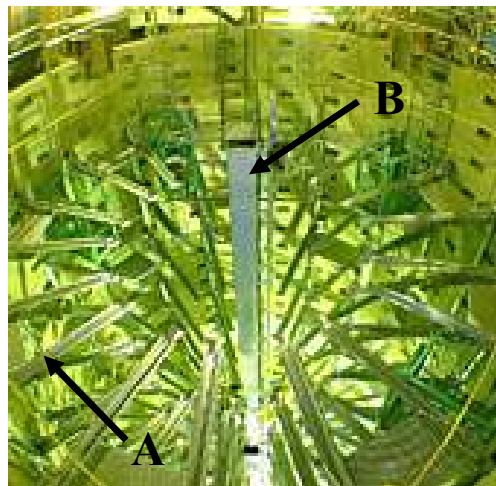


Figura 2.8 - Vista do interior de um silo do sistema Cycle Tree. No ponto A podemos observar as calhas onde são guardadas as bicicletas, e no ponto B o respectivo robô (JFE Engineering Corporation, 2009).



Figura 2.9 -Parque de bicicletas na estação Kasai em Tóquio (JFE Engineering Corporation, 2009).

2.4.3.2. Funcionamento

O funcionamento do sistema por parte do utilizador é simples e compreende os seguintes passos:

Armazenar a bicicleta:

- a) Colocar a bicicleta na zona de recepção respectiva;
- b) Pressionar o botão de entrada, a etiqueta de RFID colocada na bicicleta é reconhecida pelo sistema e está associada ao cartão magnético do utilizador;
- c) A bicicleta é automaticamente armazenada pelo sistema.

Levantar a bicicleta:

- d) Colocar o cartão magnético no leitor;
- e) Aguardar que a bicicleta chegue a zona de recepção;
- f) Retirar a bicicleta do local de recepção.

2.4.3.3. Vantagens e limitações

Este sistema apresenta as seguintes vantagens:

- Permite uma grande capacidade de armazenamento;
- Não ocupa muito espaço a superfície, uma vez que o silo de armazenamento é subterrâneo;
- A identificação da bicicleta permite simplificar o processo de entrega e devolução, tornando o sistema mais fácil de usar;
- O sistema é modular e configurável de acordo com as necessidades.

E as seguintes limitações:

- Só permite armazenar a bicicleta, ficando os acessórios como o capacete, por exemplo, a guarda do utilizador;
- Requer trabalhos especializados de construção civil para sua instalação.

2.4.4. Bikedispenser

O alemão Luud Schimmelpennink criou em 1968 o conceito do uso de bicicletas para transporte público. Assim foram desenvolvidos vários sistemas para partilha de bicicletas (bike-sharing). O sistema mais recente é o Bikedispenser (Figura 2.10). Este permite guardar as bicicletas em regime de bike-sharing de forma segura, protegidas das intempéries e dos actos de vandalismo (Bikedispenser, 2009).



Figura 2.10 - Vista exterior do sistema Bikedispenser (Bikedispenser, 2009)

O fabricante não dispõe de muita informação sobre o funcionamento do equipamento, no entanto dispõe de informação sobre os diversos modelos existentes e respectivas configurações. O sistema Bikedispenser pode ter uma capacidade de 20, 35 ou 50 bicicletas e pode assumir diversas configurações, como ilustrado na Figura 2.11. O sistema só funciona com um modelo de bicicletas construídas de acordo com especificações próprias (Bikedispenser, 2009).

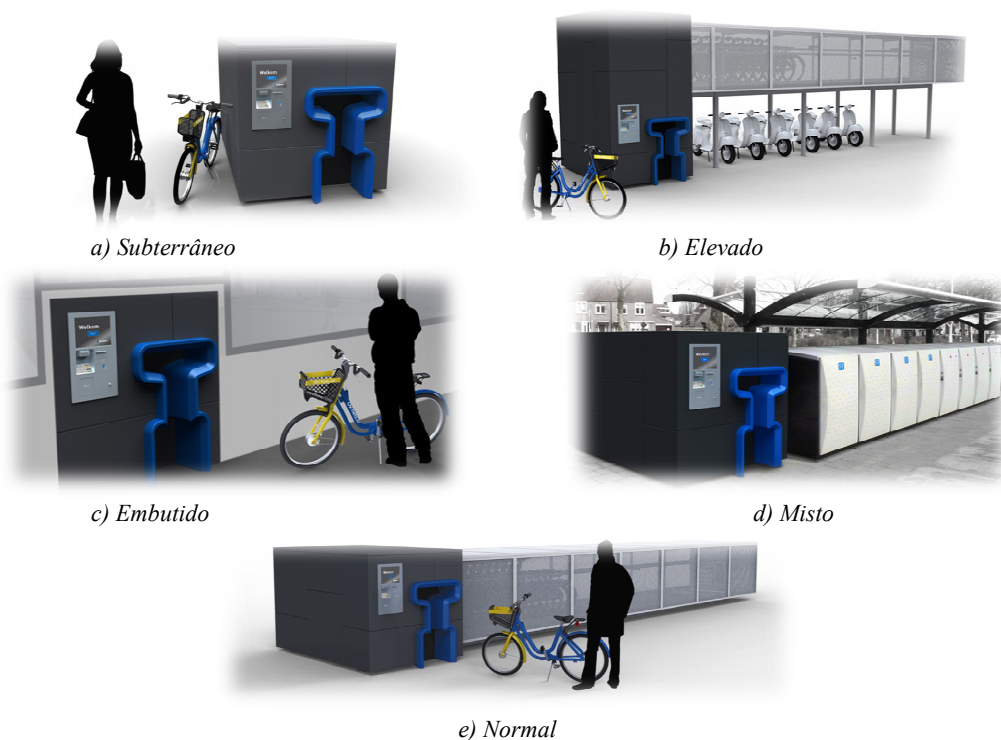


Figura 2.11- Diversas configurações do sistema Bikedispenser (Bikedispenser, 2009)

2.4.4.1. Vantagens e limitações

Este sistema apresenta as seguintes vantagens:

- Permite diversas configurações e capacidades;
- O espaço condensado permite armazenar uma grande capacidade de bicicletas num espaço reduzido.

E as seguintes limitações:

- É um sistema de bike-sharing;
- Apenas pode ser usada uma bicicleta construída de acordo com especificações próprias, o que inviabiliza o uso do sistema como um parque.

A automação de todos os sistemas acima descritos é feita com recurso a tecnologias já existentes e usadas há alguns anos noutros sectores, como por exemplo na logística e distribuição. Na realidade a maioria dos parques de armazenamento automático apresentados nada mais são do que um armazém automático construído especificamente para bicicletas.

No subcapítulo seguinte será feita uma abordagem ao tema dos armazéns inteligentes, nomeadamente a descrição sucinta do seu funcionamento.

2.5. Armazéns Inteligentes

Hoje em dia, a logística e distribuição têm um papel muito importante junto da produção e da comercialização dos bens. Tal facto advém da necessidade cada vez maior de movimentar os bens da produção para o seu destino final no menor tempo e custos possível.

Tal necessidade muitas vezes é satisfeita com recurso às grandes centrais de distribuição. Essas centrais são imprescindíveis na cadeia de distribuição, pois permitem o agrupamento dos produtos oriundos de diferentes fontes (locais de produção) num só local, para posterior distribuição aos clientes ou retalhistas.

A optimização e redução dos custos destas grandes centrais obriga muitas vezes as empresas a recorrerem a armazéns inteligentes (automated storage and retrieval systems (AS/RS)). Estes são sistemas que permitem o armazenamento e a recolha dos bens de forma totalmente automática. São controlados por computador e recorrem a unidades de armazenamento padrão (caixas ou paletes) facilmente armazenadas com recurso a um robô transelevador, como ilustrado na Figura 2.12 (Rushton, Oxley, & Croucher, 2000).



Figura 2.12 - Armazém inteligente, com destaque para o robô transelevador (MECALUX, 2010).

2.5.1. Funcionamento

O funcionamento dos armazéns inteligentes baseia-se num robô transelevador central. Este robô é constituído por um elevador colocado entre duas estantes, com capacidade de retirar e colocar as caixas de forma totalmente automática, como ilustrado na Figura 2.13 a). O robô transelevador encarrega-se de armazenar e retirar as caixas das estantes e coloca-las na cabeceira do armazém, executando dois movimentos: em comprimento, ao longo do corredor guiado por um carril; e na vertical, ao fim de colocar as caixas nos diferentes níveis.

A colocação da caixa nas estantes é feita com recurso a um sistema de extracção lateral, como ilustrado na figura Figura 2.13 b). Neste sistema um tapete rolante montado no elevador permite arrastar a caixa de cima da estante para o elevador central (movimento transversal).

O sistema é controlado por computador de forma totalmente automática e está ligado com a base de dados para a gestão dos stocks, das entradas e das saídas. Um artigo registado na base de dados corresponde a uma determinada posição na estante. O controlador usa essa informação para dar ordens ao robô transelevador para movimentar a respectiva caixa do local onde está armazenada até à cabeceira do armazém ou vice-versa (MECALUX, 2010) (Rushton, Oxley, & Croucher, 2000).

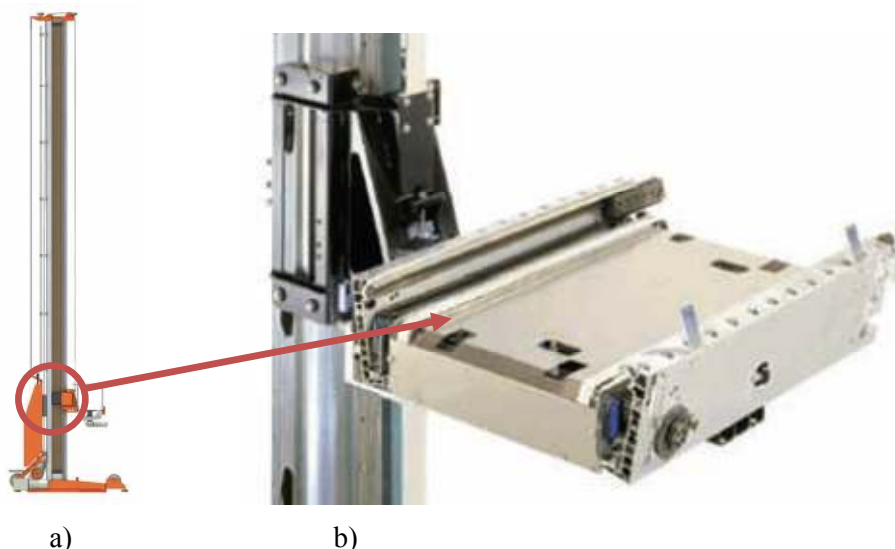


Figura 2.13 - Robô transelevador (a) e sistema de extracção lateral (b)

O estudo dos sistemas de armazenamento inteligente servirá de inspiração para a proposta de um modelo para um protótipo do sistema de armazenamento de bicicletas.

E é relativamente fácil adotar a tecnologia existente nos armazéns inteligentes para os transformar em parques automáticos de bicicletas. Uma alteração possível é, por exemplo, a troca das caixas padronizadas, vulgarmente usadas, por caixas com dimensões e características adaptadas a colocação de uma bicicleta tal como existe no sistema biceberg ou B-igloo.

2.6. Conclusão

Em síntese, é possível observar que cada sistema tem as suas vantagens e limitações (resumidas na Tabela 2.1). Dependendo da utilização pretendida assim é possível ter uma solução que melhor se adequa às necessidades de utilização e do espaço disponível.

É de notar que temos dois tipos de utilização distintos. Temos os sistemas que podem funcionar como parque, em que as bicicletas são propriedade do utilizador e podem ter diversas configurações. E os sistemas de bike-sharing, em que as bicicletas são propriedade do promotor e são todas do mesmo modelo ou com especificações próprias. Os sistemas que funcionam exclusivamente em regime de bike-sharing apresentam vantagens no espaço ocupado, porque este está optimizado em função das dimensões da bicicleta (Como demonstrado na Tabela 2.1 para o sistema Bikedispenser).

Tabela 2.1 - Quadro síntese das características dos equipamentos estudados

	Biceberg	B-igloo	Cycle Tree	Bikedispenser
Capacidade	23 a 92	24	Variável ¹	20 a 50
Configuração	Subterrâneo ou instalado numa cave	Superfície ou instalado numa cave	Subterrâneo	Subterrâneo Elevado Misto Superficial Embutido
Utilidade	Parque e bike-sharing	Parque e bike-sharing	Parque	Bike-sharing
Instalação	Requer escavação e construção de estrutura em betão	Requer uma superfície plana de 7m de diâmetro	Requer a construção de um silo no solo	Pode ser instalado à superfície.
Relação Volume Ocupado vs. Capacidade²	Razoável	Razoável	Boa	Muito Boa
Capacidade de guardar outros objectos	Sim	Sim	Não	Não

Outra característica que pode claramente diferenciar os sistemas é a capacidade de guardar outros objectos juntamente com a bicicleta. Neste ponto o sistema Biceberg e o B-igloo apresentam larga vantagem.

Quanto à capacidade, esta é variável em todos os sistemas menos no B-igloo, que está limitado a 24 bicicletas. O sistema Cycle Tree, é construído quase a medida do local a instalar e por isso a sua capacidade pode ser configurada de diversas formas.

O sistema b-igloo apresenta a vantagem de poder ser instalado de forma temporária e autónoma (com recurso a energias renováveis).

Quanto à instalação, os sistemas B-igloo e o Bikedispenser podem ser instalados à superfície não necessitando de trabalhos de construção civil. Os restantes sistemas requerem trabalhos especializados de construção civil o que pode encarecer a sua instalação.

Os armazéns inteligentes possuem tecnologia desenvolvida há vários anos que pode servir de inspiração ao desenvolvimento de um sistema de armazenamento automático de bicicletas. A proposta a apresentar no capítulo seguinte terá em consideração as características, vantagens e limitações dos sistemas estudados neste capítulo, assim como o funcionamento dos armazéns inteligentes também estudados neste capítulo.

¹ A capacidade depende da configuração usada na altura da construção. Configurações típicas são por exemplo: Conjuntos de 18x10 e 21x16 (bicicletas x níveis).

² Apreciação meramente qualitativa.

Capítulo 3

SISTEMA PROPOSTO PARA ARMAZENAMENTO AUTOMÁTICO DE BICICLETAS

3.1. Introdução

Neste capítulo é apresentada uma proposta para o parque automático de bicicletas. A proposta aqui apresentada vai servir de base para o projecto de automação e controlo do respectivo parque.

Para o desenvolvimento de uma proposta válida é necessário, em primeiro lugar, estudar as características de projecto como: lotação; capacidade de resposta; tipo de instalação; locais a instalar; etc.

Depois do estudo das necessidades, poder-se-á então criar um modelo simplificado da estrutura do sistema, uma vez que não existe um modelo real que possa servir de base de trabalho.

O projecto estrutural do sistema sai fora do âmbito deste trabalho e portanto não será apresentado. No entanto, a proposta aqui apresentada poderá servir de base para um futuro projecto estrutural do equipamento.

3.2. Análise das Necessidades

3.2.1. Objectivo do Sistema

O sistema, desenvolvido no âmbito deste trabalho, tem como objectivo o estacionamento automático de bicicletas. Ao utilizador cabe apenas identificar-se perante o sistema e seguir as instruções assinaladas para a correcta recepção da bicicleta dentro do equipamento. Depois de ser feita a entrega da bicicleta, no equipamento, esta é guardada de forma totalmente automática e sem intervenção por parte do utilizador.

3.2.2. Requisitos do sistema

O projecto de um sistema mecânico inicia-se pela definição do seu objectivo. Depois de definido o objectivo, descrito no parágrafo anterior, torna-se importante definir o conjunto de características a impor ao equipamento ou seja os requisitos do seu projecto.

Para o desenvolvimento deste equipamento foram definidos os seguintes requisitos:

- a) Permitir guardar qualquer tipo de bicicletas tais como: bicicletas de estrada; de montanha; desportivas e eléctricas.
- b) Deverá permitir guardar objectos pessoais junto à bicicleta tais como: capacete; mochila; joelheiras; sacos de compras; etc.
- c) As bicicletas e os bens deverão ficar armazenados em segurança e sem acesso do exterior. Ficarão assim protegidos, quer de actos de vandalismo, quer de intempéries;
- d) A entrega/recolha da bicicleta deverá ser feita de forma totalmente automática e sem intervenção do utilizador;
- e) A segurança do utilizador e dos bens guardados dentro do equipamento, deverá ser assegurada. Para isso o sistema não poderá permitir a entrada de pessoas e animais dentro do equipamento. As portas não poderão fechar caso haja algo a impedir o seu fecho. A pressão máxima de fecho das portas também deverá ser limitada para evitar acidentes;
- f) O custo de armazenamento deverá ser contabilizado de acordo com o tempo em que a bicicleta esteve armazenada no sistema. A gestão dos utilizadores poderá ser feita com recurso a um cartão de identificação por utilizador;
- g) Será privilegiado um sistema modular, facilmente expansível e facilmente adaptável as condições existentes;

3.2.3. Utilizações Tipo e Locais de Instalação

Um equipamento deste tipo terá como público-alvo qualquer pessoa capacitada para utilizar uma bicicleta. No entanto, podemos considerar algumas utilizações tipo e estudar as suas necessidades. Convém referir que estas utilizações tipo apenas têm em consideração os factores previsíveis para cada caso. A correcta escolha de um equipamento deverá contemplar estudos de viabilidade financeira, o que sai fora do âmbito deste trabalho.

As utilizações tipo consideradas são as seguintes:

a) Complemento aos transportes públicos:

Estudantes ou trabalhadores, que se deslocam de casa para a escola ou local de trabalho e utilizam o sistema para guardar a bicicleta durante esse tempo. Neste caso, os locais preferíveis para a instalação deste género de equipamento são as estações de comboio, metro, autocarros e estacionamentos públicos. Em qualquer uma destas situações a bicicleta serve de complemento aos transportes públicos.

Por exemplo, a Gare do Oriente em Lisboa, conta com ligação ao metro, comboio, autocarros e ciclo vias. Torna-se assim um local privilegiado para a instalação deste tipo de equipamento.

As características principais a considerar nesta utilização tipo são: a lotação total; a capacidade de resposta; a disponibilidade; e o plano de preços.

A lotação total deverá ser elevada por se tratar de um local de grande afluência ao público e o tempo de utilização médio deverá ser longo (um dia de trabalho normal).

A capacidade de resposta deverá contemplar vários acessos em simultâneo para compensar os picos de utilização – como as horas de ponta. A utilização de equipamentos em duplicado, permitirá não só garantir uma maior capacidade de resposta como aumentar a disponibilidade do serviço durante as operações de manutenção ou em caso de avaria.

Quanto ao plano de preços, este deve ter em consideração longas utilizações durante vários dias seguidas.

b) Locais públicos:

Locais públicos com mais ou menos afluência ao público e que permitam o seu acesso por bicicleta, tais como escolas, zonas históricas, parques desportivos, centros comerciais, serviços públicos, zonas de lazer, cinemas, teatros, etc.

A principal característica desta utilização tipo é a variação da lotação que depende do local. Sendo que para grande parte dos casos a lotação será de pequena/média³ dimensão. Apenas um estudo estatístico e de viabilidade permitirá definir a lotação adequada ao local. Esses estudos saem fora do âmbito deste trabalho.

³ Apreciação meramente qualitativa.

A capacidade de resposta para a generalidade dos casos não será relevante uma vez que não existirão tantos problemas de picos de utilização, como no caso do dos transportes públicos. O plano de preços a adoptar poderá ser adaptado consoante o local, sendo mais comum as utilizações pontuais.

3.3. Proposta do sistema

A necessidade de criar um sistema modular e adaptável ao local a instalar, de forma a cumprir o requisito g) do subcapítulo 3.2.2, obriga a que não exista apenas uma solução possível, mas sim um conjunto de soluções possíveis tendo em conta a utilização tipo. Ou seja, será necessário projectar um sistema modular.

A forma mais fácil de conseguirmos a modularidade necessária é recorrendo a componentes padrão que podem ser adicionados ou removidos consoante a necessidade e o local onde pretendemos instalar o equipamento.

Assim, para este trabalho, são propostos os seguintes componentes que, em conjunto e devidamente combinados constituirão o equipamento final:

- **Unidades de armazenamento (UA)**

Uma unidade de armazenamento corresponderá ao espaço, em forma de paralelepípedo, onde vai ficar guardada a bicicleta e os respectivos bens do utilizador. O número total de unidades de armazenamento corresponderá a lotação máxima do equipamento. Ver capítulo 3.3.1;

- **Módulos de armazenamento (MA)**

Um módulo de armazenamento será a estrutura na qual as unidades de armazenamento irão ser guardadas. Cada módulo de armazenamento contemplado na proposta correspondente a 3 UA. Um equipamento será composto por “n” módulos de armazenamento. Estes poderão ser agrupados em diferentes configurações. Vários exemplos de configurações podem ser visualizados na Figura 3.1. Ver capítulo 3.3.2;

- **Robô manipulador;**

O robô manipulador é o componente encarregue de movimentar a unidade de armazenamento entre zona de recepção e a zona de armazenamento, ou seja, transporta as UA.

Este permitirá um acesso temporário a UA através da zona de entrega/devolução. Basicamente terá duas funções: Mover a UA desde a posição onde está

Esta unidade deverá ser construída num material leve e resistente o suficiente que a torne facilmente transportável e com capacidade de suportar as diferentes solicitações a que vai estar sujeita.

A unidade de armazenamento deverá possuir as seguintes características:

- Uma abertura frontal com dimensões iguais às dimensões interiores da caixa, tal como ilustrado na Figura 3.2;

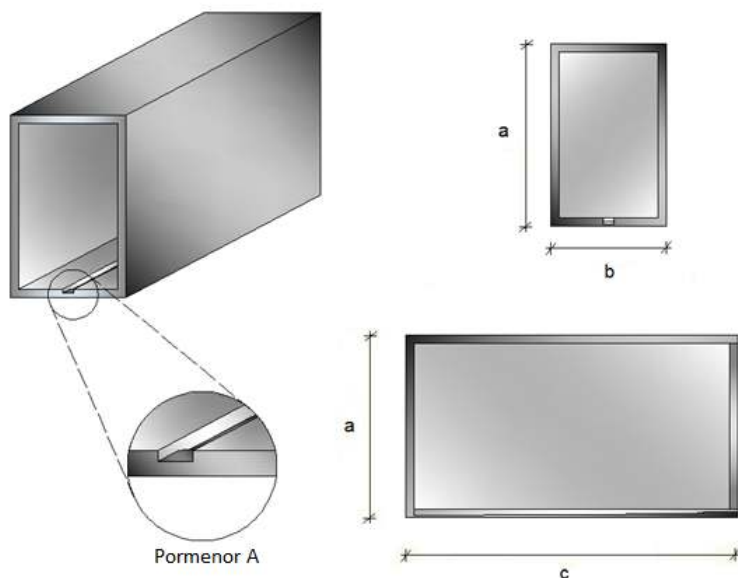


Figura 3.2 - Exemplo ilustrativo de uma unidade de armazenamento.

- As dimensões interiores deverão permitir a colocação de uma bicicleta de dimensões médias⁴;
- O fundo da caixa deverá ser ligeiramente inclinado para dentro, e deverá ter uma ranhura disposta em todo o comprimento da caixa, ao centro, com largura suficiente para estabilizar a bicicleta na caixa (visível no pormenor A, da Figura 3.2);
- A UA deverá ficar apoiada na estrutura dos módulos de armazenamento usando um sistema de carris e rodízios. Deste modo teremos a possibilidade de retirar e colocar facilmente a UA na estrutura, ou seja nos módulos de armazenamento. Os pormenores construtivos dos carris e dos rodízios saem fora do âmbito deste trabalho, no entanto para o projecto de automação assume-se que a caixa entra no módulo de armazenamento na

⁴ Considera-se uma bicicleta de BTT de roda 26”.

horizontal e a fixação é feita por um sistema automático de mola sem necessitar de qualquer accionamento comandado.

- Como referência de projecto, assume-se que a UA terá as seguintes dimensões: $a=1100$ mm; $b=700$ mm; $c=2000$ mm (Figura 3.2). (as dimensões não são relevantes para o projecto de automação e controlo, por isso, estas medidas são meramente indicativas e assumidas de acordo com uma bicicleta comum);
- Assume-se que o peso máximo que a UA poderá armazenar é 50 kg. Este valor tem em consideração que uma bicicleta comum e eléctrica pesa aproximadamente 15 kg e 25 kg, respectivamente. Assim garantimos uma margem de 25 kg para os acessórios. A definição do peso máximo da UA será importante para o dimensionamento dos motores e dos actuadores;
- Um detalhe a ter em consideração no projecto estrutural da UA, é o facto de que esta deverá possibilitar o encaixe de ambos os lados. Ou seja, com a abertura para o robô ou vice-versa. Este detalhe possibilitará maior flexibilidade na configuração da zona de entrega/devolução, pois não será prevista a possibilidade de rodar a UA durante a sua movimentação (em relação a um eixo vertical que passa no centro da mesma);
- Para o dimensionamento do robô manipulador é assumido para o peso próprio da UA, 35Kg. Considerou-se, como referência para o peso, uma caixa palete fabricada em HDPE (*high density polyethylene*), com aproximadamente 550 litros de volume e com capacidade até 1000 kg de carga (Schoeller Arca Systems, 2011) e com um peso próprio de 35 kg. Como necessitamos de mais volume (1500 litros), mas apenas 50 kg de carga, adoptamos este valor como uma referência aproximada;
- Apenas um estudo estrutural aprofundado permitirá determinar o peso correcto da UA. Esse estudo, assim como a escolha do material de construção, e os detalhes construtivos saem fora do âmbito deste trabalho.

3.3.2. Módulos de Armazenamento

Uma das características mais importantes num equipamento deste tipo é o facto de ser um sistema modular. Torna-se assim importante projectar uma estrutura que permita a sua adaptação as necessidades existentes e permita futuras ampliações.

A solução proposta para este projecto consiste no conceito de módulos agrupáveis – os módulos de armazenamento (MA). Cada módulo de armazenamento permitirá acolher três UA. Os módulos poderão ser agrupados lado a lado e empilhados em vários níveis. Cada módulo será constituído por uma estrutura metálica de suporte e um sistema de carris que servirão de suporte para as UA. Um exemplo de um módulo de armazenamento pode ser observado na Figura 3.3.

Assim assume-se, para o projecto de automação e controlo o seguinte:

- 1) A unidade de armazenamento é introduzida na horizontal dentro do MA;
- 2) O movimento entre a UA e o MA será garantido por meio de rodízios fixados na própria UA;
- 3) No módulo de armazenamento, e em cada posição de cada UA, existirá um sistema de “trinco” com mola que terá como função fixar a UA ao MA. A força exercida pelo robô deverá ser suficiente para superar a força exercida pelo trinco. No entanto a força exercida pelo trinco deverá ser suficiente para garantir que apenas o robô fará o mesmo abrir.

A capacidade do sistema a ser adaptado para a local, e a lotação necessária, é conseguida com o recurso a agrupamento de diversos MA. A disposição e o número de destes depende da lotação necessária, do espaço disponível e do número de zonas de receção/entrega desejados. Vários exemplos de configurações possíveis estão ilustrados na

Figura 3.1. A configuração adoptada como modelo neste trabalho é a ilustrada na alínea a) da mesma figura.

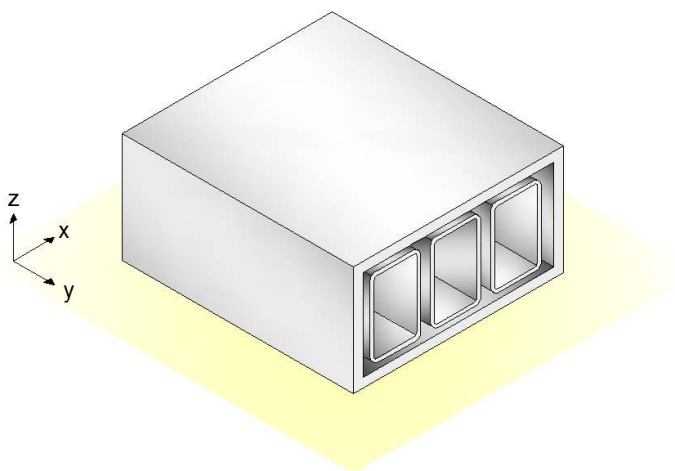


Figura 3.3 - Exemplo de um módulo de armazenamento.

A escolha de uma estrutura composta por módulos agrupáveis apresentará as seguintes vantagens:

- **Sistema modular:** as caixas podem ser dispostas em diversas configurações de acordo com as necessidades;
- **Montagem e transporte facilitada:** os módulos podem ser facilmente transportados em veículos de pequenas dimensões, característica importante em zonas históricas por exemplo. A montagem também é facilitada pois os módulos dispõem de encaixes próprios, sendo um processo bastante simples e rápido.
- **Fabrico em série:** o fabrico em série de módulos reduz os custos de produção, de armazenamento e transporte, pois todos os módulos são iguais.
- **Estrutura leve:** cada módulo pode ser construído num material leve (perfil de aço galvanizado por exemplo) mas suficientemente robusto para suportar o peso dos módulos instalados nos níveis superiores.

Uma possível desvantagem encontrada na solução adoptada é a maior probabilidade de haver erros de alinhamento, folgas, ou desvios que podem dificultar, ou mesmo impossibilitar o funcionamento correcto do robô manipulador. Para minimizar esta questão poder-se-á adoptar uma base sólida e a mais plana possível, encaixes nos módulos que evitam os erros de alinhamento e sistemas de fixação que reduzam a probabilidade de falhas.

3.3.3. Robô Manipulador

O robô manipulador terá como função movimentar a UA, no interior do equipamento, desde a posição de armazenamento até a zona de recepção/entrega e vice-versa.

A movimentação das unidades de armazenamento dentro do sistema será feita segundo os eixos cartesianos em x , y e z . Na Figura 3.4 pode ser visualizada a solução proposta para o robô manipulador. O movimento em xx corresponde ao movimento longitudinal ao longo da estrutura, e está representado na Figura 3.4 pelos carris de cor verde. Para o acesso em altura, aos módulos superiores, existirá um elevador, representado na Figura 3.4 a azul (movimento em zz). Por fim a estrutura a laranja, fixa ao elevador, conterá um actuador linear que fará a transladação da UA, do módulo de armazenamento, para a plataforma (movimento em yy). Esta deslizará sobre a plataforma superior do robô com recurso a um conjunto de rodízios e carris. Uma vez que a UA se encontre

devidamente colocada na plataforma superior do robô, o movimento em zz e em xx permitirá transportar a UA para a zona de entrega/devolução, onde o utilizador possa ter acesso ao seu interior.

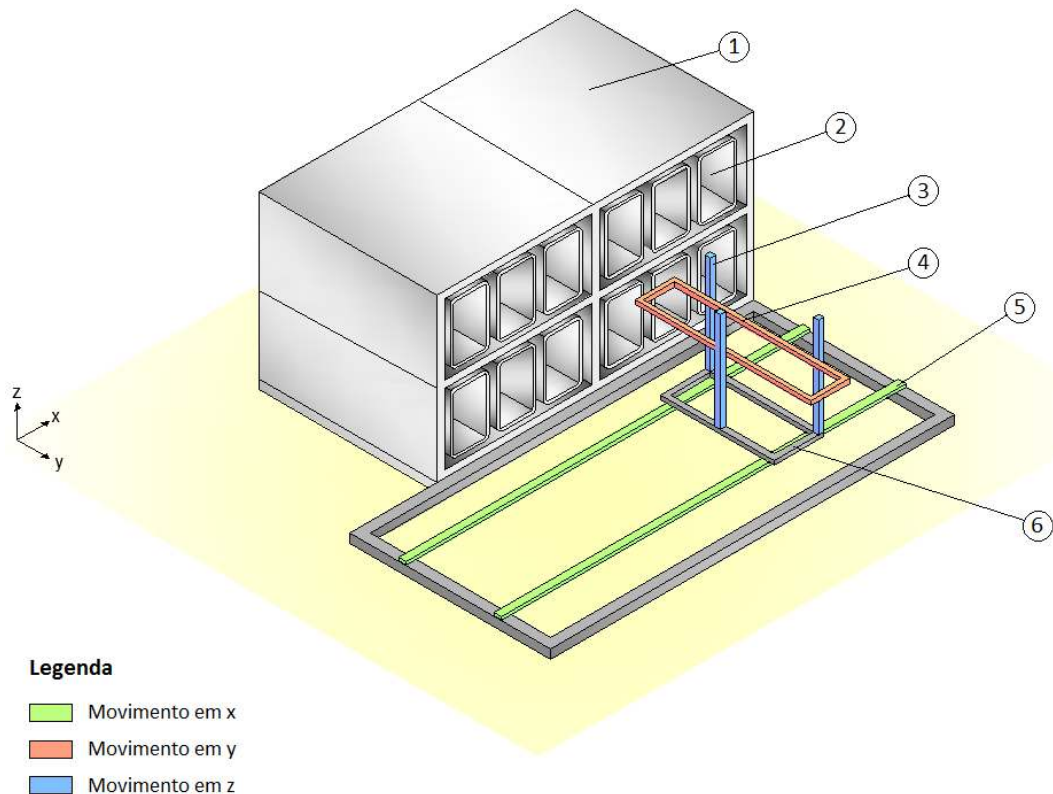


Figura 3.4 - Caracterização dos componentes do robô manipulador. (1- Módulo de armazenagem, 2- Unidade de armazenagem, 3- Elevador, 4- Plataforma superior, 5- Carris principais, 6- Plataforma inferior)

Nos subcapítulos seguintes serão apresentados os componentes constituintes do robô. No capítulo seguinte será feita um dimensionamento simplificado da estrutura do robô para uma pré-selecção dos componentes a usar nos actuadores lineares.

3.3.3.1. Carris principais de movimento do robô (base do robô):

Estes carris possibilitarão o movimento de todo o robô segundo o eixo dos xx . O comprimento destes carris depende da configuração dos módulos adoptada.

Deverá ser adoptada uma tecnologia que possibilite o movimento linear sem limitações de comprimento e que simultaneamente garanta uma precisão suficiente para garantir o correcto alinhamento da plataforma superior com a UA.

3.3.3.2. Elevador:

O elevador terá como função garantir o movimento do robô segundo o eixo zz. Este movimento possibilitará o acesso às unidades de armazenamento dos níveis superiores.

O movimento de subida e descida faz-se por meio de dois ou mais actuadores lineares.

A tecnologia adoptada para os actuadores lineares deverá garantir uma capacidade de carga e uma precisão suficiente para o correcto alinhamento entre a plataforma superior e a UA.

3.3.3.3. Plataforma superior:

A plataforma superior servirá de suporte à UA de armazenamento durante o seu transporte. Além disso terá a função de movimentar a UA segundo o eixo yy. Este movimento permite a deslocação da UA desde o MA até a plataforma do robô e vice-versa.

Esta deverá ser composta por uma estrutura metálica e um actuador linear que permitirá o movimento da UA na plataforma. A estrutura servirá de fixação entre o elevador e o actuador linear, e ao mesmo tempo suportará o peso da UA. Existirá um elemento de bloqueio (“trinco”) comandado electricamente que permitirá fixar a UA ao actuador linear de modo a permitir o seu deslocamento ao longo da plataforma.

Em determinadas configurações, a plataforma poderá funcionar nos dois sentidos. Isto significa que, no caso de se optar por duas zonas de armazenamento (em que o robô manipulador localiza-se no meio das duas), a plataforma conseguirá deslocar as UA localizadas no lado direito e lado esquerdo (observando-se o robô na direcção do eixo dos xx). Um exemplo prático, é a configuração adoptada neste projecto.

O pormenor da fixação do actuador à UA, bem como os carris que suportarão o peso proveniente dos rodízios existentes nas UA, saem fora do âmbito deste projecto. Para o projecto de automação e controlo serão considerados os seguintes pontos:

- 1) O elemento de bloqueio da UA ao actuador linear da plataforma deverá ter uma configuração que permita o funcionamento para ambos os lados.
- 2) O robô só deverá iniciar o movimento da UA, se e só se o elemento de bloqueio estiver devidamente actuado.

3.3.4. Módulo de entrega/devolução

Este é o módulo encarregue de disponibilizar ao utilizador acesso directo ao interior da unidade de armazenamento.

Do ponto de vista do utilizador apenas existirá uma porta que abrirá automaticamente quando for iniciado o processo de entrega, ou recolha da bicicleta. No entanto este módulo terá também a função de verificar se o material guardado dentro da UA cumpre com as regras de utilização. Ou seja, o módulo terá de verificar o peso da UA e verificar o conteúdo presente no interior da mesma com recurso a sistema de visão artificial.

O módulo de recepção/entrega terá uma configuração semelhante ao representado na Figura 3.5. Este será composto pelos seguintes componentes:

- **Portas automáticas:**

As portas automáticas garantirão a segurança do utilizador e do equipamento, ao limitarem o acesso a interior do mesmo. Apenas quando a UA se encontrar pronta para ser utilizada é que as portas automáticas deverão abrir. O fecho das mesmas deverá ser comandado por ordem do utilizador, e só deverão fechar depois de se verificar o conteúdo da UA. Além disso a força de fecho deverá ser limitada por sensores de pressão, como medida de segurança para o utilizador.

- **Células de carga:**

As células de carga servirão para verificar se a carga colocada no interior da UA, está dentro do valor limite admitido pelo robô. Caso a carga seja superior à admitida, o sistema emite um aviso ao utilizador e impede a utilização do mesmo, até ser retirado o peso em excesso, para evitar danificar a estrutura do robô.

- **Sistema de visão artificial:**

Esta servirá basicamente para verificar a presença de seres vivos dentro da UA. Assim é garantida a segurança dos utilizadores e do próprio equipamento e serão evitados acidentes.

- **Interface com o utilizador:**

A interface com o utilizador deverá ser colocada junto à porta automática. Esta permitirá ao utilizador identificar-se perante o sistema, e acompanhar o processo de entrega/recolha da sua bicicleta. Poderá ainda informar o utilizador sobre o custo do estacionamento, ou o número de créditos disponíveis. A identificação do

utilizador poderá ser feita com recurso a um sistema de leitura de cartões magnéticos ou RFID.

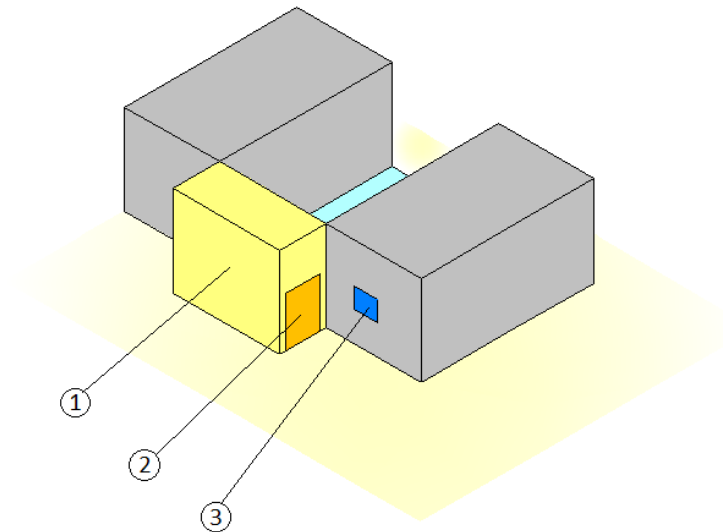


Figura 3.5 - Localização da zona de recepção/entrega (1- Módulo de Recepção/Entrega, 2- Porta automática de acesso a UA, 3- Interface de comunicação com o utilizador).

3.3.5. Configuração adoptada

Para a realização do projecto de automação e controlo necessitamos em primeiro lugar de um modelo de trabalho. É esse modelo que irá possibilitar o desenvolvimento de uma lógica funcional, na qual se baseia todo o projecto de automação e controlo.

Assim, como base de trabalho para o projecto de automação e controlo, assumir-se-á a seguinte configuração:

- Duas zonas de armazenamento – Figura 3.6;
- Cada zona de armazenamento será composta por 4 módulos agrupados dois lado a lado em dois níveis (2x2), o que perfaz um total de 24 unidades de armazenamento – Figura 3.7;
- O robô ficará localizado entre as duas zonas de armazenagem - Figura 3.8;
- A zona de entrega/devolução localiza-se entre as duas zonas de armazenamento (Esta terá a configuração semelhante a ilustrada na Figura 3.5).

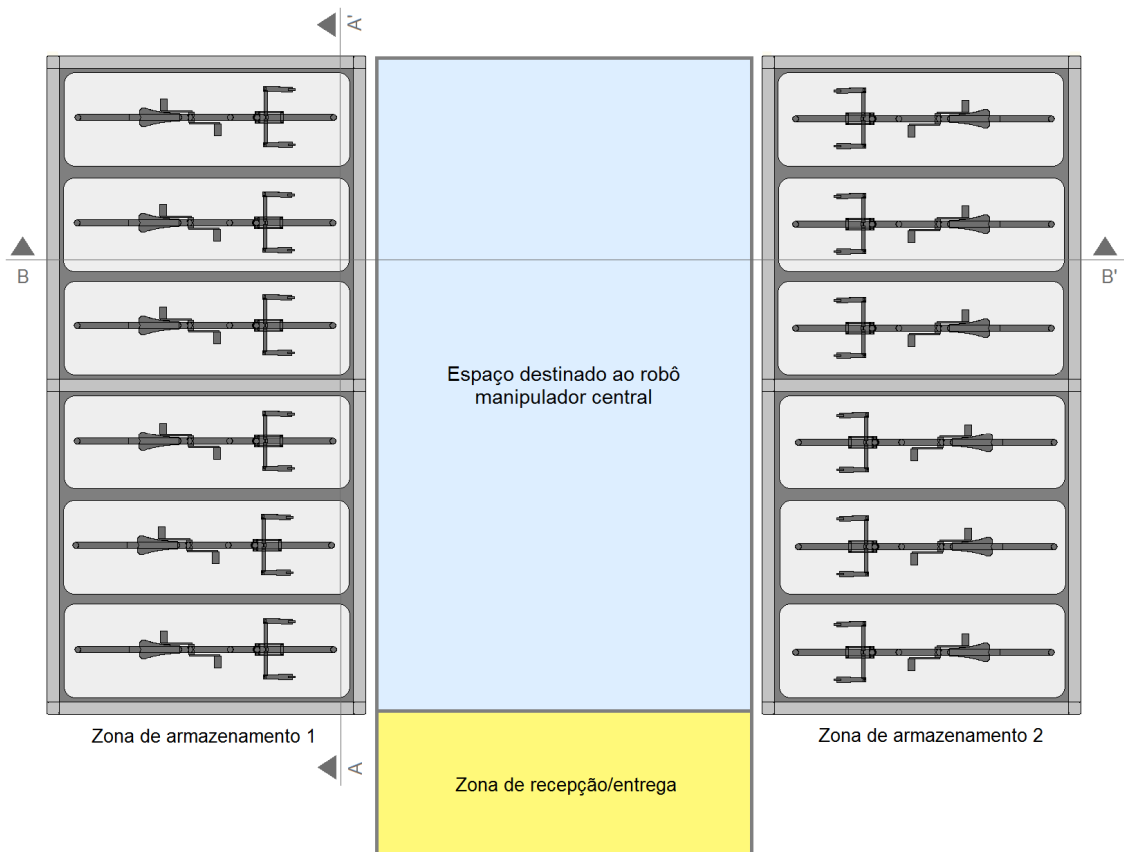


Figura 3.6 – Configuração da estrutura adoptada - Vista em planta.

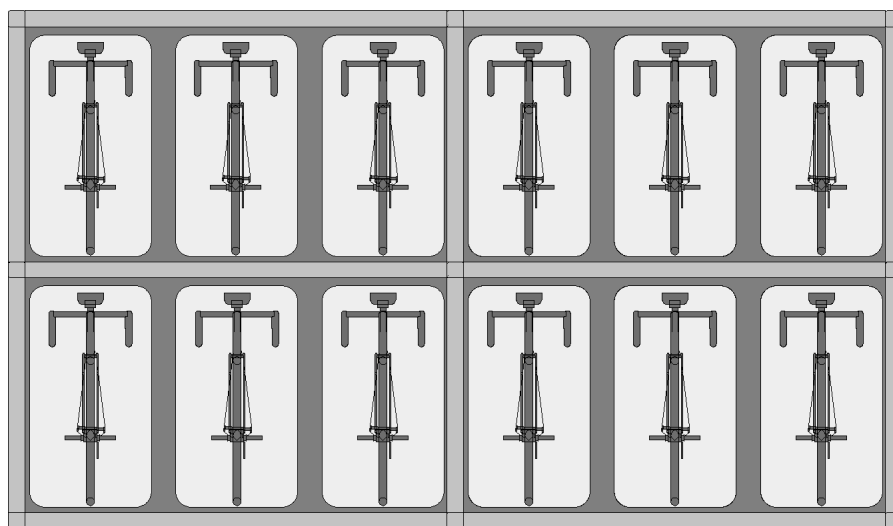


Figura 3.7 - Configuração da estrutura adoptada - Corte AA'.

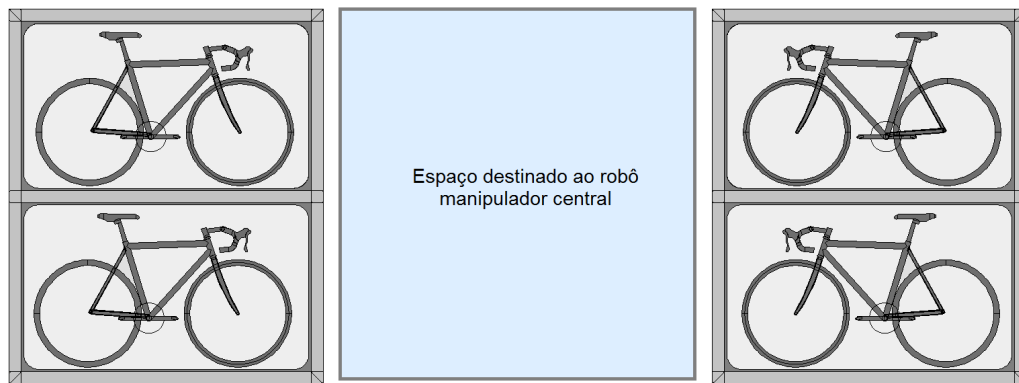


Figura 3.8 - Configuração da estrutura adoptada - Corte BB'.

A configuração adoptada apresenta as seguintes vantagens:

- Optimização do funcionamento do robô. O mesmo robô actuará sobre duas zonas – zona de armazenamento 1 e 2;
- Estrutura facilmente expansível. Adicionando-se mais módulos aos existentes conseguir-se-á um aumento da capacidade;
- A adopção de um sistema de apenas 3 eixos, em que a UA é sempre deslocada com a mesma orientação. Esta medida permite baixar o custo e a complexidade do equipamento, essencial para garantir a viabilidade económica do mesmo.
- O modelo adoptado permite uma configuração compacta, simples e económica. Tem uma lotação de pequena/média⁵ dimensão, adequada para locais como parques desportivos ou escolas.

E as seguintes limitações:

- A impossibilidade do robô rodar sobre o eixo zz torna necessária a existência de uma zona de entrega/devolução sobressaída da estrutura principal, tal como ilustrado na Figura 3.5. Implica também a organização das UAs de forma a que a abertura fique sempre orientada para a porta da zona de entrega/devolução.

⁵ Apreciação meramente qualitativa.

3.4. Conclusão

Com este capítulo obteve-se um modelo de protótipo minimamente definido, que servirá de base ao projecto de automação e controlo do parque automático de armazenamento de bicicletas.

Convém referir que o modelo aqui desenvolvido não deve ser admitido com definitivo e deverá ser melhorado e aperfeiçoado durante o desenvolvimento de um futuro projecto estrutural. Nesta fase o modelo aqui criado servirá apenas de base para o projecto de automação e controlo.

A proposta aqui desenvolvida não tem como objectivo competir com a oferta actual, mas sim completá-la. Poder-se-á classificar este parque, como um complemento aos sistemas Biceberg e b-iglo, descritos no capítulo 2. A principal vantagem em relação aos mesmos é ser modular, facilmente expansível e não necessitar de obras de construção civil, pois pode ser instalado simplesmente numa área plana.

Uma melhoria futura poderá ser, por exemplo, a implementação da possibilidade de a estrutura do robô rodar sobre ela mesma, com a adição de mais um eixo, possibilitando outras orientações da zona de entrega/devolução.

No capítulo seguinte será feita a pré-selecção dos componentes mecânicos a usar para o movimento do robô, essenciais para o dimensionamento e selecção dos motores. O capítulo seis desenvolverá o projecto de automação e controlo do modelo de protótipo aqui proposto.

Capítulo 4

DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DO ROBÔ MANIPULADOR

4.1. Introdução

Este capítulo tem como objectivo principal o dimensionamento e selecção de um protótipo para o robô manipulador, essencial para o desenvolvimento do projecto de automação e controlo.

O dimensionamento do protótipo servirá, nesta fase, apenas para a pré-selecção dos componentes a utilizar e também para a escolha e selecção dos motores, essenciais para o movimento do robô.

Os movimentos do robô manipulador serão permitidos com recurso a actuadores lineares que têm a particularidade de transformar o movimento rotativo dos motores em movimento linear.

Neste sistema necessitamos de movimento em três eixos (robô manipulador cartesiano), que são: o movimento da base do robô, segundo xx ; o movimento do elevador, segundo yy ; e o movimento da UA na plataforma superior, segundo yy . Para cada movimento será feito um cálculo das forças actuantes e apresentada uma possível solução tecnológica. Será feito o cálculo aproximado da massa da solução tecnológica escolhida para o dimensionamento do componente seguinte.

4.2. Plataforma superior

4.2.1. Cargas aplicadas

A principal carga aplicada directamente na plataforma superior é o peso da UA. Para simplificação dos cálculos considera-se a UA um paralelepípedo com a carga uniformemente distribuída.

As dimensões da UA a considerar são: comprimento 2000 mm; largura 700 mm e altura 1100 mm. A massa total a suportar pela plataforma será 85 kg correspondentes ao peso da UA mais o seu conteúdo (m_{UA}), tal como definido no capítulo anterior.

Para a plataforma será considerada uma base rectangular apoiada ao centro, tal como indicado no diagrama de forças da Figura 4.1. Para efeitos de simplificação de cálculos considera-se que a força máxima é aplicada quando a UA é movimentada para a plataforma, o que corresponde a uma força de valor igual à carga exercida pela massa da UA na extremidade da plataforma (F_{max}).

A força resultante em x ($F_{PS(X)}$) é a resultante do atrito provocado pelo deslocamento da UA, mais a força necessária para actuar o sistema de mola que fixará a UA ao módulo de armazenamento. Para a força da mola (F_{mola}) considerar-se-á 50 N. Para o coeficiente de atrito (μ_{RC}) usar-se-á o valor de 0.15 (adimensional), correspondente a um sistema roda-carril molhado (Norton, 2000).

Considerar-se-á para a plataforma as seguintes dimensões: comprimento (l_{PS}) 2700 mm e largura 800 mm. A plataforma base deverá ter um comprimento acrescido, pois os actuadores lineares na sua extremidade possuem uma caixa terminal, sendo por isso necessário adicionar um comprimento extra para que a UA fique perfeitamente alinhada ao centro da estrutura.

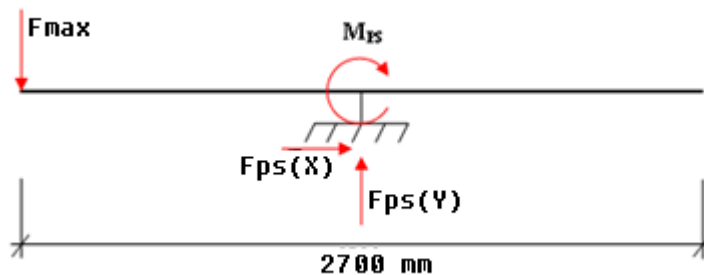


Figura 4.1 - Diagrama de forças da plataforma superior

O cálculo do momento máximo exercido pela plataforma na fixação (M_{PS}) é dado pela equação (4.1). Será desprezado o peso próprio da plataforma, pois este será uniformemente distribuído pela mesma. A aceleração da gravidade considerada para todos os cálculos será de $9,81 \text{ m/s}^2$.

$$M_{PS} = F_{max} \times \frac{l_{PS}}{2} = 85 \text{ (kg)} \times 9,81 \times \frac{2,7}{2} = 1125,70 \text{ N.m} \quad (4.1)$$

A força horizontal provocada pelo deslocamento da UA ($F_{PS(X)}$) é dada pela seguinte equação 4.2.

$$F_{PS(X)} = F_{max} \cdot \mu_{RC} + F_{mola} = 85 \times 9,81 \times 0,15 + 50 = 175,08 \text{ N} \quad (4.2)$$

A força vertical no apoio da plataforma $F_{PS(Y)}$ é dada pela soma da carga aplicada na plataforma superior, mais o peso próprio da própria estrutura. Para o cálculo da força vertical no apoio vai ser necessário o cálculo da massa da plataforma superior.

4.2.2. Escolha dos componentes

Para conseguir o movimento que nos permitirá deslocar a UA da zona de armazenamento até a plataforma superior do robô poderemos, por exemplo, adoptar um actuador linear com a referência DLS3 da marca Hepco Slide Systems (Hepco Slide Systems Ltd., 2009), mostrado na Figura 4.2. O catálogo completo do catálogo encontra-se no anexo A1-I.

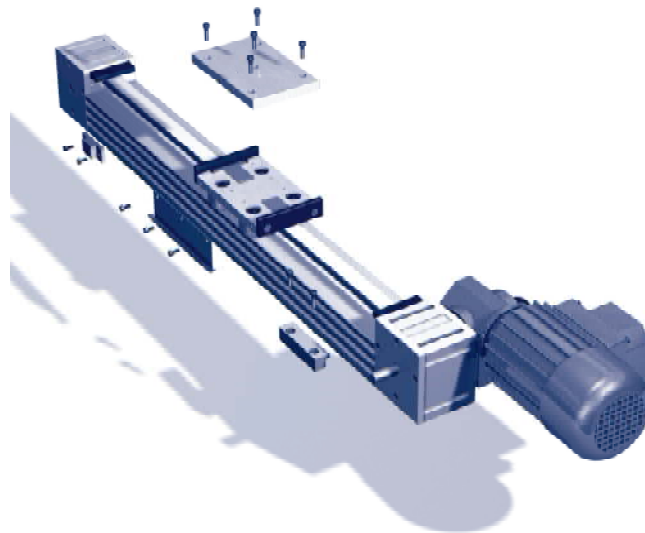


Figura 4.2 - Exemplo de um actuador linear. Sistema DLS da Hepco. (Hepco Slide Systems Ltd., 2009)

A adopção desta tecnologia permite um movimento linear, rápido e facilmente controlável. A adopção de perfis metálicos facilita a construção da estrutura da plataforma.

A disposição e os pormenores construtivos da plataforma superior saem fora do âmbito deste trabalho, assim como os detalhes construtivos do elemento de bloqueio da UA à plataforma. Assim, apenas se vai proceder aos cálculos necessários para a determinação da potência motora necessária.

4.2.3. Determinação da potência motora necessária

A potência necessária pode ser determinada de uma forma simples recorrendo-se a tabelas de selecção rápida. Os catálogos técnicos dos fabricantes fornecem toda a informação necessária para o dimensionamento.

Para o dimensionamento será necessário adoptar uma velocidade linear. Essa velocidade permitirá a determinação da potência necessária a partir da força.

Para a velocidade de projecto na plataforma superior (v_{PS}) adopta-se o valor de 0,42 m/s. Este é um valor intermédio aceitável, pois uma maior velocidade iria provocar problemas a nível do controlo, e uma menor velocidade iria tornar o sistema demasiado lento.

Assim por exemplo para o dimensionamento de um actuador linear DLS3 da HEPCO Motion, assumindo-se uma velocidade linear da 0,42 m/s, e uma força linear previamente determinada ($F_{PS(x)}$) de 175 N, obter-se-á a combinação motor e caixa redutora necessários, como especificado na Tabela 4.1.

Esta selecção é feita com recurso a combinações padrão. Outro tipo de combinações é possível, recorrendo a outras tabelas de cálculo.

Tabela 4.1 - Excerto da tabela de selecção de motores para o sistema DLS3 (Hepco Slide Systems Ltd., 2009)

Velocidade linear a 50Hz (m/s)	Potência do Motor (Kw)	Relação Caixa Redutora	Força Linear Máxima (N)	Peso do conjunto (Kg)	Referência HEPCO
0,42	0,18	7,5	322	5,7	SW3 R7.5 1 M63L4 A1

4.2.4. Cálculo aproximado da massa da plataforma superior

A massa do actuador linear (m_{DLS3}) é calculada na Tabela 4.2 e é obtida com base na combinação do motor, da caixa redutora, do carrinho, das duas caixas terminais e o comprimento de perfil DLS3 necessário.

Tabela 4.2 - Cálculo da massa da plataforma superior (m_{DLS3}).

Componente	Massa (kg)
Motor + Caixa redutora	5,70
Carrinho	1,15
Caixas terminais	2 x 1,10
Perfil DLS3	2,70 x 7,00
TOTAL	27,95 Kg

O cálculo da massa da estrutura da plataforma ($m_{\text{estrutura}}$) é feito assumindo-se que esta é construída utilizando perfis em alumínio com dois perfis longitudinais de 2700 mm de comprimento e três perfis transversais de 800 mm.

Os perfis adoptados estão caracterizados, juntamente com a massa total da estrutura da plataforma ($m_{\text{estrutura}}$) na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Características dos perfis de construção usados (Hepco Slide Systems Ltd., 2009)

Referência HEPCO	Quantidade (m)	Massa (Kg/m)	Momento de inércia I_{xx} (cm^4)	Momento de Inércia I_{yy} (cm^4)	Massa total (Kg)
MCS 90X90	2 x 2,8 + 0,8	9,1	893	262	56,42
MCS 45X45	2 x 0,8	1,9	14	14	2,40
Total					58,82

Com base nos valores obtidos para a massa da estrutura e do actuador linear, podemos calcular a massa total da plataforma superior e consequentemente a força vertical que esta exerce sobre o elevador. Despreza-se a massa dos elementos de fixação e dos elementos rolantes (carris onde a UA vai deslizar), e do componente de bloqueio automático da UA à plataforma superior.

A massa total da plataforma superior (m_{PS}) é dada pela equação 4.3.

$$m_{PS} = m_{DLS3} + m_{\text{estrutura}} = 27,95 + 58,82 = 86,77 \text{ kg} \quad (4.3)$$

A força vertical exercida pela plataforma superior no elevador ($F_{PS(y)}$) é dada pela equação 4.4. Esta corresponde a carga máxima exercida pela UA (com a carga máxima) e o peso da plataforma superior (actuador mais estrutura).

$$F_{PS(y)} = 9,81 \times (m_{PS} + m_{UA}) = 9,81 \times (86,77 + 85) = 1686,06 \text{ N} \quad (4.4)$$

4.3. Elevador

4.3.1. Cargas aplicadas

O dimensionamento do elevador é feito com base no cálculo das forças exercidas nos apoios pela plataforma superior. O elevador é composto por dois actuadores lineares dispostos na vertical (assume-se esta configuração para simplificação dos cálculos e simplificação da estrutura),

paralelamente ao centro da plataforma superior, de modo a igualar a distribuição das cargas. Um diagrama de esforços simplificado da estrutura pode ser visto na Figura 4.3

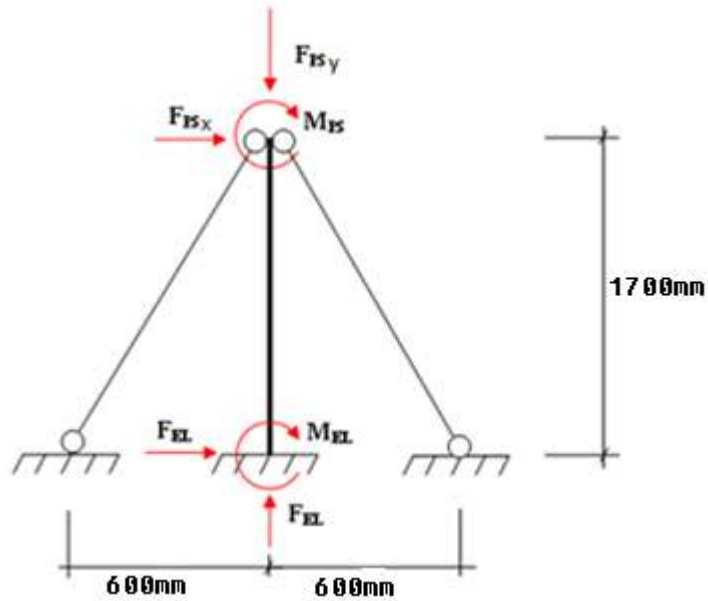


Figura 4.3 - Diagrama de esforços do elevador (vista lateral do robô)

As cargas aplicadas directamente aos actuadores são: o momento provocado pela fixação da plataforma superior ao elevador (M_{PS}); a componentes da força horizontal provocada na fixação pela plataforma superior ($F_{PS(x)}$) e a componentes da força vertical provocada na fixação da plataforma superior ($F_{PS(y)}$) anteriormente calculadas. A força exercida nas barras de suporte laterais não será tida em consideração pois não influencia directamente na escolha do actuador. O peso próprio da estrutura do elevador ($m_{elevador}$) será considerado apenas para o dimensionamento da base do robô manipulador.

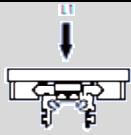
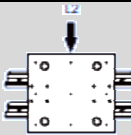
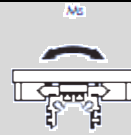
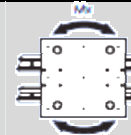

4.3.2. Escolha dos componentes

Devido às cargas mais elevadas aplicadas sobre o elevador, recorrer-se-á a uma tecnologia mais resistente e que suporta maiores cargas. A tecnologia adoptada para o elevador será o sistema HDSL da Hepco Motion.

Esta tecnologia apresenta características parecidas com o sistema DLS, no entanto com uma capacidade de carga superior e com uma maior variedade de opções. O catálogo completo deste componente encontra-se no anexo AI-II.

A escolha do actuador linear é directa, uma vez que já dispomos das forças máximas aplicadas no carrinho do actuador. Para o dimensionamento recorreu-se as características técnicas apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Excerto da tabela de selecção do sistema HDLS para vida de 10000km (HEPCO Slide Systems Ltd., 2010)

	L1	L2	Ms	Mv	M
Referência HEPCO					
HDLS-64N	3100N	5895N	190Nm	590Nm	311Nm
HDLS-64W	3100N	5895N	329Nm	766Nm	404Nm

A verificação das cargas máximas suportadas pela estrutura é conseguida directamente com recurso a consulta da tabela anterior. Assim necessitamos em primeiro lugar de verificar o momento provocado pela plataforma superior na fixação com o elevador – representado na tabela por Mv.

O momento máximo calculado anteriormente para o ponto de ligação entre a plataforma superior e o elevador (M_{PS}) foi de 1125,70 N.m. No entanto, como serão instalados dois actuadores lineares, o momento é dividido por dois e ficar-se-á com 562,85 N.m por cada actuador. Selecionou-se então o actuador com a referência HDLS-64W, por apresentar um momento máximo (Mv) com maior segurança em relação ao valor necessário.

Outro ponto que importa verificar é a força linear máxima que o sistema suporta, que para o sistema HDLS é de 3600 N usando uma caixa redutora com a referência HW5 & HB5 (HEPCO Slide Systems Ltd., 2010). A força linear máxima que necessitamos é de 842,53N, correspondente à força $F_{PS(Y)}$ a dividir por dois actuadores.

As restantes componentes não serão consideradas para este cálculo simplificado pois apresentam valores desprezáveis relativamente aos valores suportados pelo sistema seleccionado.

4.3.3. Cálculo da potência necessária

A determinação da potência necessária para movimentar o elevador, usando a tecnologia HDLS, será feita por aproximação. O cálculo rigoroso da potência está dependente de projecto estrutural elaborado em cooperação com o fornecedor.

A velocidade de projecto considerada para o elevador (v_{EL}) foi 0,3 m/s, devido a este ser o eixo com maior carga convém que tenha uma menor velocidade. A força usada para a determinação da potência é obtida através da componente vertical da força exercida pela plataforma no elevador ($F_{PS(Y)}$), mais a força de atrito. O coeficiente de atrito de rolamento do sistema HDLS (f_{EL}) adoptado é 0,03 (HEPCO Slide Systems Ltd., 2010).

Assim a potência do elevador (P_{EL}) é obtida pela equação 4.5.

$$P_{EL} = F_{PS(Y)} \cdot (1 + f_{EL}) \cdot v_{EL} = 1686,06 \times (1 + 0,03) \times 0,3 = 520,68 \text{ (W)} \quad (4.5)$$

Com base nesta potência podemos escolher o motor adequado ao sistema. As características do motor seleccionado estão descritas na Tabela 4.5. Optou-se por um motor de potência superior de 4 pólos, pois estes disponibilizam um maior binário de arranque. A relação da caixa de velocidades deverá ser fornecida pela HEPCO, pois requer um cálculo mais detalhado dos componentes adoptados. Nesta situação optou-se por um modelo com travão pois o movimento é vertical e está sujeito à força da gravidade impedindo assim o movimento indesejado do elevador.

Tabela 4.5 - Características do motor do elevador(HEPCO Slide Systems Ltd., 2011; HEPCO Slide Systems Ltd., 2010)

Potência do Motor (Kw)	Referência HEPCO Caixa Redutora	Referência HEPCO Motor
0,75	HB 05	M80L1 (4 pólos, com travão)

4.3.4. Cálculo aproximado da massa do elevador

A determinação aproximada da massa do elevador ($m_{elevador}$) é conseguida somando-se a massa de todos os componentes individuais constituintes do elevador. A Tabela 4.6 mostra a listagem de todos os componentes considerados e a soma da massa dos mesmos.

Tabela 4.6 - Listagem de componentes e determinação da massa total do elevador (HEPCO Slide Systems Ltd., 2010)(HEPCO Slide Systems Ltd., 2011).

	Referência HEPCO	Massa unitária (Kg/Un)	Quantidade	Massa (kg)
Perfil HDLS	HB 33	37,5 (Kg/m)	2x1700 (mm)	127,50
Carrinho HDLS-W-64	HDLS-W-64	17	2	34,00
Batente de fim de curso	BU 33W	1,03	4	4,12
Caixa redutora	HB 05	25	1	25,00
Motor (750w)	M80L	11	1	11

Continuação da Tabela 4.6

	Referência HEPCO	Massa unitária (Kg/Un)	Quantidade	Massa (kg)
Transmissão	N/D	5 (aprox.)	1	5,00
Suporte lateral do actuador	MCS 90X90	9,1	4x1803	62,65
Base do elevador	MCS 90X90	9,1	2x800+2x1200	34,6
Total				308,64 kg

Será considerada uma estrutura construída com dois conjuntos, distanciados entre si aproximadamente 800 mm, compostos por uma estrutura similar à apresentada na Figura 4.3. O elemento vertical será o actuador linear, sistema HDSL, e as laterais serão perfis estruturais de 90x90 de secção. Para a base do elevador será considerada uma estrutura rectangular de 800x1200 construída em perfis estruturais de 90x90 de secção. O catálogo completo dos perfis de construção encontra-se no anexo AI-III.

Os perfis adoptados para a construção da estrutura não foram dimensionados para as forças neles actuantes e são tomados apenas como referência para um peso aproximado da estrutura.

4.4. Base do robô

4.4.1. Determinação das cargas aplicadas

A base do robô suportará toda a carga aplicada no robô. Além disso servirá para deslocar este ao longo do eixo dos xx'. A carga total aplicada na base do robô será o somatório da carga aplicada na plataforma superior mais o peso próprio desta e do elevador.

A estrutura adoptada será composta por dois carris, dispostos ao longo do eixo dos xx'. Para simplificação será considerado que o elevador assenta sobre estes carris em quatro pontos e todos eles apresentam uma carga igual. Cada apoio será constituído por um carro com roletes, com ou sem tracção, que rolará sobre os carris.

O cálculo da força vertical total exercida pelo elevador e plataforma superior na base (F_{baseY}) é obtido pela soma de todas as cargas verticais aplicadas sobre a base. O seu cálculo é feito na equação 4.5.

$$F_{base(Y)} = (m_{PS} + m_{elevador} + m_{UA}) \times 9,81 = (86,77 + 308,64 + 85) \times 9,81 \Leftrightarrow$$

$$F_{base(Y)} = 4712,82 \text{ N} \quad (4.5)$$

Para simplificação dos cálculos assume-se que a única força horizontal é a força exercida pelo motor para mover a estrutura do robô, calculada no subcapítulo 4.4.3.

4.4.2. Escolha dos componentes

A tecnologia adoptada para este movimento tem de ter em conta que o curso total, ou seja o comprimento do movimento que o robô pode fazer ao longo do eixo dos xx, é variável consoante a configuração adoptada para os módulos.

Um exemplo de uma aplicação deste tipo pode ser observado na Figura 4.4. Este sistema é designado por GV3 é fabricado pela Hepco[®] Linear Systems Ltd. O catálogo completo encontra-se no anexo AI-IV.

Como pode ser visto na Figura 4.4, o sistema de transmissão de movimento é acoplado ao carro, que dispõe de orifícios próprios onde podemos acoplar a estrutura desejada.

O carro é fornecido como uma solução completa, com motor incluído, para os carris escolhidos. O movimento do carro é assegurado por um sistema pinhão-cremalheira. A cremalheira está directamente acoplada aos carris do sistema e permitem um movimento preciso e resistente a cargas mais elevadas.

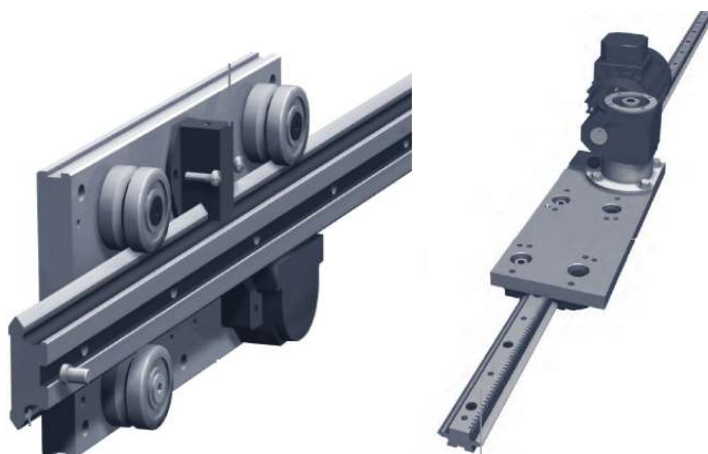


Figura 4.4 - Detalhe do sistema de transmissão linear. A esquerda conjunto de base com roletes, e à direita o carrinho com sistema de transmissão acoplada. (HEPCO Slide Systems Ltd, 2009)

Neste caso não necessitamos de escolher os componentes, pois apenas interessa determinar a potência do motor. A correcta escolha dos componentes depende de um projecto estrutural aprofundado.

4.4.3. Cálculo da potência necessária

O cálculo da potência necessária para o motor pode ser conseguido de uma forma simplificada com recurso à mesma analogia utilizada para a determinação da potência do motor do elevador.

A velocidade de projecto da base do robô (v_{base}) é de 0,42 m/s.

O coeficiente de atrito de rolamento (f_{base}) é de 0,02 (adimensional) (HEPCO Slide Systems Ltd, 2009). Além do atrito de rolamento existe também a força de atrito causada pelos elementos lubrificadores ($F_{lubrificadores}$), que neste caso é dado por uma força de 15 N (HEPCO Slide Systems Ltd, 2009).

A força necessária para mover o robô (F_{roboX}) é dada pela equação 4.7. Serão considerados quatro lubrificadores correspondentes aos quatro apoios da base do robô. Para simplificação dos cálculos é desprezada a massa do motor da caixa redutora e dos apoios da base do robô.

$$F_{base(X)} = (F_{apoiOY} \times f_{base}) + F_{lubrificador} \times 4 = (4712,82 \times 0,02) + 15 \times 4 \Leftrightarrow$$

$$F_{base(X)} = 154,3 \text{ N} \quad (4.7)$$

A HEPCO disponibiliza para o sistema GV3 uma tabela rápida de selecção de motores com base na velocidade de projecto adoptada. Com base no valor força necessário obteve-se um conjunto redutor mais motor com as características descritas na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Características do sistema redutor+motor do robô (HEPCO Slide Systems Ltd, 2009)

Velocidade linear a 50Hz (m/s)	Potência do Motor (Kw)	Relação Caixa Redutora	Força Linear Máxima (N)	Referência HEPCO Redutora	Referência HEPCO Motor
0,42	0,12	7	202	WG3	63S

4.5. Conclusão

A adopção de sistemas modulares como os actuadores DLS, HDLS, e GV3 assim como os perfis estruturais MSC, permitem a construção simples e rápida de um protótipo.

A montagem de um protótipo permite não só criar uma base de trabalho para o projecto de automação e controlo, como também, servir de modelo de estudo para um projecto da estrutura do sistema. A obtenção dum protótipo tem a vantagem de poder antever problemas e facilitar o estudo das optimizações possíveis. Com base nas potências motoras calculadas para os diversos componentes do robô, poder-se-á agora escolher os elementos de controlo essenciais para a automação do parque.

Capítulo 5

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CONTROLO

5.1. Introdução

Neste capítulo pretende-se desenvolver a componente de automação e controlo de um protótipo do sistema de armazenamento de bicicletas, proposto no âmbito deste trabalho.

O desenvolvimento de um projecto de automação e controlo é constituído por diversas fases, tal como ilustrado na Figura 5.1. Em primeiro lugar será escolhido o hardware e a respectiva linguagem de programação a ser utilizada. A fase seguinte é a programação propriamente dita da lógica de controlo definida. O processo termina com o ensaio do programa para controlar o protótipo numa bancada de ensaio.

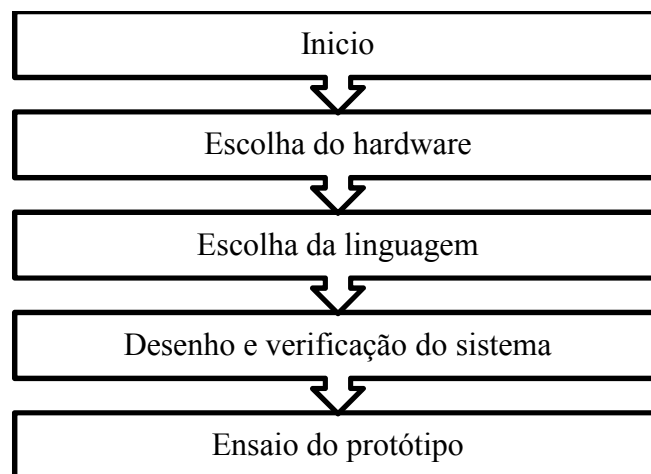


Figura 5.1 - Várias etapas de projecto de um sistema de controlo (adaptado de (Pérez, Acevedo, Silva, Quiroga, & López, 2005))

O processo de escolha do *hardware* engloba não só o controlador: autómato programável, também designado de PLC (*programmable logic controller*), mas também todos os componentes do anel de

controlo, como os sensores e os actuadores. Após a escolha dos componentes é importante definir a lista de entradas e saídas necessárias, com base nos componentes escolhidos anteriormente, para a correcta escolha do autómato e os seus módulos.

A programação deverá ser escrita numa linguagem padrão. Recentemente, devido a enorme proliferação de fabricantes, a ICE (*Internacional Electrotechnical Commission*) criou uma norma para a uniformização da programação de autómatos. A IEC-1131-3 separa as linguagens em dois tipos diferentes: Linguagens de texto ou lista de instruções como a IL (*Instruction List*), ST (*Structured Text*) ; e linguagens gráficas como a LAD (*Ladder Diagram*), FDB (*Function Diagram Blocks*), SFC (*Sequential Function Chart*) ou GRAFCET (*Gráfico Funcional de Comandos Etapa-Transição*). (Pérez, Acevedo, Silva, Quiroga, & López, 2005)

Este capítulo iniciar-se-á com a descrição dos componentes de automação e controlo, tais como os sensores, actuadores, controladores de motores, etc. De seguida será feita a selecção do autómato, dos seus módulos e da linguagem de programação utilizada. O capítulo termina com a descrição e explicação de todo o programa de controlo criado no âmbito deste projecto.

5.2. Escolha e selecção dos componentes de Entrada e Saída

5.2.1. Variadores Electrónicos de Frequência

O controlo dos três motores dos três eixos é feito com recurso a variadores electrónicos de frequência (VEF). Estes permitem controlar a velocidade do motor, assim como proporcionar arranques/paragens suaves e precisas ao mesmo tempo que se consegue uma redução no consumo de energia.

Para este projecto serão adoptados variadores electrónicos de frequência da marca Allen Bradley, modelo Power FLEX 40. Este variador vem equipado com 3 entradas digitais predefinidas (START, STOP e REVERSE) e mais 4 configuráveis por software. Também permite a configuração de 8 velocidades pré-definidas que podem ser seleccionadas usando as entradas digitais.

Um exemplo de apresentação do variador electrónico de frequência adoptado neste projecto está ilustrado na Figura 5.2.



Figura 5.2 - Exemplo de um variador electrónico de frequência (Rockwell Automation, 2008)

Estas configurações permitem um controlo a 3 fios (START, STOP e REVERSE) e o controlo a 2 fios (FORWARD e REVERSE). No controlo a 3 fios um impulso no contacto do START inicia o movimento enquanto o impulso no STOP dá ordem de paragem ao VEF. O contacto de REVERSE enquanto actuado inverte o sentido de rotação. No controlo a 2 fios o fecho do contacto FORWARD ou REVERSE provoca a rotação no sentido normal ou invertido respectivamente. A abertura do contacto provoca a paragem do motor (Rockwell Automation, 2008).

No esquema de ligações visualizado na Figura 5.3, podemos verificar que existem um contacto para cada sentido de rotação do motor, ou seja FORWARD e REVERSE (controlo a dois fios). Usando estes dois contactos (entrada 5 e 6 do controlador do variador) podemos controlar o sentido de rotação do motor de forma bastante simples e eficiente. O motor apenas funcionará enquanto um destes contactos estiver fechado, sendo que os dois em simultâneo não serão permitidos. Essa protecção contra simultaneidade deverá ser garantida na programação do PLC.

Todos os parâmetros são configurados e devem ser ajustados de acordo com a estrutura montada e as dimensões a que são colocados os sensores dos pontos de paragem efectivos. Os parâmetros mais importantes a ter em consideração na parametrização do VEF, são as rampas de aceleração e desaceleração.

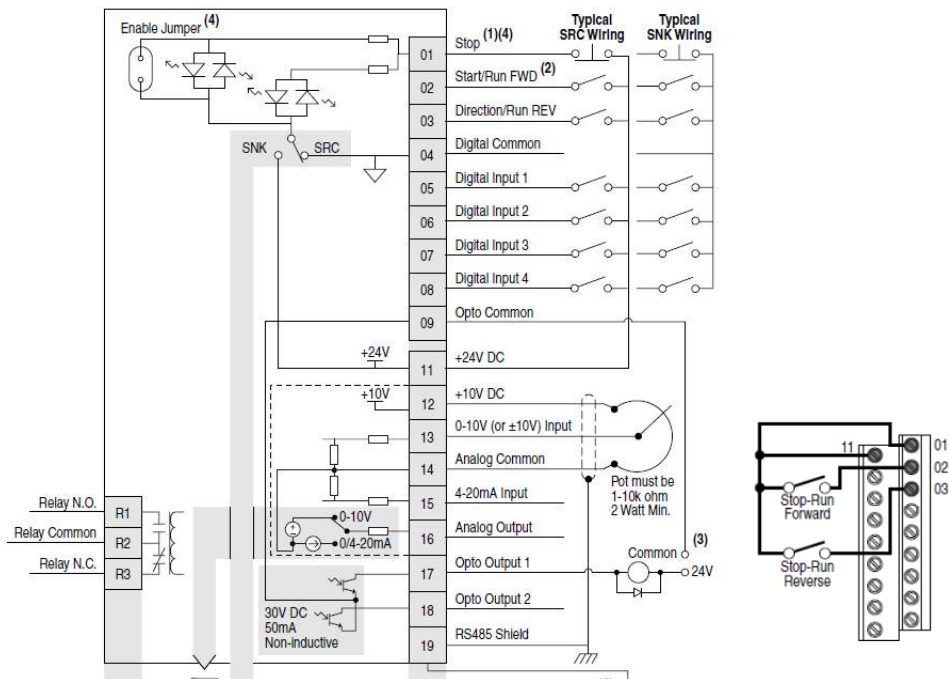


Figura 5.3 - Esquema de ligações do VEF a esquerda e pormenor da ligação do controlo a dois fios (Rockwell Automation, Inc., 2008)

As saídas digitais também podem assumir diversas configurações. Neste projecto vai ser necessário configurar uma saída digital do VEF para actuar o travão do motor do eixo zz. A função deste travão é impedir o movimento do elevador (movimento na vertical) quando este não está a ser alimentado. Para o caso dos outros eixos (y e x, movimento horizontal) apenas necessitamos de um módulo de travagem dinâmica. Deste modo aumentamos a capacidade de travagem do motor e aumentamos a precisão do sistema.

Também é possível a comunicação directa entre o variador e o PLC usando um protocolo de comunicação. No entanto essa solução iria ter custos acrescidos além de aumentar a complexidade do sistema.

Os detalhes técnicos deste equipamento estão no catálogo presente no anexo AI-V.

No projecto aqui estudado necessitamos de um total de três variadores electrónicos de frequência, um para cada motor, ou seja, X, Y e Z. Necessitaremos no total para o controlo dos motores de 6 saídas digitais (duas para cada motor, FORWARD e REVERSE).

Na Tabela 5.1 estão apresentadas as características dos VEF seleccionados para este projecto. Os VEF foram seleccionados tendo em conta a potência necessária para cada tipo de motor de acordo com a HEPCO (HEPCO Slide Systems Ltd, 2009). Optou-se pelo modelo PowerFlex 4 por ser mais

económico face ao PowerFlex 40 e possuir todas as características necessárias para o desempenho da função requerida.

Tabela 5.1 - Características dos VEF escolhidos (Rockwell Automation, 2008; Hepco Slide Systems Ltd., 2009)

	Tipo motor	Potência Motor (w)	Referência (Rockwell Automation) do VEF	Potência máxima saída (kw)	Corrente Max. Saída VEF (A)	Alimentação
Plataforma Superior (y)	M63L	180	PowerFlex 4 22A-22A-A2P3N114	0,4	2,3	240V 50/60 Hz 1 Fase c/ filtro tipo S
Elevador (z)	M80L	520	PowerFlex 4 2A-A8P0N114	1,5	8,0	240V 50/60 Hz 1 Fase c/ filtro tipo S
Base do Robô (x)	M63S	120	PowerFlex 4 22A-22A-A2P3N114	0,4	2,3	240V 50/60 Hz 1 Fase c/ filtro tipo S

5.2.2. Sensores

Para um correcto controlo da posição do robô é necessário saber a sua localização. Para o conseguirmos dispomos de duas técnicas: ou recorrendo a um sistema de controlo em anel fechado; ou usando sensores de fim de curso, e lógica de contactos, que nos indicam quando o robô atingiu a posição desejada.

5.2.2.1. Controlo do sistema em anel fechado

No caso do uso de *encoders*, estes indicam-nos a posição exacta do robô. O controlo de posição é feito com recurso a um sistema de controlo em anel fechado. A posição desejada é conseguida com base no sinal de *feedback* dado pelo *encoder*. Um controlador PID (*proportional integral derivative*) encarregar-se-á de ajustar a velocidade do motor de acordo com a posição actual e a posição desejada.

A principal vantagem deste método de controlo é a sua maior precisão e rapidez. O facto de a velocidade ser ajustada continuamente permite arranques e paragens mais suaves e conseqüentemente consegue-se maiores velocidades.

A desvantagem principal, além do aumento da complexidade do sistema, é o seu elevado custo, pois aumentamos o número de componentes e a sua complexidade.

5.2.2.2. Controlo com base em sensores fim de curso

Porém outra forma mais simples e também eficiente de se conseguir o controlo dos motores é com base em sensores de fim de curso. Estes são colocados nas posições de paragem do robô. A ordem de paragem do motor é dada quando o sensor da posição desejada fica activo, ou seja é fechado o contacto.

Um exemplo de um sensor de fim de curso mecânico encontra-se ilustrado na Figura 5.4. Neste caso fabricado pela Siemens AG.

Este método de controlo apresenta como principal vantagem a sua simplicidade e consequentemente um baixo custo. A desvantagem mais evidente é a menor precisão, assim como a velocidade de trabalho que tem de ser mais baixa para que as paragens não sejam demasiado severas.

Em determinadas configurações, em que é necessário mais velocidade de trabalho, poderá ser necessário o uso de dois sensores de posição. Neste caso, ao ser atingido o primeiro sensor é seleccionada uma velocidade baixa de aproximação da posição desejada. Usando esta técnica é possível obter repetibilidades abaixo dos 0,5 mm (Hepco Slide Systems Ltd., 2009).



Figura 5.4 - Exemplo de um sensor mecânico de fim de curso (Siemens AG, 2010)

A configuração e escolha desses mesmos sensores dependem em muito do tipo de estrutura adoptada. No caso particular deste projecto serão adoptados sensores de posição compatíveis com os actuadores lineares seleccionado.

Na Tabela 5.2 pode ser consultada o resumo dos sensores de fim de curso necessários para o projecto de automação.

É importante referir que serão necessários sensores de fim de curso adicionais, do tipo normalmente fechado (NF), imediatamente antes do fim de curso de cada eixo. Estes sensores estarão ligados em série com o botão de paragem de emergência da instalação e servirão como medida de segurança. Caso haja um problema com o programa, ou com o autómato e ao ser atingido o fim de curso efectivo,

é dada ordem de paragem imediata ao variador. A sua ligação é feita directamente ao contactor geral e desliga a energia dos variadores. Os contactos normalmente abertos estarão ligados apenas ao PLC e servirão para a determinação da posição do robô.

Tabela 5.2 - Resumo da quantidade e tipo de sensores de fim de curso necessários

Descrição	Localização	Quantidade	Tipo de contacto
X0 a X6	Eixo do X (carris)	9	7 NA + 2 NF
Y01, Y02, Y1 e Y2	Eixo do Y (plataforma superior)	6	4 NA + 2 NF
Z0, Z1 e Z2	Eixo dos Z (elevador)	5	3 NA + 2 NF

Os sensores utilizados são do tipo padrão V3 e são mecânicos. Estes têm a vantagem de poderem ser mais facilmente integrados na automação pois não necessitam de alimentação. Os sensores de fim de curso a utilizar têm a referência DLS-V7SWM da Hepco.

A localização dos sensores de fim de curso está representada na Figura 5.5, Figura 5.6 e na Figura 5.7.

Na Figura 5.5, o sensor X0, corresponderá a zona de entrega/devolução e será também a zona predefinida do robô, onde este encontra quando não está em movimento. As posições X1 a X6 correspondem as diversas posições de armazenagem no eixo dos xx'.

As posições Y1 e Y2 da Figura 5.6 correspondem as duas posições de armazenagem em yy'. As posições Y01 e Y02 correspondem a posições de transporte. Só quando a UA se encontrar numa destas posições é que o robô se pode deslocar em xx' e em zz'. A posição de transporte Y01 ou Y02 dependerá se estamos a deslocar uma UA da zona Y1 ou Y2. Deslocar uma UA da zona Y1 corresponde a uma posição de transporte Y02 e Y2 a Y01 respectivamente. Quer a posição Y01 quer a posição Y02 deverão assegurar que a UA fica perfeitamente centrada na plataforma superior, para garantir um perfeito alinhamento nas células de carga na zona de entrega e recepção.

Na Figura 5.7 a posição Z0 corresponde a posição predefinida em zz' ao mesmo tempo que juntamente com a posição Z1 correspondem as duas posições de armazenamento em zz'. O sensor ZED corresponde a zona de entrega e recepção. O elevador deve baixar até esta posição para que a UA fique apoiada sobre as células de carga e só deverá levantar dessa mesma posição caso o peso medido seja inferior ao limite máximo de carga importado.

Para que seja possível construir uma zona de entrega/devolução de menores dimensões, deverá ser assegurado que a passagem do robô da posição X1 para X0 só será feita se o elevador se encontrar na posição Z0.

A posição de uma UA será definida pelas suas posições em relação a cada eixo. Ou seja, em x, y e z.

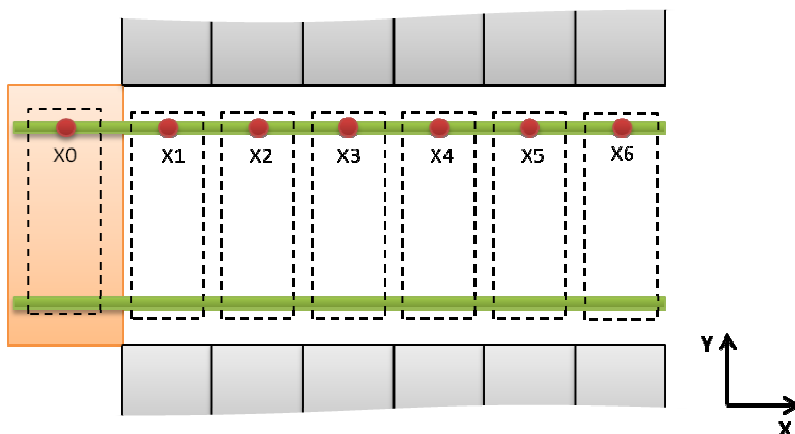


Figura 5.5 - Localização dos sensores X0 a X6 (vista em planta).

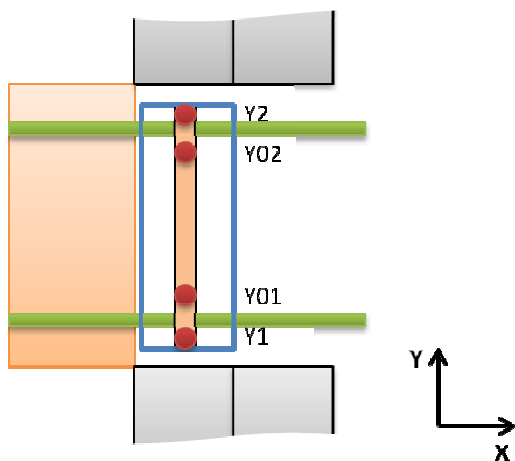


Figura 5.6 - Localização dos sensores Y1, Y01, Y2 e Y02.

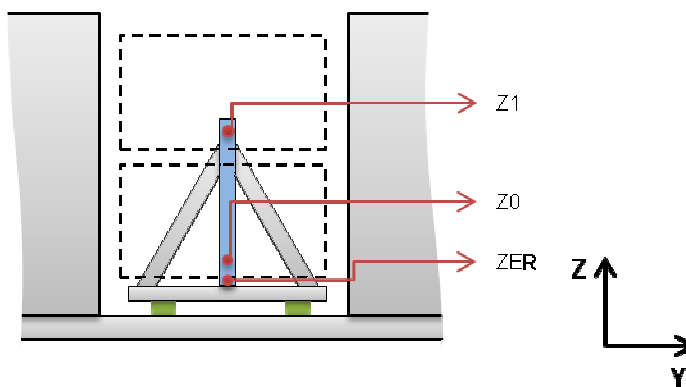


Figura 5.7 - Localização dos sensores ZER, Z0 e Z1 (vista alçado).

5.2.3. Módulo de fixação da UA

Para que o movimento da UA entre o módulo de armazenamento e a plataforma superior seja possível, será necessário um meio de fixar a UA ao carrinho do actuador linear. Essa fixação permitirá que o actuador desloque a UA para o topo da plataforma e inicie o movimento de transporte da UA até a zona de entrega/devolução.

Uma das formas possíveis de segurar a UA na plataforma superior durante o transporte é com recurso a uma garra (*gripper*). Como a ilustrada na Figura 5.8. Existem várias modelos no mercado e são usadas principalmente em tarefas de automação e robótica, especialmente para agarrar objectos.

Estas podem ser paralelas ou angulares dependendo se a garra abre com um movimento paralelo ou com um movimento angular.

A actuação geralmente é pneumática, mas também existem modelos de actuação eléctrica como o exemplificado na Figura 5.8.

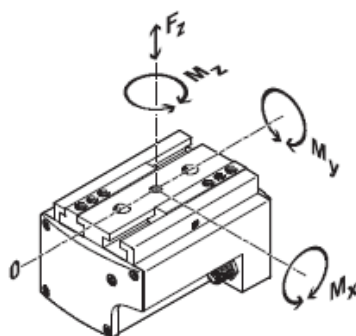


Figura 5.8 - Exemplo de uma garra paralela industrial (Festo AG & Co. KG, 2011)

Para esta aplicação específica será adoptada uma garra de actuação eléctrica. A principal vantagem desta escolha é a dispensa de um compressor externo para fazer actuar a garra.

O modelo adoptado para este projecto é o da marca FESTO com a referência HGPLE. As suas características principais podem ser consultadas na Tabela 5.3. As características técnicas completas estão apresentadas no anexo AI-VI.

Tabela 5.3 - Principais características da garra HGPLE(Festo AG & Co. KG, 2001)

Referência	HGPLE-25-40-2,8-DC-VCSC-G85
Alimentação	Eléctrica, 24 VDC com recurso a controlador externo
Força máxima	Fz: 1500 N
Momento máximo	Mx: 100 N.m
	My: 60 N.m
	Mz: 70 N.m
Massa	1,680 kg

A selecção desta garra será feita com base apenas na força máxima F_z , uma vez que a força de aperto não é importante pois a garra possui uns dedos em forma de “L” que ao fecharem a força será toda no mesmo sentido de F_z .

Como determinado no capítulo anterior, a força máxima para deslocar a UA do módulo de armazenamento para a plataforma superior será de 175 N o que é bastante inferior a 1500N.

Para o movimento das unidades de armazenamento das duas zonas serão necessárias duas garras. Cada garra servirá para fixar e deslocar uma zona de armazenamento. Na Figura 5.10 pode-se observar a localização das duas garras e a forma com que esta fixa a UA, que deverá ter uma fixação em forma de “T” onde a garra irá fixar.

Na Figura 5.9 pode-se observar a forma dos dedos da garra, assim como as suas posições de abertura e fecho.

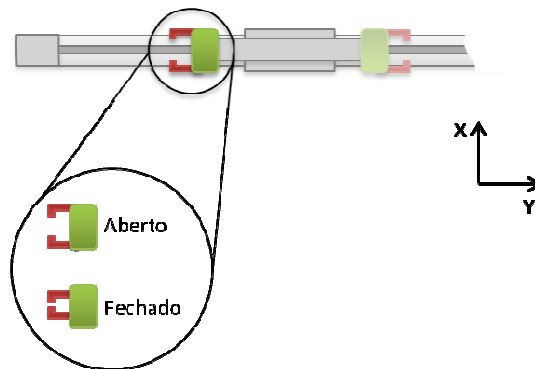


Figura 5.9 – Exemplo dos dedos da garra e as suas posições de abertura e fecho (vista em planta).

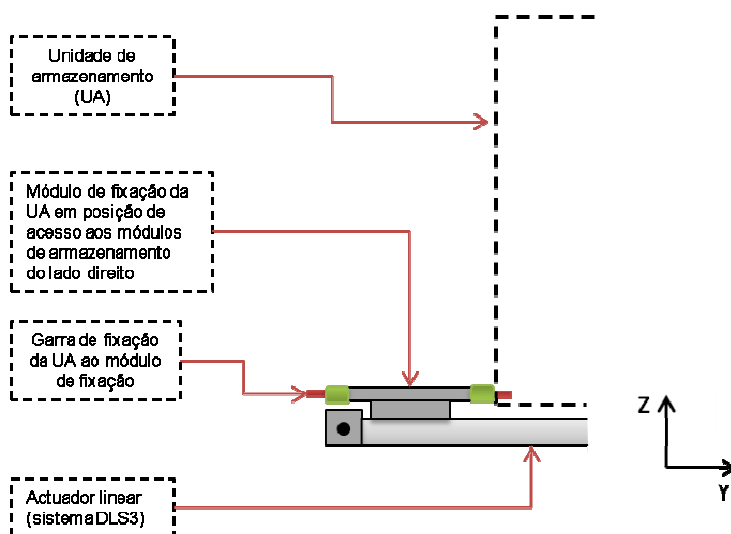


Figura 5.10 - Explicação detalhada da montagem da garra no carrinho do actuador linear (alçado).

Uma demonstração do processo de fixar a UA e deslocá-la para o topo da plataforma superior está ilustrada na Figura 5.11. Tal como descrito no pontos seguintes:

- Após o movimento em yy do módulo de fixação da UA para a zona de armazenamento, posição Y1 ou Y2, a garra fecha e fica fixa a UA.
- Inicia-se o movimento em yy no sentido contrário até a posição de transporte respectiva (Y01 ou Y02).
- Após o módulo de fixação chegar a posição de transporte o movimento segundo os eixos xx e yy já são permitidos.

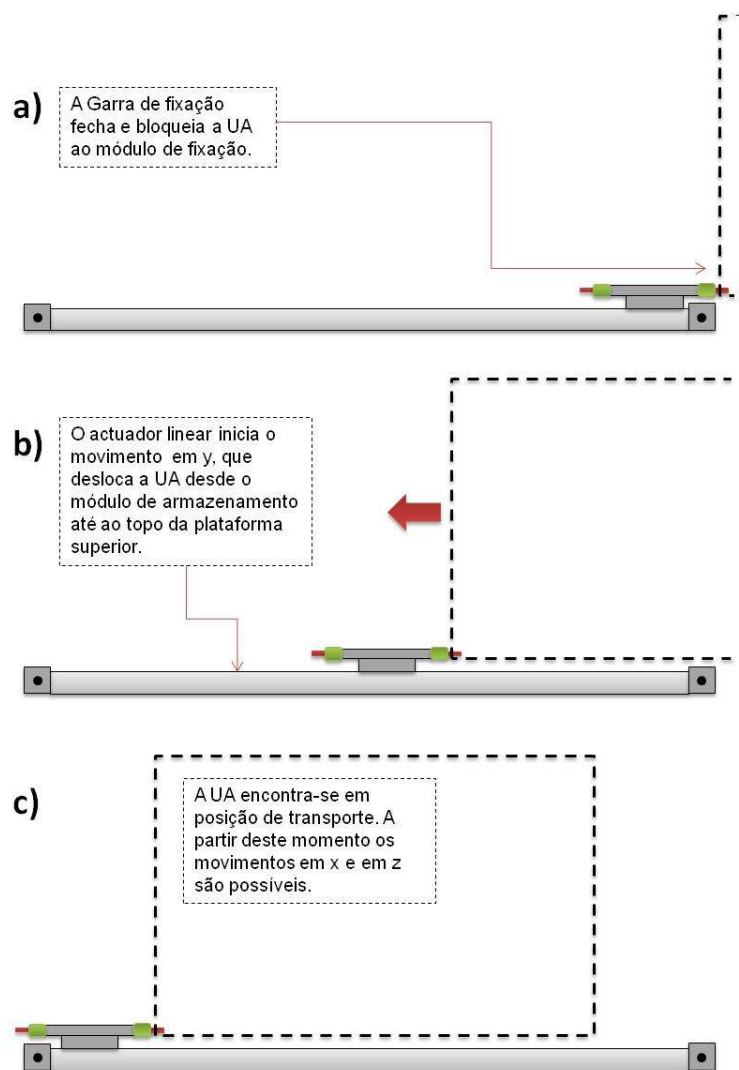


Figura 5.11 - Processo de fixação e deslocamento da UA.

Será importante prever na montagem um sensor mecânico que permita detectar se a garra se encontra devidamente actuada. Este contacto terá como função garantir a segurança do equipamento, ao impedir que o processo continue sem que a UA esteja correctamente fixada no módulo de bloqueio.

A escolha deste dispositivo permitirá obtermos um protótipo rápido para o módulo de fixação da UA. No entanto num futuro projecto de desenvolvimento será importante a construção de um módulo de fixação personalizado e optimizado para esta aplicação. Pois assim conseguir-se-á uma notável redução do custo total do equipamento.

5.2.4. Portas automáticas

As portas automáticas são movidas com recurso a um motor e um controlador dedicado. A interacção com o autómato será feita com recurso a contactos tipo on-off.

A utilização de um controlador dedicado exclusivamente para às portas apresenta a vantagem de ser mais fácil o ajuste e controlo. Assim como adiciona funcionalidades de conforto e segurança, tais como: ajuste do binário de aperto; retorno automático em caso de um objecto bloquear o fecho da porta; controlo da velocidade e aceleração do processo de fecho e abertura. Um exemplo típico onde a utilização deste tipo de controladores é prática corrente é os elevadores.

O sistema adoptado para este projecto é o Siemens AT12. Este sistema consiste no controlador, o motor e os sensores num só conjunto e facilmente instalável em qualquer porta automática até 120 kg de peso (Siemens AG, 2009).

O modelo seleccionado é o mais básico dentro da gama de controladores de portas da Siemens, no entanto dispõe de todas as características necessárias para o projecto. A Tabela 5.4 mostra as características mais importantes deste componente. A porta será aberta com o fecho de um contacto. Com esse contacto aberto a porta mantêm-se fechadas.

Tabela 5.4 - Lista das características mais importantes do sistema AT12 (Siemens AG, 2009)

Modelo	Siemens AT12 (versão básica)
Peso máximo da porta	120 kg
Fonte de alimentação	220v integrada
Entradas digitais	3 (fechar, abrir, inverter)
Saídas digitais	2
Outras funções	Funcionamento com um simples botão

Para garantir a segurança do utilizador e do equipamento será necessário utilizar o sinal proveniente do controlador que nos dá a indicação de porta fechada. Com isto garantimos que o processo só continua após a porta estar devidamente fechada. É possível configurar o controlador para nos dar este sinal (Siemens AG, 2009). A listagem das características completas e das instruções estão no anexo AI-VII.

5.2.5. Sistema de pesagem

A determinação do peso no interior da UA é fundamental para garantir que a estrutura do robô manipulador não é afectada pelo excesso de carga. Uma forma simples de determinar o peso no interior da UA é recorrendo a células de carga.

As células de carga são sensores que convertem uma deformação mecânica num sinal eléctrico em tensão ou em corrente. A deformação provocada por uma carga aplicada num metal provoca uma deformação. Essa deformação provoca uma variação da resistência de um material condutor aplicado na zona de deformação máxima. Através da medição da variação dessa resistência consegue-se obter o valor da deformação provocado pela carga na peça metálica.

A gama escolhida das células de carga para este projecto será a SIWAREX R-RN (60Kg) da Siemens. Esta está disponível na gama de 60 kg até 60 t. As versões até 18 t incluem uma protecção contra sobrecarga. Ilustrado na Figura 5.12.



Figura 5.12 - Célula de carga Siemens SIWAREX R - RN series

As células de carga serão instaladas na zona de entrega/devolução. Quanto a UA estiver na zona de entrega/devolução em repouso, a espera da bicicleta, esta ficará apoiada sobre as células de carga. Assim a leitura do peso é feita antes de o robô iniciar a operação de mover a UA até a zona de armazenamento. Deste modo evitamos danos graves na estrutura do robô, pois o movimento só será iniciado se o valor da carga se encontrar dentro do limite autorizado.

Para uma correcta instalação das células de carga será necessária a instalação de estabilizadores para garantir que o movimento da carga apenas se dá na vertical e evitar erros de leitura. Além disso deveremos ter no mínimo 3 células de carga para garantir uma uniformização da distribuição da carga. Na Figura 5.13 está exemplificado a distribuição das células de carga numa plataforma rectangular, correspondente a plataforma de suporte a UA. As características completas estão no anexo AI-VIII.

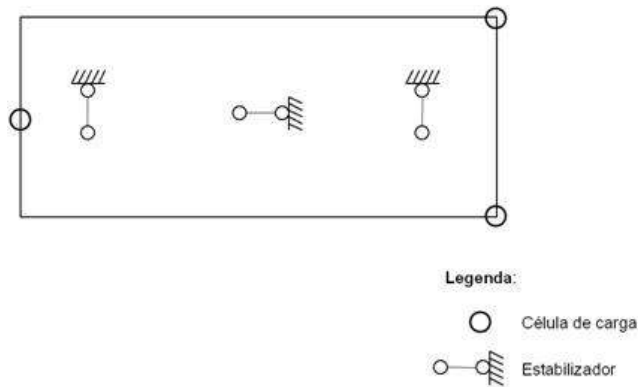


Figura 5.13 - Exemplo da distribuição das células de carga e dos estabilizadores. (Siemens AG, 2010)

Para que o PLC possa fazer a leitura das três células de carga, será necessário um módulo de pesagem. Este encarregar-se-á de fazer o condicionamento dos sinais provenientes das três células de carga e passar a leitura para o PLC.

Na Siemens, os módulos de pesagem são dependentes do autómato usado. Cada família de autómatos tem um módulo de pesagem associado que melhor o integra. Assim este será seleccionado juntamente com o autómato.

O desenvolvimento de um sistema de pesagem optimizado para esta aplicação específica num futuro projecto irá baixar notavelmente o custo do parque. O sistema de pesagem adoptado tem uma precisão elevada e uma margem de erro bastante baixa o que o torna um sistema sobredimensionado face ao que se pretende. Com a adopção, por exemplo, de um sistema de apoios por mola com um sensor de fim de curso regulável será possível obter-se o mesmo fim a um custo notavelmente mais baixo.

5.2.6. Sistema de verificação do conteúdo da UA

A verificação do conteúdo da UA pode ser feita com recurso a sistemas de visão artificial. Estes possibilitam a comparação da imagem obtida com padrões predefinidos de cores e formas.

Na Figura 5.14 está representado duas imagens obtidas por um sistema de visão artificial. Na imagem da direita estão a ser verificadas as dimensões da peça fabricada, enquanto na imagem da esquerda está a ser verificada a presença de imperfeições no formado da peça.

Os sistemas de visão artificial mais recentes permitem uma elevada configuração e apresentam dimensões compactas. A configuração pode ser feita facilmente com recurso a um computador pessoal.

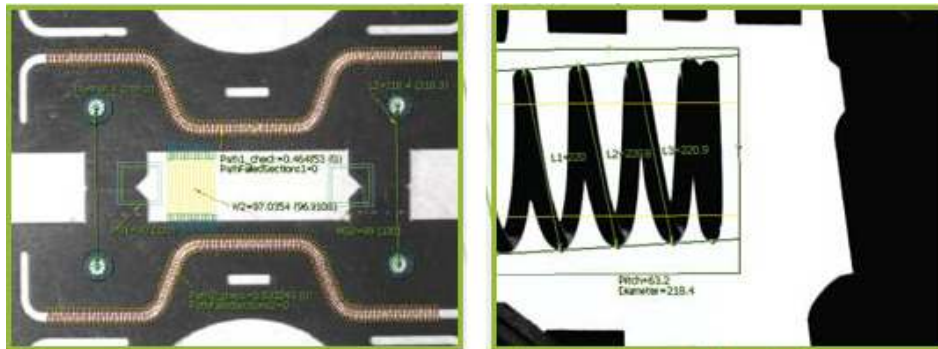


Figura 5.14 - Imagens obtidas por um sistema de visão artificial para verificação das dimensões (a direita) e detecção de imperfeições (a esquerda)(Teledyne DALSA, 2009).

No caso deste projecto será necessário de dois tipos de verificação. Na operação de check-in será verificada a presença de seres vivos, enquanto na operação de check-out dever-se-á garantir que a UA se encontra vazia.

5.2.6.1. O problema da verificação do interior da UA

Uma correcta verificação do interior da UA depende das capacidades de análise do software de processamento do sistema de visão. Neste projecto existe a dificuldade em definir a forma da bicicleta, pois o sistema é aberto a vários tipos de bicicletas. Também existe o problema da bagagem que não têm uma forma definida.

Uma correcta análise da forma como o sistema de visão poderá verificar o interior da caixa só é possível fazendo um ensaio directamente com o fornecedor.

No entanto existe a garantia que é possível a detecção de movimento dentro da UA, garantido assim que seres vivos não serão introduzidos no interior da UA. Pois devido ao elevada poder de processamento do sistema de visão qualquer pequeno movimento irá ser detectado por este.

5.2.6.2. Selecção do sistema de visão artificial

Para garantir estes dois tipos de verificação será adoptado um sistema de visão artificial da marca Teledyne DALSA ilustrado na Figura 5.15.

A maior vantagem deste sistema face a concorrência é as suas dimensões compactas e o facto de ser facilmente configurável. Além do seu reduzido tamanho, não necessita de uma unidade de controlo

exterior podendo funcionar autonomamente pois possui o software de processamento integrado. O único inconveniente apontado é a não dispor de iluminação incorporada.

A integração com o autómato também é facilitada com recurso a contactos digitais ou protocolos de comunicação padrão. A programação é feita facilmente com recurso a software gráfico disponibilizado pelo fabricante.



Figura 5.15 - Sistema de visão artificial Teledyne DALSA

O modelo seleccionado apresenta as características listadas na Tabela 5.5 seguinte. As características técnicas completas estão apresentadas no anexo AI-IX.

Tabela 5.5 - Características do sistema de visão artificial Teledyne DALSA (Teledyne DALSA, 2009)

Modelo		BOA Teledyne DALSA
Alimentação	Voltagem	12-36V
	Corrente	14mA a 24V
Memória	Dados	256 Mb
	Aplicação	256 Mb
Imagem	Sensor	1/3 inch CCG
	Resolução	640x480
	Tipo	Monocromática ou varrimento progressivo a cores
E/S	Disparo	1 (open-isolated)
	Entrada	1 (open-isolated)
	Saída	2 (open-isolated)
Série	RS-232	1 porta
Rede	Ethernet	10/100BaseT
Características mecânicas	Dimensões	44mm x 44 mm x 56 mm
	Material	Alumínio maquinado com pintura anodizada
	Montagem	8 x M4
Ambiente	Temperatura	Operação 0°C – 50° C
	Protecção	IP67
	Vibrações	70G

A ligação do sistema de visão ao autómato será conseguida com recurso contactos digitais. Existirá uma entrada que dará o impulso de verificação (*trigger*), e mais dois contactos que nos indicarão se o conteúdo foi aceite (*PASS*) ou não (*FAIL*). As entradas e saídas são configuradas por software.

Para este projecto serão usadas quatro contactos por impulso. Dois de entrada (verificar a presença de seres vivos e verificar se a UA se encontra vazia) e dois de saída, correspondentes ao aceite (PASS) e o rejeitado (FAIL).

5.2.7. Leitor RFID

O funcionamento do sistema só será correctamente assegurado se for possível identificar correctamente o utilizador. Este deverá possuir um ID (*Identification Number*) único que possibilite o sistema identificar a posição em que a sua bicicleta ficou guardada.

Numa rede de parques automáticos de armazenamento de bicicletas, deverá existir uma forma de gerir os utilizadores de forma global. Dessa forma será possível, por exemplo, criar planos de pagamento mensais utilizáveis em toda a rede.

No projecto do protótipo aqui desenvolvido apenas será importante garantir que é possível identificar o utilizador perante um equipamento. Será também considerado que o utilizador já possui um cartão de identificação e que a cobrança será feita por um equipamento auxiliar. A definição desse equipamento auxiliar de cobrança sai fora do âmbito deste projecto, ficando porém definido em software uma forma de transmitir a esse mesmo equipamento o tempo de utilização de cada utilizador.

Será considerado para o sistema de identificação, um leitor de RFID (*radio frequency Identification*) e um conjunto de cartões individuais de identificação.

O leitor de RFID adoptado é o Siemens RF620R em conjunto com cartões de identificação do tipo Smart Label RF630L. (Siemens AG, 2008)

As características completas do sistema adoptado estão apresentadas no anexo AI-X.

A comunicação com o autómato será garantida por meio de um módulo de comunicação, seleccionado de acordo com a família de autómatos que será adoptada.

5.2.8. Autómato programável

Para que todos os sinais provenientes dos sensores e dos sistemas auxiliares possam ser correctamente interpretados e processados, necessitamos de um autómato programável (PLC). Este desempenhará a tarefa da automação do sistema. A leitura dos sinais provenientes das entradas é convertida em acções nas saídas através do programa de controlo.

A escolha do PLC depende essencialmente do tipo de sistemas e sensores que queremos integrar. Existem vários tipos, desde modelos simples com número de entradas e saída fixo até sistemas modulares que permitem um infindável número de configurações.

Neste projecto, a adopção de sensores e sistemas auxiliares sem recorrer a protocolos de comunicação permite a escolha de um modelo de autómato mais simples e económico. Toda a comunicação é feita com recurso a entradas/saídas digitais (0 ou 1) e módulos específicos. Desde modo não é necessário recorrer-se a módulos de comunicação nem conversores. Apenas se recorrerá a um módulo de condicionamento de sinal para as células de carga e um controlador para o leitor de RFID.

5.2.8.1. Lista de pontos

A listagem completa das entradas e saídas necessárias para o PLC está apresentada na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Resumo das entradas e saídas necessárias para o PLC

Equipamento	Função	ED	SD	Notas
Variador Controlo Motor - Eixo X	Comando - Sentido normal		1	
	Comando - Sentido reverso		1	
Variador Controlo Motor - Eixo Y	Comando - Sentido normal		1	
	Comando - Sentido reverso		1	
Variador Controlo Motor - Eixo Z	Comando - Sentido normal		1	
	Comando - Sentido reverso		1	
Sensores de posição	Contacto NA	14		7+4+3
Célula de carga	Peso da UA			Módulo SIWAREX U
Portas automáticas	Comando Abrir		1	
	Estado Fechado	1		
Dispositivo de bloqueio da UA	Comando de Bloqueio		1	
	Estado	1		
Dispositivo de ver. Conteúdo UA	Comando de Verificação Check-in		1	
	Comando de Verificação Check-out		1	
	Estado PASS	1		
	Estado FAIL	1		
Leitor de RFID	Leitura do ID do utilizador			RF630L
Painel Utilizador	Comando - Operação	1		
	Comando - Fechar Portas	1		
	Terminado		1	
	Indisponível		1	
	Conteúdo Inválido		1	
Total		20	11	

5.2.8.2. Selecção do PLC

A família de autómatos programáveis adoptada para o projecto de automação e controlo é a S7-300 da Siemens. Esta gama é bastante utilizada em diferentes sectores da indústria. Dentro da família S7-300 existem várias versões e módulos que podemos adaptar consoante as necessidades.

Esta gama de PLC's apresenta como principais vantagens as seguintes:

- Design compacto, possível de ser montado em calha DIN;
- Algumas funções incorporadas no CPU (I/O, funções tecnológicas, comunicação PROFIBUS/PROFINET);
- Expansível e modular. Existem vários CPUs (*Central Processing Unit*) com várias capacidades de memória e de capacidade de processamento.

Existem muitas versões de PLC's dentro da família S7-300. Para este projecto será adoptado um PLC da série normal (312 até ao 319-3 PN/DP).

No entanto para a realização dos ensaios do software foi utilizado um PLC da série S7-314 IFM disponível no laboratório de Automação e Controlo do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEL, como ilustrado na Figura 5.16. Este está montado sobre uma bancada de simulação usada para fins educativos. Esta bancada dispõe de entradas e saídas facilmente acessíveis para facilitar a montagem e simulação de modelos.

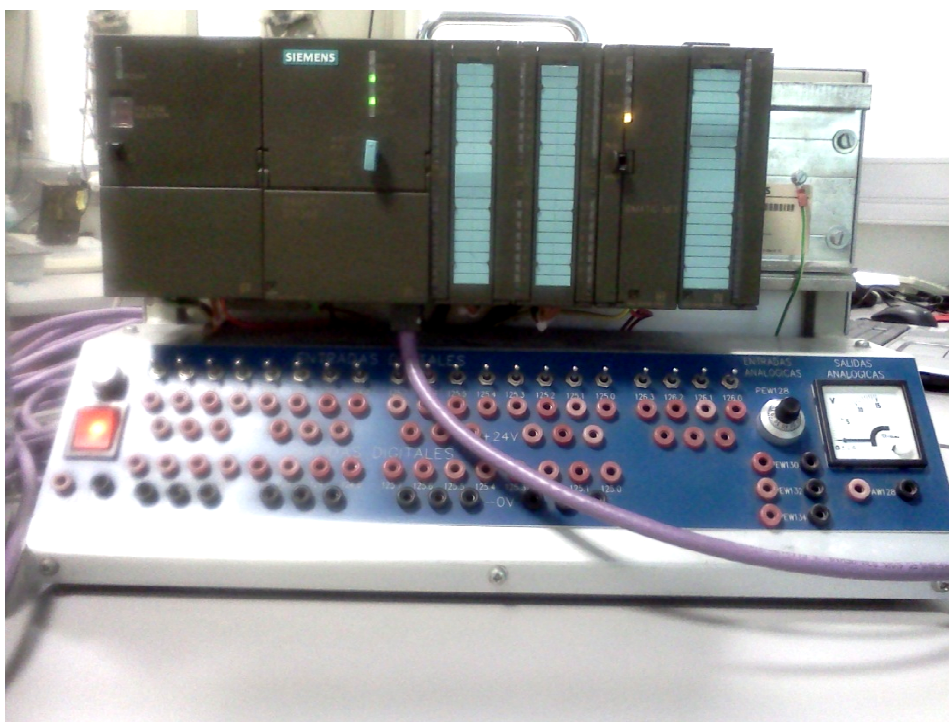


Figura 5.16 - Bancada de ensaios com o controlador S7-314 IFM.

O controlador será adoptado tendo em conta a capacidade de memória e as entradas/saídas necessárias. As características do autómato e dos módulos adoptados encontram-se listadas na Tabela 5.7.

Para o movimento do robô não será necessário recorrer a funções especiais. Apenas será necessário garantir que o autómato dispõe de memória de armazenamento suficiente. Será seleccionado um CPU com características idênticas ao CPU usado para a simulação de software. A velocidade de processamento não é muito importante pois a velocidade do robô é baixa (0,42 m/s) e as operações a processar são apenas baseadas em lógica de contactos. As funções especiais, tais como, a pesagem e a leitura de RFID serão asseguradas por módulos próprios para comunicar com o equipamento de campo.

Tabela 5.7 - Características técnicas do autómato e dos módulos adoptados (Siemens AG, 2009; Siemens AG, 2008).

Fonte de Alimentação	PS 307 5A	Referência	6ES7 307-1EA00-0AA0
		Entrada	Monofásica 120/230V
		Saída	24VDC (5 Amperes)
CPU	CPU-314	Referência	6ES7 314-1AG13-0AB0
		Dimensões	40 x 125 x 130
		Memória	128KB trabalho + 42KB para instruções.
		Tempo de processamento	Bit: 0.06 µs
			Word: 0.12 µs
			Fixed-Point: 0.16 µs
			Floating-point: 0.59 µs
		Bit's de memória, contadores e temporizadores.	Memória bit's: 256 bytes
			S7 timers/counters: 256/256
		Gama de endereços	Número de E/S: 1024/1024
Imagem de processamento (E/S): 1024/1024.			
Entradas digitais	SM 321	Comunicações	MPI
		Referência	6ES7 321-1BL00-0AA0
		Entradas digitais	32
Saídas digitais	SM 322	Alimentação	24 VDC
		Consumo	15 mA no bus de 5VDC
		Corrente de entrada	7 mA
		Referência	6ES7 322-1BH01-0AA0
		Saídas digitais	16
Módulo de pesagem	SIWAREX U	Alimentação	24 VDC
		Consumo	80 mA
		Corrente máxima	0.5 A
		Referência	7MH4 950-1AA01
		Nº canais	1
		Resolução	65532, 2byte (fixed-point)
Módulo de RFID	ASM 475	Células de carga	Strain gages sistema de 4-fios ou 6-fios
		Medições /segundo	50
Módulo de RFID	ASM 475	Referência	6GT2002-0GA10
		Nº de leitores	2

O catálogo completo das características do PLC adoptado e seus módulos encontra-se no anexo AI-XI.

Para o ensaio do software serão simuladas as funções de RFID e pesagem através de software, forçando-se o valor da variável directamente no programa, pois o PLC existente no laboratório apenas dispõe de entradas e saídas digitais, analógicas e módulo de comunicação.

5.2.8.3. Interface HMI (Human-Machine Interface)

A comunicação com o utilizador é bastante importante para o correcto funcionamento do equipamento. Será importante que o utilizador disponha de informação sobre o funcionamento do equipamento ou falha do equipamento.

Uma interface HMI pode ser desde um simples botão e um sinalizador, até um moderno ecrã táctil com conteúdo multimédia. Um ecrã táctil apresenta a vantagem de facilitar a visualização da informação. Além disso também poderá ser usado para a visualização de publicidade ou outras informações úteis.

Numa fase seguinte do projecto será importante a existência de um ecrã táctil onde será visualizada a informação relativa ao uso do equipamento, ao utilizador, aos erros ou avarias e ao crédito do utilizador. No entanto para o protótipo que se pretende, e visto não existir ainda um equipamento auxiliar de cobrança, será apenas necessário garantir a comunicação com o utilizador com recurso a botões e sinalizadores.

Um exemplo de uma interface simplificada para o protótipo está ilustrado na Figura 5.17.

Este é composto por uma ranhura para os cartões de identificação, dois botões e três sinalizadores. Será o conjunto mínimo de informações necessárias para o correcto funcionamento do equipamento.

Os componentes usados para a interface HMI são descritos na Tabela 5.8. As características técnicas são apresentadas no anexo AI-XII.

Tabela 5.8 - Descrição dos componentes usados na interface HMI

Designação	Quantidade	Marca	Referência
Botão pressão	2	Siemens	3SB3-00-0AA11
Sinalizador luminoso vermelho	2	Siemens	3SB3-00-6BA20
Sinalizador luminoso verde	1	Siemens	3SB3-00-6BA40

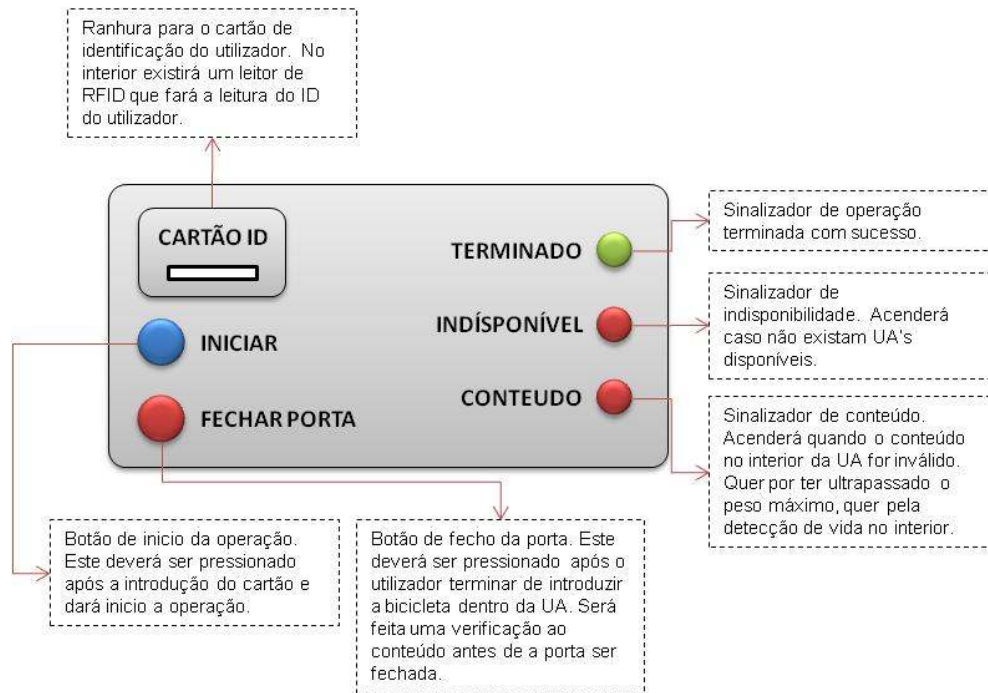


Figura 5.17 - Exemplo de interface com o utilizador.

5.3. Instalação eléctrica

O correcto funcionamento do equipamento dependerá de uma correcta distribuição de energia aos diversos consumidores instalados no sistema. Além disso será necessário garantir determinadas medidas de segurança do equipamento e das pessoas. Na Figura 5.18 está esquematizada o circuito de potência e de comando do equipamento.

A segurança da instalação será assegurada por um interruptor diferencial na entrada da instalação. Este protege a instalação contra eventuais falhas de isolamento.

A garantia da segurança do equipamento será dada pelos interruptores de fim de curso presentes no final do curso dos três eixos (XF1, XF2, YF1, YF2, ZF1, ZF2). Esses mesmos interruptores não são ligados no autómato e apenas servem para garantir a paragem do sistema caso algum deles seja alcançado.

Caso algum dos sensores de fim de curso seja actuado o sistema fica inoperacional, só podendo ser rearmado manualmente por um técnico especializado. Deste modo garante-se a segurança do equipamento caso algo corra mal.

Da mesma forma um interruptor de segurança “tipo cabeça de cogumelo”, representado no esquema por KPE, deverá garantir que o sistema fica inoperacional quando está a ser efectuada a manutenção.

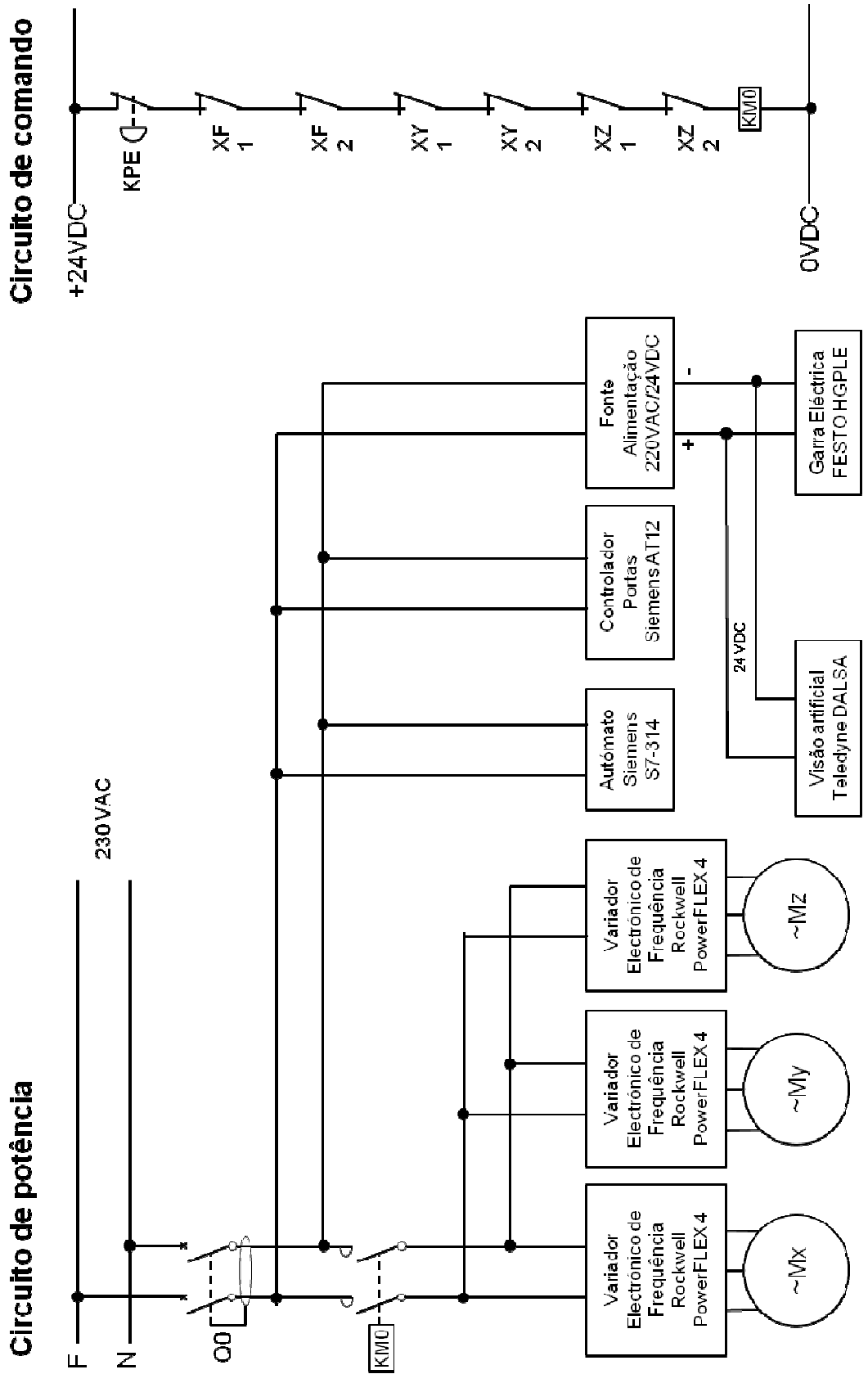


Figura 5.18 – Circuito de potência e de comando do parque.

Quer os interruptores de fim de curso, quer o interruptor de segurança irá cortar a alimentação a bobine do contactor (KM0) que alimenta os três variadores de frequência. Deste modo garantimos a paragem total do equipamento.

Além dos consumidores alimentados a 220VAC, temos alguns componentes, como o sistema de visão artificial e a garra eléctrica, que são alimentados a 24VDC. Para estes necessitaremos da fonte de alimentação de 24VDC representada no esquema. Esta fonte de alimentação deverá ser instalada tendo em conta a potência consumida.

5.4. Desenvolvimento do programa de controlo

5.4.1. Descrição de funcionamento e lógica de controlo

A definição da lógica de funcionamento do sistema automático de armazenamento de bicicletas é o primeiro passo para a programação dum PLC responsável pelo controlo de um equipamento. Na Figura 5.19 está ilustrado o fluxograma de funcionamento do parque automático de armazenamento de bicicletas.

Para a lógica de automação e controlo apresentado no fluxograma, serão tomadas as seguintes considerações:

- A cada UA estará associada uma posição num módulo de armazenamento. Qualquer operação com a UA implica sempre o seu regresso à mesma posição;
- Os IDs dos utilizadores serão guardados num vector que representará todas as posições existentes. Um exemplo do vector de base de dados está ilustrado na Figura 5.20. Cada entrada desse vector corresponde a uma posição (c). Uma entrada no vector com valor numérico zero, corresponde a uma posição vazia (d). Um valor diferente de zero corresponderá ao ID do utilizador correspondente aquela posição (c);
- Será implementado uma contagem de ciclos de utilização. Esta contagem permitirá seleccionar uma UA a ser utilizada de modo a dar prioridade às posições com menos ciclos de utilização. Desta forma será garantida a rotatividade das unidades de armazenamento. Por exemplo na Figura 5.20 a próxima posição a ser seleccionada é a 4, pois é a que apresenta um menor número de ciclos de utilização. Esta lógica servirá para garantir uma utilização uniforme de todas as posições e consequentemente facilitar organização e gestão da manutenção do sistema;
- O sistema fará duas operações distintas: check-in e check-out. A escolha entre as duas operações é feita do seguinte modo: Quando o utilizador se identifica perante o sistema, com recurso a um cartão de identificação, o seu ID é procurado no sistema. Caso já exista será devolvida a posição respectiva (check-out). Caso não existe será procurada uma posição vazia e será uma operação de check-in;

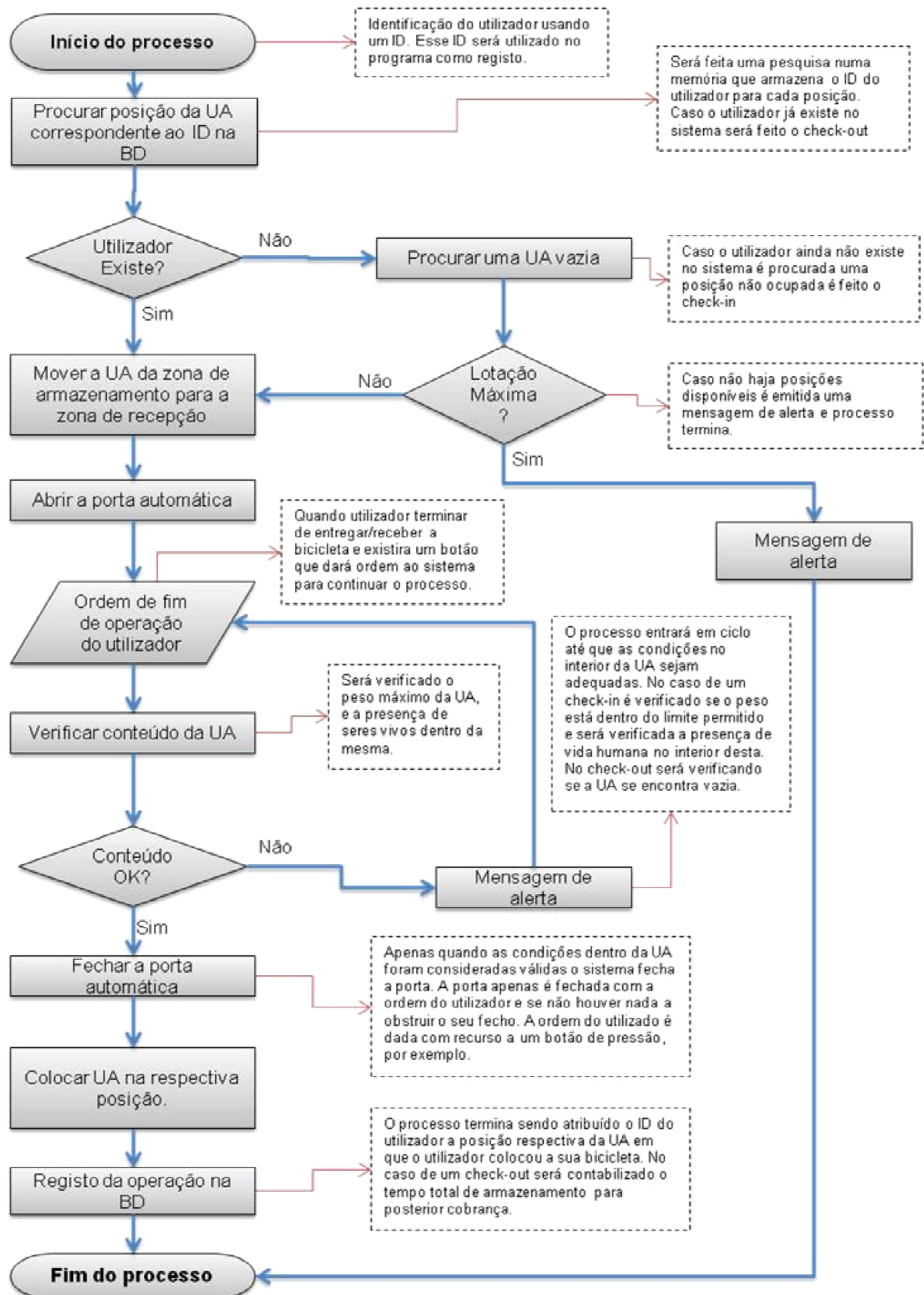


Figura 5.19 - Fluxograma que descreve o processo de funcionamento do parque automático de armazenamento de bicicletas.

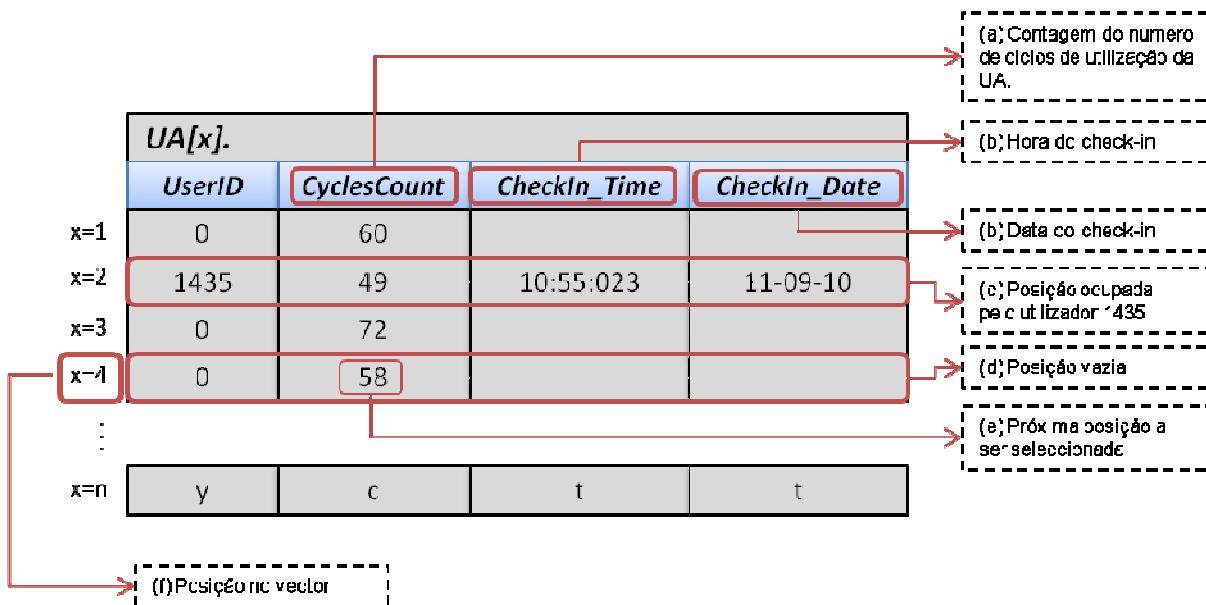


Figura 5.20 - Descrição da organização do ficheiro de base de dados

- Após o interior da UA ficar acessível ao utilizador, este terá de dar a informação a sistema que terminou a operação de colocar/retirar a bicicleta. Isto é conseguido com recurso a um botão acessível ao utilizador. Ao ser pressionado este botão será feita uma verificação ao conteúdo da UA e caso seja aceite as portas serão fechadas;
- Seja uma operação de check-in ou de check-out será feita uma verificação após o utilizador ter acesso a interior da UA. No caso do check-in será verificada a presença de seres vivos no interior da UA e se o peso total do conteúdo está dentro do limite máximo imposto. Se for uma operação de check-out, a verificação consiste em garantir que a UA se encontra vazia.
- Será garantido que a passagem da posição X1 para X0 só será feita se o elevador já se encontrar na posição Z0. Movimentos em xx' com o elevador em ZER não serão permitidos.
- O tempo de utilização total da UA será contabilizado durante a operação de check-out. Este tempo será dado sobre a forma de uma variável de software (uma memória) que deverá ser fornecida posteriormente a um futuro sistema de pagamento.

5.4.2. Estrutura e Organização do Programa de Controlo

O programa de automação foi desenvolvido em linguagem LAD. Para facilitar a interpretação e a alteração do programa este foi separado em diferentes funções. Cada função desempenhará uma tarefa única.

Na Tabela 5.9 é apresentada a lista das funções utilizadas assim como a descrição sucinta do funcionamento de cada uma. A listagem completa do programa, juntamente com a descrição completa do funcionamento de cada bloco está apresentada no Anexo II.

Tabela 5.9 - Descrição de funcionamento das funções usadas no programa de controlo.

Nome do Objecto	Nome Simbólico	Descrição
OB1	Main Program	Programa principal é onde são chamadas todas as outras funções.
DB1	DB_DADOS	Base de dados de registo. Regista as UA's que estão a ser utilizadas, o número de ciclos de utilização de cada UA e a data e hora do check-in.
FC1	FC_MOTOR_CONTROL	Função que controla os movimentos do robô. Recebe como parâmetros as posições em x,y e z da UA a ser controlada e o motor que tem de ser actuado. A função garante que cada eixo só se movimenta no momento certo.
FC2	FC_COMPARE	Esta função recebe como parâmetro a identificação do utilizador, o número da posição da UA e o número de ciclos da posição. Será verificado se a identificação do utilizador é igual a zero. Caso seja é verificado se o número de ciclos de utilização é inferior à variável de entrada/saída temporária que regista o número de ciclos mais baixo encontrado. Se estas condições se verificarem será activada uma saída a indicar que a posição seleccionada é apta para ser usada.
FC3	FC_SEARCH_EMPTY	Função que tem o objectivo de percorrer cada posição do vector da base de dados (DB_DADOS) e procurar uma posição vazia. Para cada posição da base de dados vai ser chamada uma instância da função FC_COMPARE. No final é devolvido o índice da última posição encontrada vazia e com menor número de ciclos de utilização. Caso não haja posições vazias a função devolverá um erro.
FC4	FC_SEARCH_ID	Neste bloco será dado como parâmetro a identificação do utilizador. A função percorrerá a base de dados (DB_DADOS) a procura de uma posição com o mesmo número de utilizador dado com parâmetro. Caso exista será devolvido por parâmetro o índice da posição encontrada.
FC5	FC_GO_POSITION	Esta função recebe como parâmetro o índice da posição e deslocará o robô para a posição associada ao índice. Para cada índice será chamada a função FC_MOTOR_CONTROL com os parâmetros da posição respectiva.
FC6	FC_GO_HOME	Com base no parâmetro de entrada escolhido o robô deslocar-se-á ou para a posição predefinida ou para a posição de recepção/entrega.
FC7	FC_CHECK	A chamada a esta função originará uma verificação do interior da UA, consoante seja uma operação de check-in ou de check-out. O tipo de operação é passado como parâmetro.
FC8	FC_REGISTER	Função que tem como objectivo escrever na base de dados. Se a operação seleccionada for um check-in, será registada na posição seleccionada a identificação do utilizador e a data e hora do check-in. Caso se trate de uma operação de check-out, será registada na posição seleccionada o código de utilizador zero e será contabilizado o tempo total de armazenamento com base na hora actual. A posição seleccionada, e o tipo de operação são passados como parâmetros.

Continuação da Tabela 5.9

Nome do Objecto	Nome Simbólico	Descrição
FC9	FC_OPERATION	Nesta função são chamadas todas as funções que asseguram o movimento do robô durante as várias fases de operação. Serão chamadas as seguintes funções por ordem: FC_GO_POSITION; FC_GO_HOME; FC_CHECK; FC_GO_POSITION e FC_GÔ_HOME. A posição seleccionada será passada como parâmetro.

A Figura 5.21 Ilustra a organização dos blocos no programa principal e a forma como estão interligados entre si.

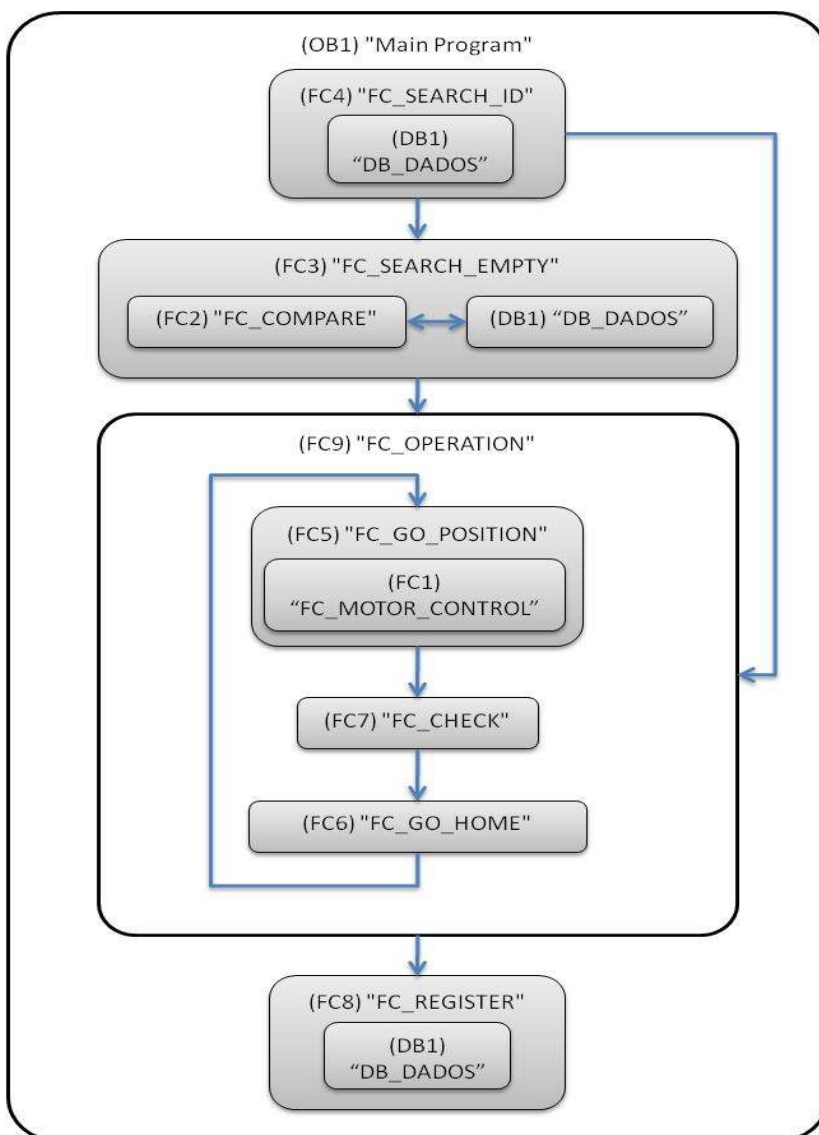


Figura 5.21 - Esquema de organização dos blocos dentro do programa principal.

5.4.3. Lista de símbolos

Na Tabela 5.10 estão listados os símbolos usados na programação. Um símbolo é um nome atribuído a um dado endereço das tabelas de imagem das entradas e saídas físicas do sistema. É no fundo uma variável facilmente identificada na programação.

Tabela 5.10 - Lista de símbolos

Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário
READ_CLK	SFC 1	SFC 1	Read System Clock
UA_LOCK_CMD	Q 125.7	BOOL	Bloqueia a UA na plataforma do elevador
UA_CHK_CONTENT_CMD	Q 125.6	BOOL	Comanda a verificação do interior da UA
MZ_REVERSE	Q 125.5	BOOL	Motor Z - Sentido Reverso
MZ_NORMAL	Q 125.4	BOOL	Motor Z - Sentido Normal
MY_REVERSE	Q 125.3	BOOL	Motor Y - Sentido Reverso
MY_NORMAL	Q 125.2	BOOL	Motor Y - Sentido Normal
MX_REVERSE	Q 125.1	BOOL	Motor X - Sentido Reverso
MX_NORMAL	Q 125.0	BOOL	Motor X - Sentido Normal
OPERATION_DONE	Q 124.7	BOOL	Operação terminada com sucesso
UA_CONTENT_ALARM	Q 124.6	BOOL	Alarme de conteúdo da UA invalido
UA_CHK_EMPTY_CMD	Q 124.5	BOOL	Comanda a verificação para detectar se a UA esta vazia
SYSTEM_FULL_ALARM	Q 124.4	BOOL	Lotação Esgotada
DOOR_OPEN_CMD	Q 124.0	BOOL	Comando de Abertura das Portas
UA_WEIGHT	PIW 128	WORD	Leitura do peso da UA
Complete Restart	OB 100	OB 100	
Main Program	OB 1	OB 1	
M_TOTAL_TIME	MW 2	WORD	Totaliza o tempo de uso do sistema
M_USERID	MW 1	WORD	Variável contendo o ID do utilizador
OP_CHECKOUT	M 50.6	BOOL	Memória de sinalização de operação de check-out
OP_CHECKIN	M 50.5	BOOL	Memória de sinalização de operação de check-in
M_START	M 2.0	BOOL	Memória de inicia do processo
M8	M 1.7	BOOL	Memória auxiliar
M7	M 1.6	BOOL	Memória auxiliar
M6	M 1.5	BOOL	Memória auxiliar
M5	M 1.4	BOOL	Memória auxiliar
M4	M 1.3	BOOL	Memória auxiliar
M3	M 1.2	BOOL	Memória auxiliar
M2	M 1.1	BOOL	Memória auxiliar
M1	M 1.0	BOOL	Memória auxiliar
M10	M 2.0	BOOL	Memória auxiliar
M11	M 2.3	BOOL	Memória auxiliar
USER_DOORS	I 126.1	BOOL	Comanda Utilizador fecho das portas
USER_OPERATION	I 126.0	BOOL	Comando Utilizador operação de entrega/recolha
Y2	I 125.7	BOOL	Posição de armazenamento 2
Y1	I 125.6	BOOL	Posição de armazenamento 1
Z_RECEPTION	I 125.5	BOOL	Posição de pesagem
Z1	I 125.4	BOOL	Nível 1
Z0	I 125.3	BOOL	Nível 0

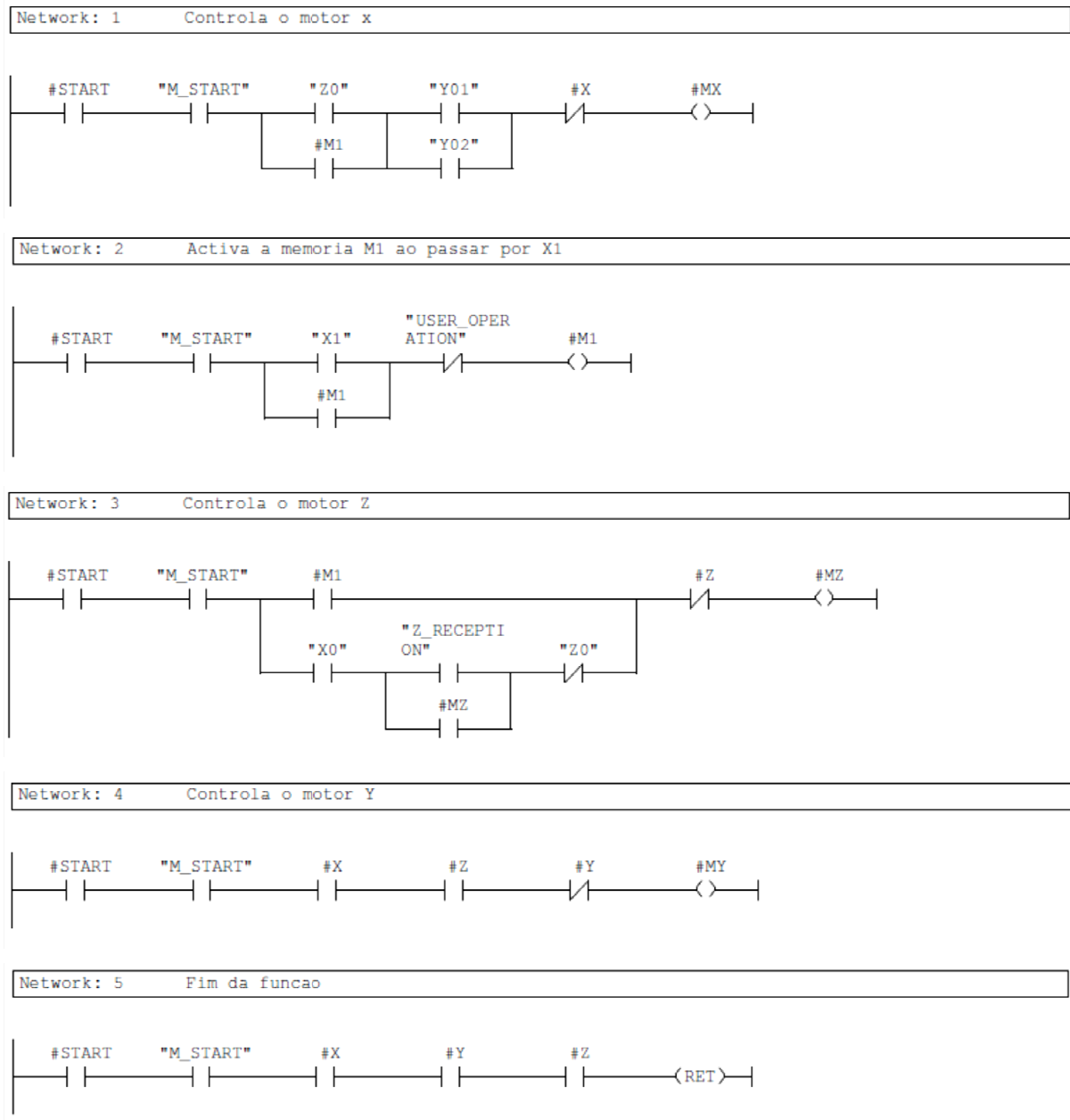
Continuação da Tabela 5.10

Símbolo	Endereço	Tipo	Comentário
UA_CHECK_FAIL	I 125.2	BOOL	Verificação da UA - Conteúdo INVALIDO
DOOR_CLOSED	I 125.1	BOOL	Portas automáticas - Estado Fechadas
UA_CHECK_OK	I 125.0	BOOL	Verificação da UA - Conteúdo OK
UA_LOCK_STATE	I 124.7	BOOL	Estado do bloqueio da UA
X0	I 124.6	BOOL	Posição HOME (x)
X6	I 124.5	BOOL	Posição 6 (x)
X5	I 124.4	BOOL	Posição 5 (x)
X4	I 124.3	BOOL	Posição 4 (x)
X3	I 124.2	BOOL	Posição 3 (x)
X2	I 124.1	BOOL	Posição 2 (x)
X1	I 124.0	BOOL	Posição 1 (x)
Y02	I 126.3	BOOL	Posição de transporte 2
Y01	I 126.2	BOOL	Posição de transporte 1
TIM_S5TI	FC 40	FC 40	IEC Time to S5 Time
FC_OPERATION	FC 9	FC 9	Cordinha a operação de check-in check-out
FC_REGISTER	FC 8	FC 8	Regista a operação de check-in/check-out
FC_CHECK	FC 7	FC 7	Verifica o conteúdo da UA
FC_GO_HOME	FC 6	FC 6	Função que condena o movimento do robô para a posição HOME
FC_GO_POSITION	FC 5	FC 5	Função que coordena o movimento do MA para a ZER
FC_SEARCH_ID	FC 4	FC 4	Procura a UA associada ao ID
FC_SEARCH_EMPTY	FC 3	FC 3	Procura uma UA vazia
FC_COMPARE	FC 2	FC 2	Verifica se a posição esta vazia e devolve a sua contagem de ciclos
FC_MOTOR_CONTROL	FC 1	FC 1	Controla o movimento dos motores
DB_DADOS	DB 1	DB 1	Guarda o registo dos utilizadores e dos ciclos de utilização

5.4.4. Exemplo de uma função

A listagem seguinte exemplifica a programação de uma função em linguagem de programação LAD. A função seguinte tem como objectivo controlar o movimento dos motores segundo um conjunto de sensores de entrada onde o robô deve parar.

Block: FC1 Controlo dos motores					
Address	Declaration	Name	Type	Initial value	Comment
0.0	in	X	BOOL		Sensor de X
0.1	in	Y	BOOL		Sensor de Y
0.2	in	Z	BOOL		Sensor de Z
0.3	in	Y0	BOOL		Posicao do Y0
0.4	in	START	BOOL		START
2.0	out	MX	BOOL		Controlo Motor X
2.1	out	MY	BOOL		Controlo Motor Y
2.2	out	MZ	BOOL		Controlo Motor Z
	in_out				
0.0	temp	M1	BOOL		Memoria temporaria



5.5. Ensaio do programa

O ensaio do programa foi realizado com auxílio das ferramentas de visualização on-line do software SIMATIC. Foi necessário recorrer a uma tabela de variáveis para a atribuição de números de utilizador à variável MW 1 (M_USERID), conseguindo-se deste modo a simulação de diferentes utilizadores.

Usando a visualização on-line dos dados da base de dados DB1 (DB_DADOS), foi possível visualizar a atribuição de posições consoante os ciclos de utilização, a pesquisa por utilizador, a procura de posições vazias e o registo dos dados durante o check-in e check-out.

O processo de ensaio inicia-se com a atribuição na tabela de variáveis de um valor para a variável MW1, simulando a inserção de um cartão de utilizador no leitor RFID. De seguida inicia-se o processo activando a entrada I 126.0 (USER_OPERATION), esta entrada corresponde ao botão de início de operação existente na interface com o utilizador.

Após a procura interna por uma posição, quer seja uma operação de check-in ou uma operação de check-out, iniciou-se os movimentos dos motores. Deste modo foi possível testar o funcionamento do programa de controlo quando eram activadas as posições respectivas. Também foi possível verificar o processo de verificação do interior da UA e do peso da mesma. Para o peso foi atribuída à variável uma entrada analógica correspondente ao potenciómetro da bancada de ensaio, permitindo deste modo a simulação das células de carga.

No final da operação confirmou-se que o registo do utilizador e dos ciclos de utilização foi efectuado com sucesso e o programa ficou automaticamente pronto para a operação seguinte.

5.6. Conclusão

Com base no protótipo da estrutura, desenvolvido no capítulo anterior, criam-se as condições para o desenvolvimento da componente de automação e controlo.

O projecto de automação e controlo foi desenvolvido tendo por base a escolha de componentes mais económicos, mas com todas as funções necessárias ao correcto funcionamento do parque. No entanto, assim conseguimos ter um modelo funcional que posteriormente pode ser optimizado, componente a componente, com um desenvolvimento de acordo com as necessidades.

O custo da garra pode ser reduzido com o fabrico de uma garra personalizada e mais barata. A garra escolhida é específica para aplicações onde o controlo do binário de aperto e a precisão são factores importantes. Neste caso específico apenas necessita de garantir a fixação da UA ao módulo de bloqueio.

As células de carga escolhidas são outro ponto onde a optimização é possível. As células seleccionadas são para aplicações de controlo rigoroso de peso em que a precisão seja máxima e o erro mínimo. O desenvolvimento de sistema de pesagem mais simples, embora com menos precisão, baixará o custo do parque sem que este perca as suas funcionalidades.

O autómato aqui escolhido servida basicamente para o controlo do parque apenas. O equipamento de pagamento será um sistema autónomo que no entanto fica fora do projecto por não ser relevante durante esta fase.

O controlo lógico foi desenvolvido para poder-se tirar máximo partido da programação sem se recorrer a sistemas de identificação caros e dispendiosos. Deste modo a identificação de uma posição foi feita apenas com recurso a sensores de fim de curso.

A programação do parque foi feita de modo a garantir que todas as UA apresentam ciclos de utilização próximos. Deste modo torna-se mais simples programar as tarefas de manutenção. Foi também programada uma variável em software que nos devolve o tempo total em que a UA esteve a ser utilizada.

Capítulo 6

CONCLUSÕES GERAIS E TRABALHO FUTURO

6.1. Conclusões Gerais

Em linhas gerais, conclui-se, que o objectivo deste trabalho foi alcançado. Cumpriu-se o objectivo de criar um modelo para um protótipo de um parque automático de bicicletas e de se desenvolver o projecto de automação e controlo do mesmo.

Em síntese as seguintes situações foram verificadas:

- Existem actualmente diversos sistemas de armazenamento automático de bicicletas pelo mundo. Cada um deles apresenta características próprias que os tornam únicos. O modelo desenvolvido ao longo deste trabalho apresenta-se como um complemento a essa oferta;
- Os armazéns inteligentes servem de ponto de partida para a proposta do modelo do parque;
- O modelo de protótipo desenvolvido neste trabalho tem como vantagens: ser modular, facilmente expansível, não necessita de grandes trabalhos de construção civil e garante a possibilidade de guardar além da bicicleta outros objectos pessoais;
- A divisão da estrutura em módulos de armazenamento com capacidade para três unidades de armazenamento possibilita uma estrutura facilmente transportável e ao mesmo tempo modular;
- A opção do movimento se fazer apenas em três eixos em a rotação do robô segundo o eixo z , permitirá reduzir a complexidade e o custo inicial do equipamento sem afectar significativamente o funcionamento deste. Apenas deverá ser considerado que a zona de entrega/devolução deverá ficar sobressaída da estrutura principal, pois a UA será deslocada sempre na mesma orientação;
- A utilização de actuadores lineares e perfis de construção metálica, facilita o projecto e execução de um protótipo do robô manipulador, no entanto poderá ser uma solução mais cara;

- O controlo feito com recurso a sensores de fim de curso e lógica de contactos tornará o sistema menos complexo e mais económico. No entanto é reduzida a precisão e a velocidade de trabalho do sistema;
- As células de carga são indispensáveis para garantir a segurança do equipamento e dos seus componentes pois impossibilita cargas excessivas que poderiam danificar a estrutura do robô manipulador;
- A garra seleccionada tem a vantagem de ser eléctrica, o que dispensa uma instalação de ar comprimido. Em contrapartida existe um controlador adicional;
- O sistema de visão artificial adoptado servirá para garantir que não existe no interior da UA seres vivos ou objectos inapropriados. É um recurso caro mas necessário a segurança do equipamento e dos utilizadores;
- A identificação por RFID será a ferramenta que o equipamento dispõe para o devido reconhecimento do utilizador. Deste modo garante-se que cada utilizador é único e facilmente identificado pelo sistema;
- A adopção de um controlador dedicado para o controlo das portas facilita a integração com o sistema e dispensa a necessidade de controlar individualmente as portas e fazer controlo da força de fecho;
- A escolha de uma família de autómatos modulares facilita a adaptação deste às necessidades. Os diversos módulos permitem adaptar diversas funcionalidades como o condicionamento de sinal das células de carga e a integração do leitor de RFID.

6.2. Principais Problemas

O principal problema na realização do projecto de automação e controlo advém do facto de não existir um modelo real nem um protótipo de trabalho.

A apresentação da proposta para o protótipo do parque automático de armazenamento de bicicletas resultou nas seguintes dificuldades:

- Foi impossível ter acesso ao normativo europeu que define as dimensões padrão das diversas bicicletas existentes no mercado. Tal dificultou a adopção de medidas para o interior da UA. Algumas medidas usadas por outros sistemas não dispõem de largura suficiente para alguns tipos de bicicletas;
- A necessidade do cálculo da potência dos motores para a correcta selecção dos variadores de frequência exigiu algum cálculo estrutural. Nomeadamente a determinação das principais forças actuantes no robô e na estrutura;

- A não existência de um projecto estrutural de uma unidade de armazenamento, dificultou a adopção de um peso para a mesma – necessário para o dimensionamento do robô;
- A cargas aplicadas no sistema e as condicionantes de cada eixo, implicaram a adopção de diferentes tecnologias e diferentes soluções o que dificultou e atrasou o desenvolvimento do projecto do robô;
- A documentação técnica relativa aos actuadores lineares é deficiente e dificulta a selecção rápida. Esta informação em falta está sob alçada dos fornecedores que geralmente fazem todos os cálculos de dimensionamento dos actuadores lineares;
- A decisão de que o robô movimentar-se-á apenas segundo 3 eixos reduz a complexidade do sistema de automação e controlo. Porém adiciona novos desafios a componentes estrutural, como por exemplo a necessidade de uma plataforma superior mais comprida e a adopção de duas garras.

A realização do projecto de automação e controlo revelou as seguintes dificuldades:

- O sistema de visão artificial seleccionado não garante só por si a detecção de seres vivos no interior da UA. Pois o mesmo sistema destina-se a ser usado em ambientes industriais com formas uniformes e dimensões conhecidas. O parque aqui apresentado permitirá a utilização de qualquer tipo de bicicleta o que dificulta a adopção de um padrão de reconhecimento que seja eficaz em todos os casos. A garantia que tal é possível está dependente de ensaios por parte do fornecedor, e no pior dos casos, necessitará de um sistema de detecção mais complexo como por exemplo uma câmara térmica;
- A programação e ensaio do programa lógico ficaram condicionados aos autómatos existentes no laboratório. A inexistência de módulos de controlo de células de carga e de um leitor de RFID obrigou a algumas simplificações a nível de software.

6.3. Trabalhos Futuros

Tratando-se de uma proposta para um protótipo, ainda muito trabalho será necessário até chegarmos a uma fase de produção em massa.

Em primeiro lugar, e antes de mais, será necessário um projecto estrutural completo e rigoroso. Tal é importante para a determinação do peso dos componentes e consequentemente revalidação do cálculo da potência dos motores. Também é importante a definição correcta das dimensões dos diversos elementos.

Deverá ser feita uma revalidação dos cálculos das forças actuantes nos diversos elementos e novo dimensionamento dos actuadores lineares e dos motores. A substituição dos perfis estruturais por peças optimizadas para a função permitirá uma significativa redução no custo final e no peso dos diferentes elementos. O dimensionamento dos actuadores lineares e dos motores deverá ser feito em

parceria com o fornecedor dos mesmos, pois este dispõe de ferramentas adequadas para o cálculo e dimensionamento.

O projecto de automação a controlo poderá também ser bastante otimizado. Aqui podiam ser conseguidas reduções significativas no custo, com recurso a desenvolvimento académico em parceria com outros departamentos, como por exemplo o departamento de Engenharia Electrotécnica/Informática. As principais optimizações possíveis, nesta fase do projecto, poderão ser:

- A substituição das células de carga por um sistema mecânico de balança com mola e contactos eléctricos mecânicos, devidamente calibrados para as posições de “acima da carga máxima” e “vazio”;
- O desenvolvimento de um novo elemento de bloqueio menos complexo e mais económico permitirá uma redução significativa do custo face as garras industriais adoptadas;
- Numa fase de produção em massa, a substituição do autómato e seus módulos por um controlador dedicado e construído especificamente para o efeito. Existem alguns projectos de autómatos *open-source* como por exemplo o projecto *Arduino* (Arduino, 2011) que poderiam servir de base ao projecto.
- Da colaboração com o departamento de informática também poderia surgir por exemplo, um sistema de visão artificial optimizado para o reconhecimento de bicicletas e seres vivos;
- A substituição do painel de interface do utilizador por um painel táctil, permitirá facilitar a interacção com o utilizador e rentabilizar o sistema com a passagem de spots publicitários;
- A adição de fichas para carregamento de bicicletas eléctricas no interior das unidades de armazenamento será uma mais-valia para um futuro mais sustentável;
- O aproveitamento da superfície exterior para a colocação de publicidade possibilitará uma maior rentabilização do equipamento. Além disso também poderá ser uma medida de integração urbanística;
- A instalação de painéis fotovoltaicos na cobertura do equipamento contribuirá não só para um futuro mais sustentável, como adiciona a possibilidade de instalação do equipamento em locais remotos ou onde não existe um ponto de acesso a rede eléctrica;
- A possibilidade de integração em rede, através da internet, trará vantagens notáveis na gestão de utilizadores e na telemanutenção;

A nível da programação, poderá ser necessário proceder-se a ajustes devido a forma particular de funcionamento de cada componente. Apenas com uma lista final e definitiva dos componentes e após se estudar o funcionamento individual de cada um deles será possível efectuar-se as devidas correcções para o funcionamento correcto do sistema.

BIBLIOGRAFIA

Allen Brandley. (1999). SCHEMATIC BULLETIN 160 AC DRIVE SERIES C CONTROL LOGIC OPTION D13&32 WITHOUT P2C PROJECT: DRIVE.

Arduino. (2011). *Arduino*. (Arduino) Obtido em 5 de Setembro de 2011, de Arduino: <http://www.arduino.cc/>

Bikedispenser. (2009). *Portfolio*. Obtido em 3 de Setembro de 2010, de Web site de Bikedispenser: <http://www.bikedispenser.com/home-en.html>

DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. *Journal of Public Transportation* , 12 No.4.

DeMaio, P. (2004). Will Smart Bikes Succeed as Public Transportation in the United States? *Journal of Public Transportation* , 7 No. 2.

Dufour, D. (2010). *PRESTO Cycling Policy Guide General Framework*. Holanda: Ligtermoet & Partners.

Festo AG & Co. KG. (2011). *Garra paralela elétrica HGPLE*. (Festo AG & Co. KG) Obtido em 03 de Agosto de 2011, de http://www.festo.com/pnf/pt_pt/products/catalog

Festo AG & Co. KG. (2001). Parallel grippers HGPLE, sturdy with long stroke, electric. Germany.

HEPCO Slide Systems Ltd. (2009). GV3. UK.

HEPCO Slide Systems Ltd. (2010). HDLS - heavy duty slide system. UK.

HEPCO Slide Systems Ltd. (2011). HDS2. UK.

Hepco Slide Systems Ltd. (2009). DLS - Linear Transmission and positioning system. Devon, England.

Hepco Slide Systems Ltd. (2009). MCS aluminium frame and machine construction system including MFS fencing system. UK.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2007). *Guía metodológica para la implantación de sistemas de bicicletas públicas en España*. Madrid: IDAE.

JFE Engineering Corporation. (2009). *"Cycle Tree": Multi-level Mechanical Bicycle Parking System*. Obtido em 05 de Setembro de 2010, de JFE Engineering Corporation: http://www.jfe-eng.co.jp/en/en_product/environment/environment2134.html

ma-SISTEMAS. (2003). *Producto*. Obtido em 2 de Setembro de 2010, de Web site de ma-SISTEMAS: <http://www.biceberg.es>

MECALUX. (2010). *Armazéns automáticos para caixas*. Obtido em 10 de Dezembro de 2010, de Web site da Mecalux: <http://www.mecalux.pt>

Norton, R. L. (2000). *Machine Design - A integrated Approach* (2ª Edição ed.). Prentice Hall.

Pérez, E. M., Acevedo, J. M., Silva, C. F., Quiroga, J. A., & López, S. P. (2005). *Autómatas Programables - Entorno y Aplicaciones*. Madrid: Thomson.

Rockwell Automation. (2008). PowerFlex® 4 and 40 - Technical Data. USA.

Rockwell Automation, Inc. (2008). PowerFlex 40 Adjustable Frequency AC Drive FRN 1.xx - 6.xx User Manual. USA.

Rushton, A., Oxley, J., & Croucher, P. (2000). *Handbook of Logistics and Distribution Management* (2ª Edição ed.). London: Kogan Page Limited.

Schoeller Arca Systems. (2011). *Big Box 1200 x 800 x 760*. Obtido em 20 de 02 de 2011, de Schoeller Arca Systems: <http://www.schoellerarcasystems.com/Europe/Products/productdetail?CategoryID=1014549&ProductID=4403.100>

Siemens AG. (2009). AT12 Elevator Door Drive Operating Instructions. Germany.

Siemens AG. (2010). Industrial Controls Catalog IC 10 • 2011. Germany.

Siemens AG. (2009). Products for Totally Integrated Automation and Micro Automation. Germany.

Siemens AG. (2010). Products for Weighing Technology. Germany.

Siemens AG. (2008). SIMATIC RF600 - RFID system in the UHF range. Germany.

Teledyne DALSA. (2009). BOA Next Generation Smart Camera Technology. Ontario.

UNDERCOVER S.L. (28 de Maio de 2005). *Producto*. Obtido em 3 de Setembro de 2010, de Web site de UNDERCOVER S.L: <http://www.bigloo.info/en/producto/>

Velez, F. J., Borges, L. M., Oliveira, P., & Rodrigues, A. (2009). *Curso de Electrónica Industrial*. Lisboa: Lidel.

ANEXO I

CATÁLOGOS DOS FABRICANTES

HEPCO - DLS - Linear Transmission and positioning system.	I-I
HEPCO - HDLS - heavy duty slide system.....	I-II
HEPCO - MCS aluminium frame and machine construction system including MFSfencing system.....	I-III
HEPCO - GV3.....	I-IV
Rockwell Automation - PowerFlex® 4 and 40 - Technical Data.....	I-V
Festo - Parallel grippers HGPLE, sturdy with long stroke, electric.	I-VI
Siemens AG - AT12 Elevator Door Drive Operating Instructions	I-VII
Siemens AG - Products for Weighing Technology.	I-VIII
Teledyne DALSA - BOA Next Generation Smart Camera Technology.....	I-IX
Siemens AG - SIMATIC RF600 - RFID system in the UHF range.....	I-X
Siemens AG - Products for Totally Integrated Automation and Micro Automation.....	I-XI
Siemens AG - Industrial Controls Catalog.....	I-XII

NOTA: A informação relativa a este anexo encontra-se disponível apenas em formato digital, no CD fornecido juntamente com este documento.

ANEXO II

LISTAGEM DO PROGRAMA DE AUTOMAÇÃO E CONTROLO

LISTA DE SÍMBOLOS	II-I
OB1 "MAIN PROGRAM"	II-II
FC1 "FC_MOTOR_CONTROL"	II-III
FC2 "FC_COMPARE"	II-IV
FC3 "FC_SEARCH_EMPTY"	II-V
FC4 "FC_SEARCH_ID"	II-VI
FC5 "FC_GO_POSITION"	II-VII
FC6 "FC_GO_HOME"	II-VIII
FC7 "FC_CHECK"	II-IX
FC8 "FC_REGISTER"	II-X
FC9 "FC_OPERATION"	II-XI
DB1 "DB_DADOS"	II-XII