

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Implementação em Chão de Fábrica do Sistema de
Corte de Rolos Calandrados - SCRC**

Paulo Miranda Rebelo

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Prof. Dr. António Paulo Moreira
Coorientador: Prof. Dr. Hélio Mendonça

20 de março de 2017

© Paulo Rebelo, 2017

Resumo

O presente documento tem a finalidade de denotar as várias fases do projeto, com vista a proporcionar uma clara ideia acerca do trabalho desenvolvido durante as cadeiras de PDI - Preparação da Dissertação e DISS - Dissertação.

A primeira fase aborda temas como os sistemas de visão, os sistemas de projeção, mais propriamente *Projection mapping*, os sistemas de movimentos lineares, os sistemas de identificação automática e os processos e meios de produção existentes na empresa em questão, nomeadamente, metodologias de modelação, protocolos de comunicação e o autómato empregue na máquina *Maxi-Slitter*. Esta fase iniciou-se com a análise do processo de produção, de forma a compreender as necessidades reais, permitindo o desenvolvimento de um sistema que possa contribuir para uma melhoria substancial no processo de corte dos rolos calandrados, no Departamento de Preparação 2 - Frio.

A segunda fase envolve uma componente teórico/prática, onde se realizará a aplicação concreta deste projeto na *Continental Mabor* - Indústria de Pneus, S.A..

No seguimento deste cenário, em primeiro lugar, será dedicado todo o esforço no sentido de compreender, detalhadamente, quais as necessidades e requisitos que o sistema deverá satisfazer realizando semanalmente reuniões com todos os departamentos da Continental. Posto isto, passar-se-á para a modelação do sistema e, posterior implementação.

Por último, e como forma de garantir que o trabalho foi desenvolvido como o projetado e delineado, efetuar-se-ão testes ao sistema para avaliar se todas as necessidades e requisitos foram satisfeitos com sucesso, culminando na sua validação.

Abstract

This document is intended to denote the various stages of the project, in order to provide a clear idea about the work developed during the IDP - Dissertation Preparation and DISS - Dissertation.

The first stage deals with topics such as vision systems, projection systems, more precisely Projection mapping, linear motion systems, automatic identification systems and processes and means of production existing in the company in question, namely modeling methodologies , Communication protocols and the automaton used in the Maxi-Slitter machine. This phase began with the analysis of the production process, in order to understand the real needs, allowing the development of a system that can contribute to a substantial improvement in the process of cutting the calendered rolls in the Preparation Department 2 - Cold.

The second stage involves a theoretical/practical component, where the concrete application of this project will be carried out at Continental Mabor - Indústria de Pneus, S.A..

Following this scenario, first, it will be dedicated to all the effort to understand in detail what the needs and requirements that the system must meet conducting weekly meetings with all Continental departments. That said, it will be moving to the system modeling and subsequent implementation.

Finally, and in order to ensure that the work was carried out as *designed* and outlined, make they will be testing the system to evaluate whether all the needs and requirements were successfully met, culminating in it's validation.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão que me proporcionaram as melhores condições e me apoiaram sempre em decisões importantes.

Aos meus orientadores da faculdade Prof. Dr. António Paulo Gomes Mendes Moreira e Prof. Dr. Hélio Mendes de Sousa Mendonça pelo conhecimento partilhado e orientação ao longo de todo o projeto.

À Continental Mabor e em particular aos meus orientadores da empresa Eng.º Francisco Ferreira e Eng.º Nuno Gandara que me proporcionaram todas as condições necessárias para realizar o estágio na empresa acreditando sempre nas minhas valências.

Aos meus amigos e familiares que sempre viveram e festejaram comigo as vitórias e os objetivos alcançados.

Ao meu tio e Eng.º Alfredo José Magalhães de Miranda por todo o incentivo e partilha de conhecimento ao longo do meu trajeto académico.

Acima de tudo, estou agradecido por hoje me sentir mais capaz e por ver realizado um dos meus sonhos e objetivos de vida.

"The task is not so much to see what no one has seen, but to think what no one has yet thought about what everyone sees."

Arthur Schopenhauer

Índice

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
Índice	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Motivação	1
Contexto	2
Objetivos	4
Revisão Bibliográfica	5
1.1 - Sistemas de Projeção.....	5
1.2 - <i>Projection mapping</i>	6
1.3 - Sistemas de Visão	9
1.4 - Sistemas de Movimentos Lineares.....	12
1.5 - <i>RFID</i>	38
1.6 - Módulo <i>RFID MFRC522</i>	46
Capítulo 2	63
2.1 - Caracterização do Problema	63
2.1.1 - Definição do Problema	63
2.1.2 - Solução Proposta	64
2.2 - Projeção da Imagem	64
2.2.1 - Introdução	64
2.2.2 - Arquitetura Funcional	65
2.2.3 - Componentes de <i>Hardware</i>	66
2.2.4 - <i>Software</i>	70
2.3 - Aquisição e Análise da Imagem	71
2.3.1 - Introdução	71

2.3.2 - Arquitetura Funcional	72
2.3.3 - Componentes de <i>Hardware</i>	72
2.3.4 - <i>Software</i>	73
2.4 - Aquisição da Posição	75
2.4.1 - Introdução	75
2.4.2 - Arquitetura Funcional	76
2.4.3 - Componentes de <i>Hardware</i>	76
2.4.4 - <i>Software</i>	77
2.4.5 - Componente Mecânica	78
Capítulo 3	79
3.1 - Testes ao Sistema	79
3.1.1 - Comunicação entre o <i>Raspberry Pi</i> e o <i>IPC Beckhoff</i>	79
3.1.2 - Aquisição da Posição	82
3.1.3 - Projeção, Aquisição e Análise de Imagem	83
Capítulo 4	91
4.1 - Conclusões	91
4.2 - Trabalho Futuro	92
Anexo A	95
Apresentação da empresa	95
Anexo B	103
Análise de Custos	103
Anexo C	107
Maquete	107
Referências.....	109

Lista de figuras

Figura 1.1 - Relação Geométrica entre Componentes [4].....	7
Figura 1.2 - Projeção de um ponto no plano de imagem - Modelo Pin-hole [2]	10
Figura 1.3 - Projeção similar de um ponto 3D no plano de imagem [2].....	11
Figura 1.4 - Modelo Pin-hole [3].....	12
Figura 1.5 - Estrutura básica de uma máquina [19]	13
Figura 1.6 - Guia Linear [19].....	13
Figura 1.7 - Guia Rotativo [19]	14
Figura 1.8 - Guias lineares - Princípios de funcionamento [19].....	15
Figura 1.9 - Guias lineares - Características [19].....	15
Figura 1.10 - Esquema relativo aos tipos de drives [19].....	16
Figura 1.11 - Visão geral das componentes de uma máquina [19].....	17
Figura 1.12 - Constituintes de um sistema de movimento linear [19].....	18
Figura 1.13 - Parâmetros de utilização de um sistema de movimento linear [19]	19
Figura 1.14 - Estrutura base dos sistemas de movimentos lineares [19].....	20
Figura 1.15 - Quadro com eixos guia [19].....	21
Figura 1.16 - Conjunto de transporte [19].....	21
Figura 1.17 - Corte de perfil de um sistema de movimento linear [19].....	22
Figura 1.18 - Fuso de Esferas e versões de acionamento por correia dentada [19].....	23
Figura 1.19 - Acabamentos finais [19].....	23
Figura 1.20 - Acionamento e invólucro [19]	23
Figura 1.21 - Tensão e invólucro [19]	24
Figura 1.22 - Blocos finais [19]	24
Figura 1.23 - Bloco final com apoio fixo (1) [19]	24
Figura 1.24 - Bloco final com rolamento flutuante (2) [19].....	25
Figura 1.25 - Blocos finais relativos ao acionamento através de cremalheira e pinhão [19] ..	25
Figura 1.26 - - Blocos finais, com buffer, relativos ao acionamento por motor linear [19] ...	25

Figura 1.27 - Motor de montagem com acoplamento e motor de piso [19].....	26
Figura 1.28 - Acionamento lateral de correia dentada com um servo motor [19].....	26
Figura 1.29 - Redutor integrado com servo motor [19]	27
Figura 1.30 - Redutor integrado com servo motor [19]	27
Figura 1.31 - Tipos de proteção: Tira de selagem, Placa de metal, Foles de proteção [19]...	27
Figura 1.32 - Sistema integrado de medição indutiva [19]	28
Figura 1.33 - Tipos de guias lineares [19]	29
Figura 1.34 - Diferentes tipos de precisão [19]	30
Figura 1.35 - Avaliação das características de cada tipo de guia [19].....	30
Figura 1.36 - Unidades de acionamento e suas características [19]	31
Figura 1.37 - Conjunto de fuso de esferas [19].....	32
Figura 1.38 - Correia Dentada [19].....	32
Figura 1.39 - Conjunto cremalheira e pinhão [19].....	33
Figura 1.40 - Motor Linear [19]	33
Figura 1.41 - Acionamento pneumático de um módulo linear [19].....	34
Figura 1.42 - Avaliação das características dos vários tipos de acionamento [19]	34
Figura 1.43 - Ilustração de especificações de carga e momento dinâmico [19].....	36
Figura 1.44 - Gráfico, exemplo, da deflexão de um modelo linear [19]	37
Figura 1.45 - Sistemas de Identificação Automática [12].....	38
Figura 1.46 - Componentes de um sistema RFID [13]	39
Figura 1.47 - Módulo <i>MFRC522</i>	46
Figura 1.48 - Arquitetura Mestre-Escravo [28]	48
Figura 1.49 - Arquitetura Multi-Mestre [28].....	48
Figura 1.50 - Transferência de dados [24]	49
Figura 1.51 - Start and Stop Condition [18].....	50
Figura 1.52 - Sinal ACK [24]	51
Figura 1.53 - Sinal NACK [24].....	51
Figura 1.54 - Primeiro <i>byte</i> após o procedimento <i>Start</i> [18].....	51
Figura 1.55 - Transferência de dados [22]	52
Figura 1.56 - Operação de Escrita [24]	52

Figura 1.57 - Operação de Leitura [24]	53
Figura 1.58 - Formato de Combinação entre Escrita e Leitura [24]	53
Figura 1.59 - Transferência de <i>bits</i> [18]	54
Figura 1.60 - Interface relativa ao Protocolo I2C [18]	55
Figura 1.61 - SPI Topologia Comum [25]	58
Figura 1.62 - SPI Topologia <i>Daisy Chain</i> [26]	59
Figura 1.63 - Comunicação com o microcontrolador [18]	59
Figura 2.1 - Projeção de Imagem [27]	65
Figura 2.2 - Arquitetura Funcional relativa ao Sistema de Projeção de Imagem	66
Figura 2.3 - Exterior do IPC da Beckhoff C61xx [29]	69
Figura 2.4 - Interior do IPC da Beckhoff série C61xx [29]	69
Figura 2.5 - Painel de Controlo Beckhoff	70
Figura 2.6 - Arquitetura Funcional relativa ao Sistema de Aquisição de Imagem	72
Figura 2.7 - Código relativo à função <i>threshold</i> e à função <i>findContours</i>	74
Figura 2.8 - Algoritmo que permite saber qual é, na realidade, a largura das lâminas em milímetros	74
Figura 2.9 - Arquitetura Funcional relativa ao Sistema de Aquisição de Posição	76
Figura 2.10 - Suportes para a Calha <i>Igus</i> e adaptador para bloqueio da posição do carrinho	78
Figura 3.1 - Endereço da comunicação entre o <i>Raspberry Pi</i> e o PC.	79
Figura 3.2 - Criação da ligação por parte do <i>Raspberry Pi</i> (mestre)	80
Figura 3.3 - Introdução de dados através da linha de comandos do PC (escravo)	80
Figura 3.4 - Receção dos dados por parte do <i>Raspberry Pi</i>	80
Figura 3.5 - Tabela relativa aos dados obtidos pelo PC e pelo Leitor RFID	81
Figura 3.6 - Tabela relativa aos casos possíveis do sistema	82
Figura 3.7 - <i>Front-End</i> do leitor <i>RFID</i>	83
Figura 3.8 - Validação das leituras do cartão, da <i>tag</i> e respetivas posições	83
Figura 3.9 - Imagem que contém a folha branca com linhas a preto	84
Figura 3.10 - Imagem cortada e em tons de cinza	84
Figura 3.11 - Ajuste de valores para deteção das linhas	85
Figura 3.12 - Validação da deteção das linhas e sua orientação	85

Figura 3.13 - Primeiro teste do sistema em ambiente industrial.....	86
Figura 3.14 - Teste em ambiente industrial após alguns ajustes do algoritmo.....	87
Figura 3.15 - Teste do sistema com projeção a vermelho.....	87
Figura 3.16 - Teste do sistema com projeção a azul.....	88
Figura 3.17 - Teste do sistema com projeção a verde.....	88
Figura 3.18 - Teste final de validação de todo o processo de aquisição e análise de imagem.....	89
Figura 3.19 - Validação da largura entre lâminas.....	89
Figura 4.1 - Ilustração da interseção das linhas nos suportes das lâminas.....	93
Figura 4.2 - Logótipo Continental [9].....	95
Figura 4.3 - Países em que está presente [11].....	96
Figura 4.4 - Antiga Continental Mabor [9].....	97
Figura 4.5 - Novas instalações da Continental Mabor [9].....	97
Figura 4.6 - Estrutura da Continental Mabor.....	98
Figura 4.7 - Departamentos de Produção da Continental Mabor.....	100
Figura 4.8 - Construção [9].....	101
Figura 4.9 - Vulcanização [9].....	101
Figura 4.10 - Inspeção Final [9].....	102

Lista de tabelas

Tabela 1.1 - <i>Projection Mapping Softwares</i> [7].....	9
Tabela 1.2 - Comparação das características das várias tags [14]	42
Tabela 1.3 - Comparação das características entre código de barras e RFID [16] [17]	43
Tabela 1.4 - Protocolo de Conexões para se detetar o tipo de <i>interface</i>	47
Tabela 1.5 - Valor base do sinal de relógio é zero	58
Tabela 1.6 - Valor base do sinal de relógio é um	58
Tabela 1.7 - Ordem de <i>bytes</i> (MOSI e MISO) na leitura de dados [18].....	60
Tabela 1.8 - Ordem de <i>bytes</i> (MOSI e MISO) na escrita de dados [18]	60
Tabela 1.9 - Registo endereço <i>byte</i> 0, Endereço <i>MOSI</i> [18]	61
Tabela 2.1 - Características do <i>Mini LED Projetor</i>	67
Tabela 2.2 - Características <i>Raspberry Pi 3 Model B</i>	67
Tabela 2.3 - Exemplo de dados transferidos do <i>IPC</i> para o <i>Raspberry Pi</i> por <i>Ethernet</i>	70
Tabela 2.4 - Características <i>Raspberry Pi Camera Module v2</i>	73
Tabela 2.5 - Atribuição da posição na calha a cada cartão <i>MIFARE</i>	77
Tabela 4.1 - Listagem de material adquirido	104
Tabela 4.2 - Listagem de peças adquiridas.....	105

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

BD	Base de Dados
CAL	Calandra
CS	<i>Capstrip</i>
DEEC	Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
DE1	Departamento de Engenharia 1
DE2	Departamento de Engenharia 2
DE3	Departamento de Engenharia 3
DISS	Dissertação
DP2-F	Departamento de Preparação 2 - Frio
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
MS	<i>Maxi-Slitter</i>
OPC	<i>Open Platform Communications</i>
PDI	Preparação da Dissertação
PN	<i>Patter-Noster</i>
SCRC	Sistema de Corte de Rolos Calandrados
SGRC	Sistema de Gestão de Rolos Calandrados
SI	Sistema de Informação
SIA	Sistemas de Identificação Automática

Capítulo 1

Motivação

Hoje em dia, na empresa Continental Mabor, mais propriamente no DP2-F, existe um método de corte, manual, efetuado através do ajuste das lâminas da máquina *Maxi-Slitter 2* (MX). Esta máquina permite o corte dos rolos calandrados, provenientes das Calandras (CAL), em bobinas com as larguras desejadas. Contudo, e devido ao facto de o ajuste das lâminas de corte ser realizado manualmente, a precisão do corte, por vezes, não é a pretendida, o que limita os valores de produção, pois o *SCRAP* (SC) aumenta.

Por estes factos, há necessidade de garantir uma melhor gestão do corte.

A solução passa por se criar um sistema de projeção de imagens, a incidir no veio que contém as lâminas, constituídas por duas retas na vertical que representam a largura desejada para o corte do RC. Este método possibilitará ao operador realizar a sua função com uma elevada precisão no corte tendo apenas de colocar as lâminas no local indicado pelo sistema de projeção da máquina.

Posteriormente, criar-se-á um sistema de validação do padrão de corte colocado pelo operador. Esta validação será garantida através do desenvolvimento de um sistema de visão que permita a verificação e a validação da posição das lâminas e conseqüentemente a largura existente entre as mesmas. Apenas, após a análise e validação de todas as lâminas é que a máquina poderá dar início ao corte do rolo calandrado.

Paralelamente ao desenvolvimento do sistema de visão é imprescindível criar-se um sistema de movimento linear estável que permita ao sistema de visão aceder a todas as posições do veio que contém as lâminas.

Este projeto revela-se bastante benéfico e motivador, na medida em que contribui para melhorar a eficiência e a eficácia do processo de corte dos produtos intermédios e permite combater o *SCRAP* produzido no DP2-F. Por outro lado também se enquadra num projeto inovador para a empresa tendo em conta a pouca utilização de sistemas de visão nos processos de produção.

Contexto

A empresa *Continental Mabor* - Indústria de Pneus, S.A., que se situa em Lousado, concelho de Vila Nova de Famalicão, tem como finalidade o desenvolvimento de processos de produção para a criação de novos pneus.

A exigência na qualidade do produto, na sua produção bem como na satisfação do cliente/colaboradores são uma regra na empresa alemã, que aliada a produções em grandes escalas permite que a mesma seja reconhecida como uma empresa de excelência a nível internacional.

A fase de produção, no DP2-F, relativa a produtos intermédios (componentes do pneu), tem início numa máquina denominada de Calandra que produz rolos calandrados. Estes podem ser de dois tipos: metálico ou têxtil.

Após a sua produção, independentemente do seu tipo, podem seguir dois trajetos distintos: ou são diretamente enviados para uma máquina de corte, denominada de *Maxi-Slitter* e, imediatamente, é dada continuidade ao processo de produção, ou são encaminhados para um armazém de produtos intermédios, denominado *Patter-Noster* (PN).

Este projeto, designado por Sistema de Corte de Rolos Calandrados (SCRC), tem como principal objetivo melhorar a interação homem-máquina, máquina esta designada por *Maxi-Slitter*, contribuindo assim para um acréscimo na qualidade do produto. Todo o processo de corte será automático excetuando o manuseamento das lâminas.

É pretendido que a máquina reconheça o material a cortar, o padrão de corte e a posição em que se encontra o carrinho, proporcionando uma seleção automática das imagens a projetar, orientando, deste modo, o operador da posição de cada lâmina. O padrão de projeção pode variar tendo em conta o tipo de material a cortar, podendo deste modo variar a distância entre as lâminas.

Pretende-se assim, contribuir de forma positiva para outras tarefas que se encontram, direta ou indiretamente, relacionadas com a produção empresarial, nomeadamente, o planeamento dos consumos, a gestão de *stocks* de produtos intermédios, a rastreabilidade dos rolos, a gestão de *stocks* de meios de armazenamento, entre outros.

O projeto consiste também na implementação e desenvolvimento de um sistema de visão, automático, caracterizado por uma câmara para a validação da largura entre as lâminas. Para que o sistema de visão tenha acesso à posição de todas as lâminas será utilizada uma calha auxiliar constituída por um carrinho, que realiza o movimento linear sobre a calha e por um sistema de identificação automática. Esta calha é constituída por buracos duplos e está dividida por posições com um espaçamento de 120 mm, cada posição corresponde a cada buraco duplo. Em cada uma destas posições será colocado um cartão,

com um número próprio, com o objetivo de se identificar a posição em que se encontra o carrinho. O carrinho suporta o sistema de projeção, o sistema de visão e parte do sistema de identificação automática, o leitor de cartões.

O desenvolvimento do projeto deverá processar-se, essencialmente, em duas fases. Uma primeira fase de planeamento, revisão bibliográfica e reuniões semanais com a empresa para levantamento da informação necessária ao desenvolvimento do projeto (requisitos funcionais e não funcionais). Uma segunda fase, que se entende mais prática e, na qual se aplicará o sistema propriamente dito.

Este projeto será desenvolvido no Departamento de Engenharia 3 (DE3), da Continental Mabor, em parceria com o Departamento de Preparação 2 - Frio.

Objetivos

O objetivo inerente a este projeto é a análise e desenvolvimento de um sistema de visão-projeção que permita a realização de um corte preciso, com uma tolerância de mais ou menos 1mm, independentemente do material, em contexto empresarial - SCRC, proporcionando, deste modo, uma minimização do *SCRAP*, ou seja, uma minimização dos recursos que não podem ser aproveitados pela empresa.

A implementação do Sistema de Corte de Rolos Calandrados permite ao DP2-F uma minimização dos tempos de *setup* da *Maxi-Slitter 2* e consecutivamente uma maximização da disponibilidade dos recursos.

Por último, este sistema permitirá uma maior flexibilidade das operações na variação dos padrões de corte.

Revisão Bibliográfica

1.1 - Sistemas de Projeção

A interação entre humanos e robôs é uma área em constante desenvolvimento e dedicada a compreender e criar sistemas robóticos capazes de interagir com seres humanos. [10] A interação não implica necessariamente contacto, pois esta pode ser conseguida através da projeção de informação.

Hoje em dia, os projetores são uma solução económica para a interface homem-máquina. Este sistema de projeção implementa comunicação unidirecional do robô para o utilizador, sendo necessário adicionar sensores e atuadores, por exemplo uma câmara, para se detetar movimentos do utilizador ou para se identificar um ponto laser, existindo deste modo interação no sentido oposto.

A projeção das posições exatas no veio para a fixação das lâminas de corte é uma possível ajuda ao colaborador na realização do ajuste do padrão de corte, diminuindo assim o tempo de *setup* da máquina e permitindo uma maior exatidão no corte dos rolos calandrados, aumentando o rendimento do trabalho.

Os projetores de vídeo são capazes de projetar imagens em superfícies planas ou até mesmo em superfícies complexas para a criação de ambientes envolventes e tridimensionais.

O princípio de funcionamento é muito semelhante ao de uma câmara, contudo em vez de adquirir imagens projeta-as. Um modelo válido para a projeção é o modelo *pin-hole*, que será abordado mais à frente.

De uma forma geral os projetores são caracterizados por uma fonte de luz, um sistema de geração de imagem e uma lente para o ajuste de imagem.

1.2 - *Projection mapping*

É considerada uma técnica de projeção que em vez de utilizar superfícies planas é capaz de mapear imagens em cenários complexos e convertê-los em ecrãs interativos. Baseia-se na utilização de um ou vários vídeo-projetores a trabalhar em conjunto com um *software* que após adquirir uma representação 3D da cena mapeia as imagens.

Esta é uma técnica que tem vindo a ser cada vez mais utilizada na indústria, particularmente na indústria automóvel.

1.2.1 - Técnicas

Usualmente os projetores são utilizados para se projetar imagens em ecrãs planos e onde a sua posição é ortogonal ao plano de projeção, contudo recorrendo a técnicas de *projection mapping* é possível projetar corretamente uma imagem em variadíssimas superfícies, permitindo a criação de cenários imersivos.

Uma imagem, projetada numa superfície não plana, só está perfeita de um ponto de vista que é coincidente com a posição do projetor, de todas as outras posições a imagem encontra-se distorcida. Para que a imagem apareça correta a partir de todas as posições é necessário calcular a transformação geométrica entre o ponto de vista do utilizador (T) e o projetor para qualquer ponto no espaço (V), assegurando que ambos são modelizados através do modelo de câmara *pin-hole*.

Um dos métodos que assegura que a imagem seja a correta vista de várias posições é o processo de *renderização*, este método realiza a conversão tridimensional das coordenadas do mundo para bidimensional, imagem relativa ao ponto de vista do utilizador. Esta fase é obtida através da interseção do vetor TV (ponto de vista do utilizador e um ponto qualquer no espaço) com o plano de imagem mT, *pixel a pixel*. Posteriormente é realizado o mapeamento inverso para o ponto de vista do projetor, os píxeis do plano de imagem mT são convertidos para o plano de imagem mP. Esta conversão é conseguida utilizando a matriz homogénea de transformação entre as duas posições, utilizador e projetor.

Identificando o projetor pelo seu centro de projeção Pc e por Pc o seu plano de imagem, as coordenadas do *pixel*, mP, resultam da interseção do vetor PcM com o plano de imagem Pr, onde M representa o resultado da interseção do vetor TV com a superfície D.

Esta transformação permite a conversão *pixel a pixel* do ponto de vista do utilizador para o ponto de vista do projetor.

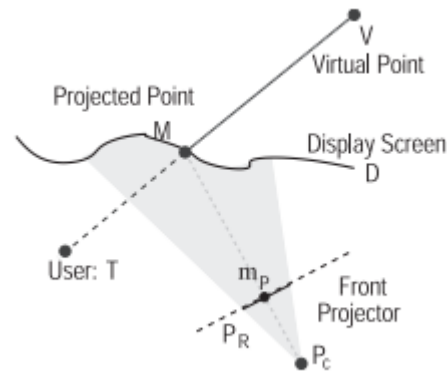


Figura 1.1 - Relação Geométrica entre Componentes [4]

1.2.1.1 - Homografia

Uma homografia é uma transformação entre duas perspectivas diferentes que permite não remover este efeito mas também recriá-lo principalmente quando é necessário realizar projeções nesse plano e não é possível colocar o projetor solidário com o plano [5].

Assumindo o modelo *pin-hole* para se calcular a homografia, que transforma cada *pixel* m_T para o correspondente m_P , é necessário resolver a seguinte matriz:

$$\begin{bmatrix} m_{Px} \\ m_{Py} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{Tx} \\ m_{Ty} \\ 1 \end{bmatrix}$$

1.2.1.2 - Projeção em Superfícies Planas

O método mais utilizado para se obter uma representação tridimensional, se o projetor não estiver posicionado ortogonalmente ao plano de projeção, consiste no dimensionamento de um conjunto de vértices tridimensionais interligados entre si, denominado de rede polinomial (*mesh*). Contudo, não se pode descorar que existe um compromisso entre qualidade e custo, quanto maior for o número de pontos maior será a fidelidade com a realidade, no entanto o poder de cálculo e o espaço de memória associados serão maiores.

Posteriormente, como o projetor se encontra numa posição oblíqua, é necessário se aplicar o método analisado anteriormente na secção [1.2.1.1](#), com vista a se processar a imagem correta, independentemente da posição do utilizador.

É importante frisar que a matriz de homografia entre o projetor e o plano não é alterada enquanto as suas posições se mantiverem. A eficiência do método, em termos de processamento, depende também da resolução da imagem, bem como dos *frames rates*.

Sendo P'_T a matriz de projeção resultante da pirâmide *view frustum* gerada por T e pelos quatro cantos da imagem gerada pelo projetor na superfície, verificando a seguinte

matriz de projeção 3x4 HP'_T , é necessário se criar uma versão 4x4 das matrizes H e P'_T , respetivamente H_{4x4} e P_T . Onde P_T transforma coordenadas 3D homogéneas em coordenadas 3D homogéneas normalizadas e H_{4x4} transforma estas em coordenadas de *pixel* relativamente ao projetor.

$$H_{4x4} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & 0 & h_{14} \\ h_{21} & h_{22} & 0 & h_{24} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ h_{31} & h_{32} & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} m_{px} \\ m_{py} \\ m_{pz} \\ 1 \end{bmatrix} = H_{4x4} P_T [V, 1]^T$$

No caso particular de o projetor se encontrar numa posição ortogonal ao plano, a imagem projetada já se encontra representada corretamente.

1.2.1.3 - Projeção em Superfícies Não Planas

A aplicação do método das duas passagens implica, que numa primeira fase, a imagem seja mapeada no plano do ponto de vista do utilizador e na segunda para o projetor. É necessário garantir que as calibrações do sistema estejam corretas e o ambiente mapeado com a precisão requerida.

A criação de uma representação 3D passa por se adquirir uma nuvem de pontos do ambiente com recurso a sensores de distância baseados em luz estruturada, em tempo de voo ou em conjuntos câmara-projetor. No caso da maioria dos sensores de distância os valores são adquiridos diretamente, no entanto no conjunto câmara-projetor é necessário projetar padrões de luz estruturada para se poder calcular as distâncias por intermédio da triangulação dos pixéis correspondentes. É de notar que a resolução dos padrões e a exatidão da calibração entre a câmara e o projetor, transformada e características intrínsecas de cada elemento, limitam a definição das medidas geradas [7].

Por fim, tem de se definir um referencial base e a sua transformação em relação ao projetor.

As calibrações e a aquisição tridimensional do ambiente proporcionam todas as transformações geométricas entre os objetos em cena, incluindo a posição do projetor e do utilizador.

1.2.2- Software

Atualmente o *projection mapping* tem vindo a despertar um crescente interesse por parte de várias indústrias, proporcionando o desenvolvimento de vários *softwares* sendo uns gratuitos, uns *open-source* e outros comerciais.

A tabela seguinte referencia alguns *softwares* e as respetivas características:

Tabela 1.1 - *Projection Mapping Softwares* [7]

Programas	Gratuito	Open Source	Windows	OSX	Linux
<i>VPT</i>	Sim	Não	Sim	Sim	Não
<i>TouchDesigner</i>	Sim, para uso não comercial	Não	Sim	Não	Não
<i>HeavyM</i>	Sim	Sim, para a comunidade	Sim	Sim	Não
<i>Painting With Light</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>FacadeSignage</i>	Não	Não		Não	Não
<i>MXWendler</i>	Não	Não	Sim	Sim	Não
<i>MWM - Multi Window Mapper</i>	Não	Não	Sim	Sim	Não

1.3 - Sistemas de Visão

Os sistemas de visão são dispositivos que utilizam sistemas de processamento de imagem, sendo exemplo disso as câmaras, que em conjunto com computadores realizam uma análise do meio ou da imagem captada.

Um sistema de visão é constituído por 4 fases:

- Captura da imagem
- Processamento da imagem
- Análise da imagem
- Resultado

Estes sistemas podem ser bastante vantajosos para o mundo industrial se forem bem projetados, podendo garantir precisão, consistência e flexibilidade. A consistência é

assegurada pela imunidade a fatores como o cansaço, o que elimina a variabilidade nas medidas, e pela possibilidade de se construir sistemas redundantes. A flexibilidade advém do facto de se poder realizar diversas medições, tendo apenas de se alterar o *software*.

1.3.1 - Modelo *Pin-hole*

Um modelo de câmara é uma função que mapeia os pontos tridimensionais dos objetos do mundo num plano bidimensional *designado* de plano de imagem.

O modelo *pin-hole* define que a abertura da câmara é modelada por um ponto infinitesimal e não considera a existência de lente, não contemplando as distorções introduzidas pela lente.

De uma forma simplista, o modelo resulta da interceção entre o plano e o vetor que contém o centro da câmara e o objeto no espaço.

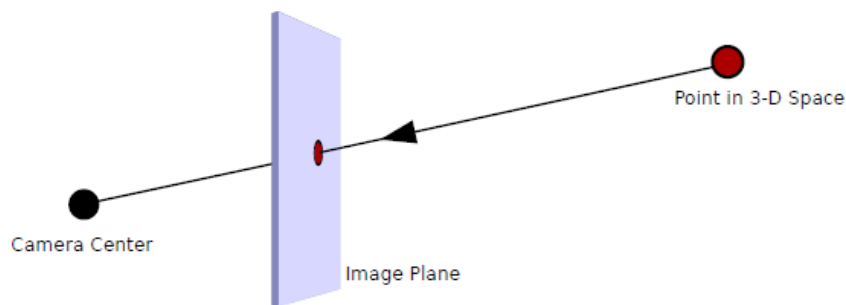


Figura 1.2 - Projeção de um ponto no plano de imagem - Modelo Pin-hole [2]

O plano de imagem é determinado tendo em conta a resolução da câmara e a distância focal f , que depende da abertura da câmara.

$$f = \frac{\frac{W}{2}}{\tan\left(\frac{fov}{2}\right)}$$

Onde fov representa a abertura da câmara.

A projeção de um ponto 3D no plano de imagem pode ser obtida considerando o referencial da origem da câmara ($W \times H$) paralelo ao referencial do plano de imagem com origem em $(0,0, f)^T$.

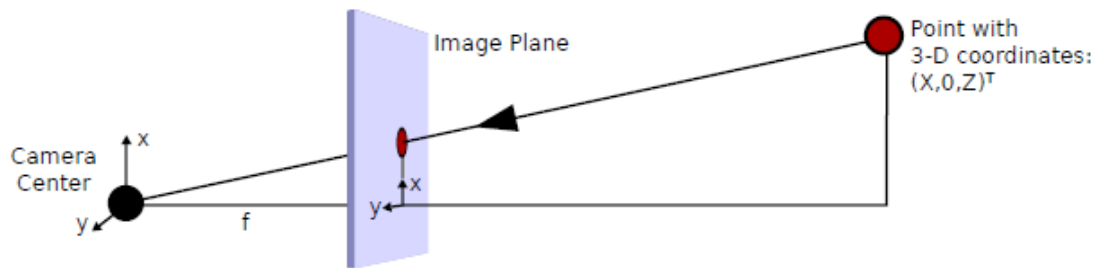


Figura 1.3 - Projeção similar de um ponto 3D no plano de imagem [2]

A projeção de perspectiva é determinada através da seguinte equação:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

Onde f_x e f_y representam as distâncias focais e c_x e c_y as coordenadas do píxel central.

1.3.2 - Calibração do Sistema

A calibração é constituída por apenas duas etapas. Inicialmente são calculadas as características intrínsecas: distâncias focais, centro da imagem e parâmetros de distorção da lente, que podem ser ou não considerados para o modelo. À posteriori, as características extrínsecas são determinadas, estas relacionam o referencial da câmara com o do espaço, ou seja, a matriz homogênea de transformação entre os dois referenciais.

$$b = \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

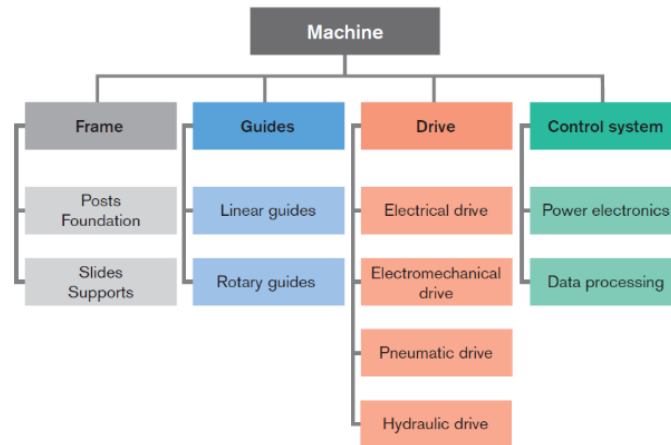


Figura 1.5 - Estrutura básica de uma máquina [19]

Quadro - O quadro de uma máquina é constituído por componentes estáticos e componentes dinâmicos. Existem vários modelos para desempenhar o pedido correspondente, contudo o objetivo do quadro é suportar a máquina e transmitir forças ao sistema.

Guias - Estas são responsáveis pela orientação e pelo poder de transmissão da movimentação dos componentes da máquina. A precisão da máquina está relacionada, em grande escala, com a precisão do sistema de orientação. O movimento pode ter como referência uma orientação linear ou uma orientação rotativa.

As guias são diferenciadas de acordo com o tipo de movimento, o tipo de pontos de contacto e os princípios de recirculação.

Diferença de guias tendo em conta o tipo de movimento - As máquinas não podem executar movimentos sem componentes de orientação. Dependendo do *design* do guia, forças e momentos podem ser transmitidos em certas direções entre componentes móveis e não móveis. As guias podem ser diferenciadas de acordo com o seu tipo de movimento.

Guias Lineares - Movimento linear ocorre ao longo de um eixo. Exemplos: sistemas de calhas com bola, controlos deslizantes.

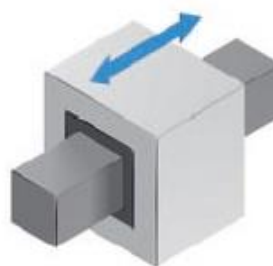


Figura 1.6 - Guia Linear [19]

Guias Rotativos - Movimento rotativo ocorre sobre um eixo. Exemplos: rolamentos rígidos de esferas, rolamentos deslizantes radiais.



Figura 1.7 - Guia Rotativo [19]

Princípios de funcionamento de guias lineares:

Linear guides			Operating principle
Rolling contact guides	Ball guide		There are balls between the moving and fixed machine parts.
	Roller guide		There are rollers between the moving and fixed machine parts.
	Cam roller guide		There are cam rollers supported on ball bearings between the moving and fixed machine parts.
Hydrodynamic sliding guides	Metal/metal		Both machine parts are in contact during standstill. When movement starts, a lubricating film gradually forms between the moving and the fixed machine element. The lubricating film only separates the moving and the fixed element of the machine completely at higher sliding speeds.
	Metal/plastic		The operational principle is the same as for metal/metal. The metal/plastic material combination reduces friction when movement starts, until a complete lubricating film forms.
Fluidostatic sliding guides	Hydrostatic guide		A pump supplies liquid lubricant to the guide. The moving part rises. Between the moving and the fixed element there is a film of lubricant under pressure.
	Aerostatic guide		A compressor supplies compressed air to the guide. The moving and the fixed machine element are separated by the compressed air.
Magnetic guides			The moving and fixed machine elements are separated by magnetic force. The moving part "floats." The guide is therefore non-contacting.

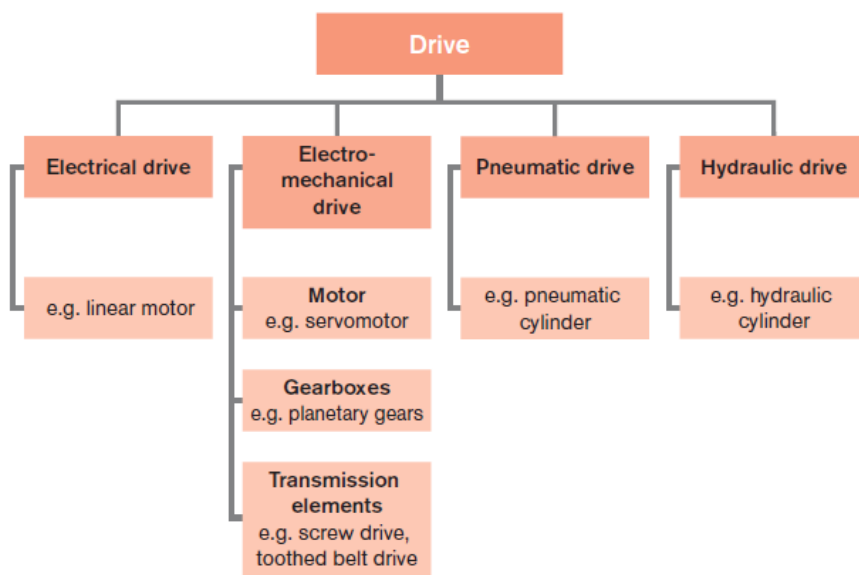


Figura 1.10 - Esquema relativo aos tipos de drives [19]

Sistema de Controlo - O sistema de controlo coordena os movimentos necessários da máquina, ou seja, controla a velocidade e a aceleração de todas as partes móveis da máquina. A eletrónica de potência serve os motores e os atuadores de alta potência, enquanto que o sistema de processamento de dados abrange os interruptores de limite, sistemas e os circuitos de segurança/proteção de medição.

Ilustração dos constituintes de uma máquina:

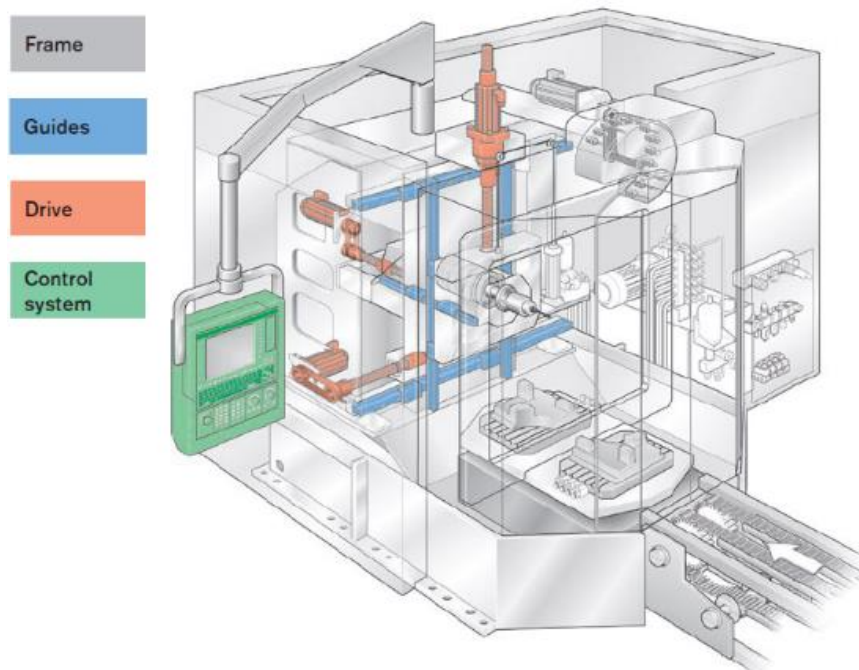


Figura 1.11 - Visão geral das componentes de uma máquina [19]

1.4.2 - Análise Técnica

Hoje em dia, os sistemas de movimento linear são precisos, com alta capacidade de orientação bem como de controlo e permitem uma combinação perfeita entre a alta performance e as dimensões compactas. Disponíveis numa ampla variedade de configurações, estes podem ser utilizados em diversos setores industriais.

Na maioria das vezes, máquinas e equipamentos podem ser construídos em menos tempo, com maior facilidade e com mais eficiência se se utilizarem sistemas de movimento linear padronizados, como exemplos disso temos a engenharia de projetos, a logística e a indústria de produtos.

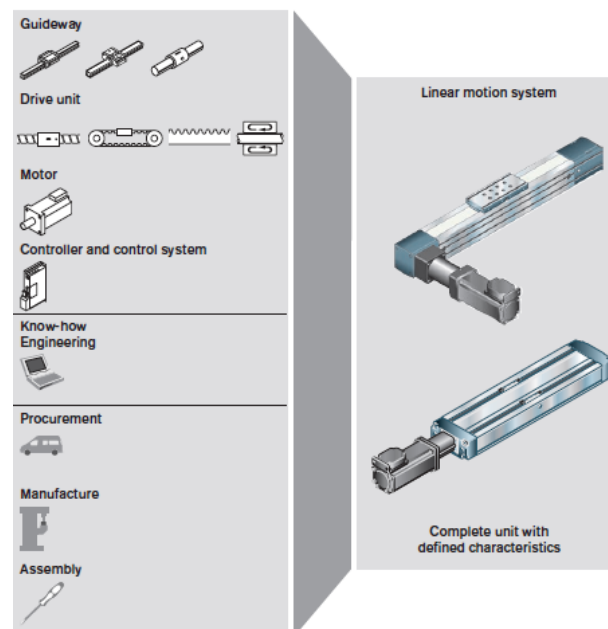


Figura 1.12 - Constituintes de um sistema de movimento linear [19]

Existem parâmetros a ter em conta para que seja executada uma aplicação correta dos sistemas de movimento linear, tais como: o espaço de instalação disponível, as condições ambientais prevaletentes, a precisão e a rigidez necessária.

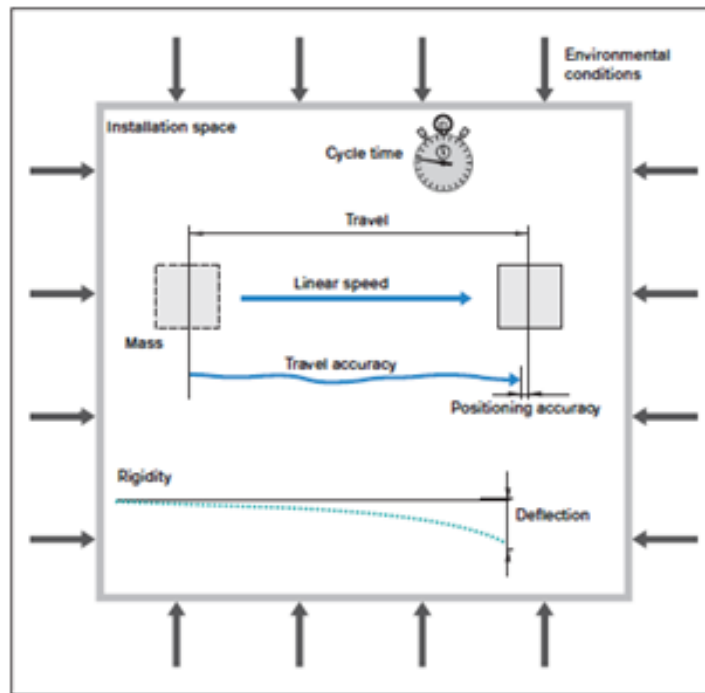


Figura 1.13 - Parâmetros de utilização de um sistema de movimento linear [19]

Normalmente, um sistema de movimento linear é utilizado como um sistema de movimento automático. Contudo, nem todos os sistemas são indicados para todas as áreas de aplicação. As áreas de aplicação podem ser definidas de acordo com a performance das tarefas ou com os setores industriais.

As tarefas mais usuais dos sistemas de movimento linear são:

- Manipulação;
- Montagem;
- Medição;
- Processamento.

Estas mesmas tarefas enquadram-se em vários setores distinguidos pelas seguintes áreas:

- Produção de componentes eletrônicos e de semicondutores;
- Indústria farmacêutica e tecnologia médica;
- Automação industrial;
- Carpintaria;
- Indústrias de empacotamento e alimentos.

1.4.3 - Estrutura base de sistemas de movimento linear

Os sistemas de movimento linear têm sempre a mesma estrutura base, que consiste nos seguintes componentes:

- Perfil da carga de rolamento com guia (6);
- Guias com blocos de canais (5);
- Blocos terminais com rolamentos (3) ou com gabinete de unidade final (11) e cerco final de tensão (9)
- Unidade de acionamento, ou seja, fuso de esferas (4), correia dentada (8) ou motor linear;
- Cobertura (7), por exemplo placa de cobertura ou tira de vedação;
- AC servo motor ou motor, passo a passo, de três fases (1), ligado diretamente através de um motor com montagem de acoplamento (2) ou através de uma unidade de engrenagens (10), com uma unidade de controlo e com controlador;
- Interruptor, tomada e ficha;
- Componentes opcionais, como suportes de parafusos, placas de conexão, acessórios de fixação, sistemas de medição de posição.

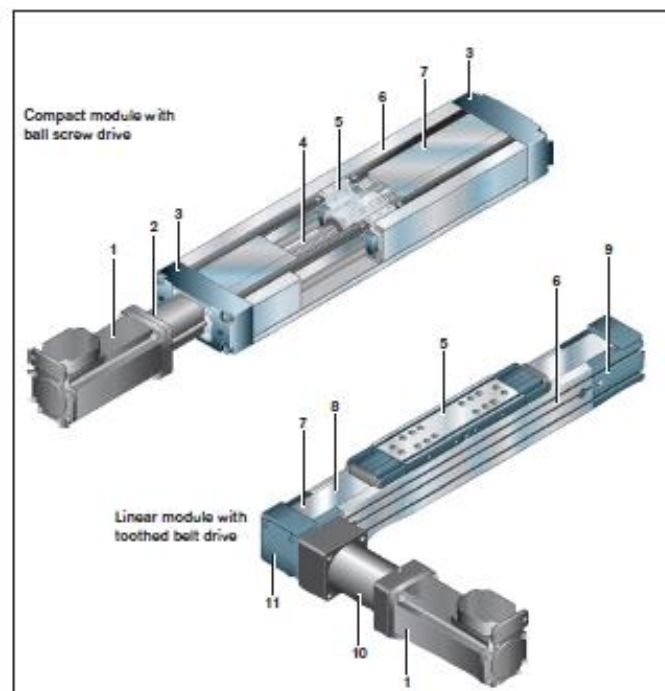


Figura 1.14 - Estrutura base dos sistemas de movimentos lineares [19]

Quadro com Guia Linear

Na maioria dos casos, a armação é fixa, à base de montagem, por meio de placas de fixação, geralmente, consiste num perfil de extrusão de alumínio anodizado, tornando o sistema de movimento linear altamente rígido. O revestimento anodizado melhora a aparência visual do quadro e protege o perfil de arranhões e corrosões.

O elemento de orientação real do sistema de movimento linear é o eixo/trilho da guia, que se encontra fixo à armação.

O trilho da guia ou é aparafusado na armação ou é integrado na armação. No caso das guias de ressalto, o mesmo é pressionado para dentro da armação.

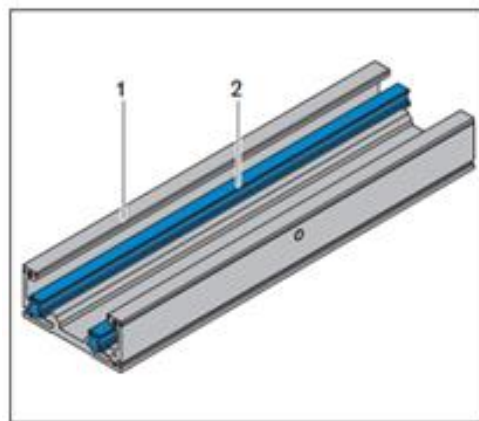


Figura 1.15 - Quadro com eixos guia [19]

Carrinho/Transportador

O conjunto do carro consiste num perfil de alumínio compacto com blocos de canais integrados ou fixos por parafusos. O carro está fixo à unidade de comando do sistema de movimento linear, quando o motor aplica um binário a unidade de acionamento define o movimento do carro.

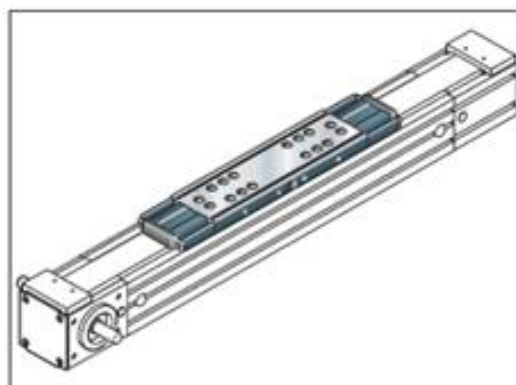
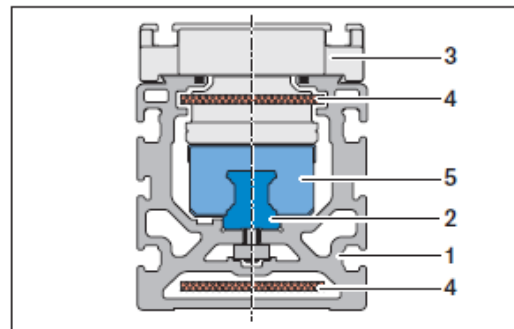


Figura 1.16 - Conjunto de transporte [19]

Lubrificação através do transporte

Todos os sistemas de movimento linear são concebidos para que seja necessária uma lubrificação regular. As guias são lubrificadas com o auxílio do conjunto do carro, seja a partir do lado (por exemplo, à mão) ou a partir de cima através de um sistema de lubrificação externo ao sistema.



Cross-section of a linear module with toothed belt drive

- 1 Frame
- 2 Guide rail
- 3 Carriage
- 4 Toothed belt
- 5 Runner block

Figura 1.17 - Corte de perfil de um sistema de movimento linear [19]

Unidades de acionamento de um sistema de movimento linear

A unidade de acionamento de um sistema de movimento linear contém força geradora e elementos emissores de força com os rolamentos associados.

Toothed belt drive - Correia Dentada

Módulos lineares de *toothed belt drive* têm um repositório na extremidade de acionamento (1) e um invólucro final de tensão (2). A componente principal no recinto final da unidade é uma roldana montada sobre rolamentos. A polia dentada transfere força do motor para a *toothed belt drive*.

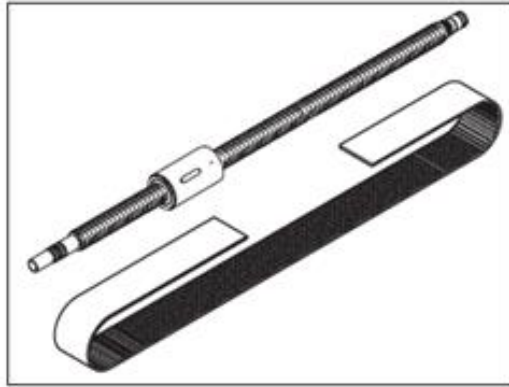


Figura 1.18 - Fuso de Esferas e versões de acionamento por correia dentada [19]

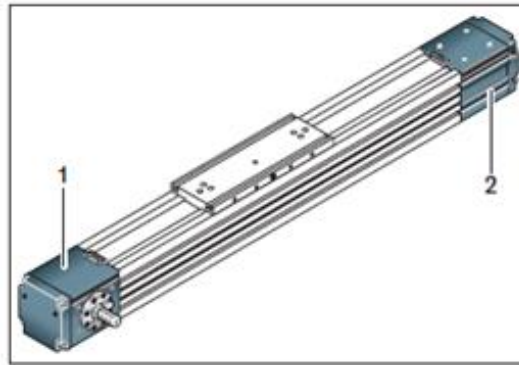


Figura 1.19 - Acabamentos finais [19]

No invólucro de tensão, a *toothed belt drive* é envolvida em torno de uma segunda polia montada de suporte para o movimento de retorno. A cinta pode, também, ser tensionada nesta zona, ajustando a posição da polia.

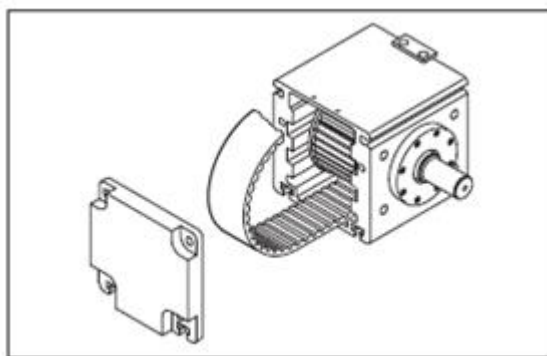


Figura 1.20 - Acionamento e invólucro [19]

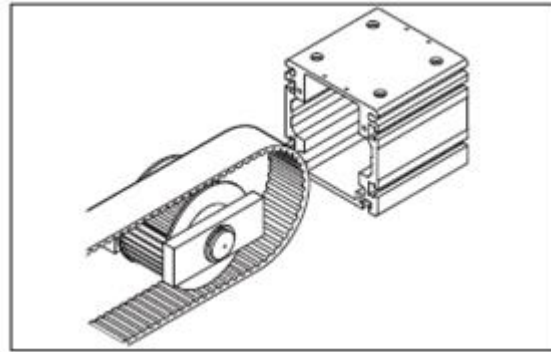


Figura 1.21 - Tensão e invólucro [19]

Ball screw drive - Fuso de Esferas

Nos sistemas de movimento linear com *ball screw drive*, os extremos são denominados por blocos finais. Estes acomodam rolamentos na extremidade da movimentação do parafuso. O veio/parafuso sobressai a partir de um dos dois blocos da extremidade para permitir a ligação entre o parafuso e o motor.

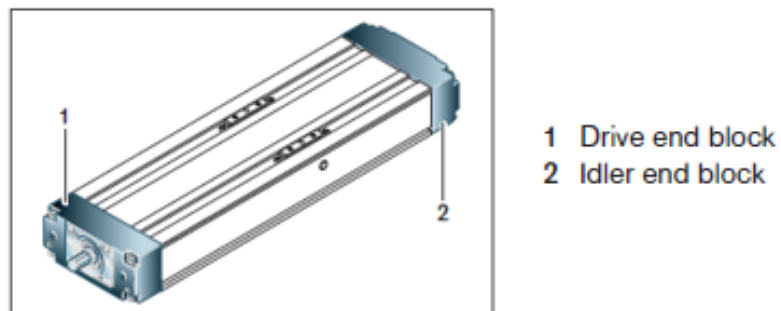


Figura 1.22 - Blocos finais [19]

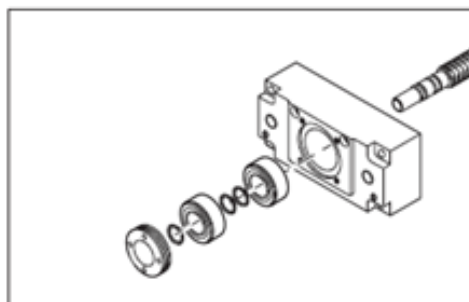


Figura 1.23 - Bloco final com apoio fixo (1) [19]

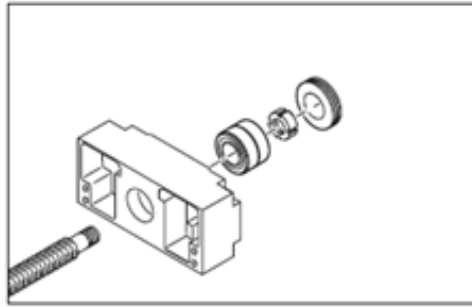


Figura 1.24 - Bloco final com rolamento flutuante (2) [19]

Linear motor, Rack and pinion drive - Motor Linear, Cremalheira e Pinhão

Nos sistemas de movimento linear com um motor linear ou de cremalheira e pinhão, os blocos terminais servem quer de tampas de extremidade, para o quadro, quer de batentes para se evitar que o conjunto de carro ultrapasse o fim do quadro.

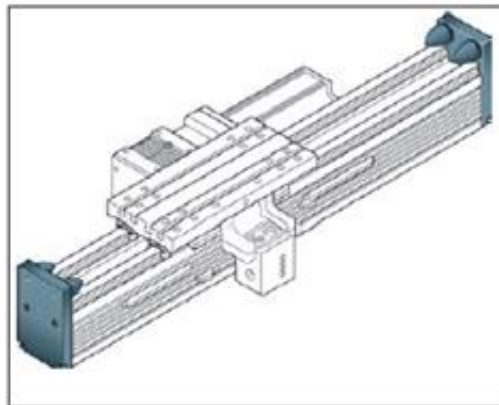


Figura 1.25 - Blocos finais relativos ao acionamento através de cremalheira e pinhão [19]

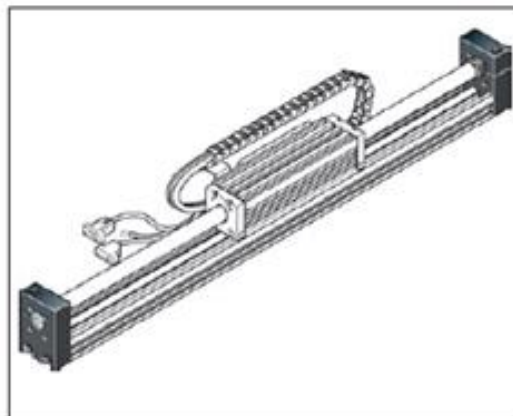


Figura 1.26 - - Blocos finais, com buffer, relativos ao acionamento por motor linear [19]

Motors - Motores

A maioria dos sistemas de movimento linear são acionados por motores. Servo motores AC, motores trifásicos e motores de passo são os mais utilizados nos sistemas referidos. Dependendo da aplicação e da combinação escolhida entre o sistema de movimento linear e o motor, os sistemas são acionados diretamente através de um motor de montagem e acoplamento, ou indiretamente através de uma unidade de engrenagem.

Gear units - Unidades de Engrenagem

Unidades laterais de temporização da correia ou engrenagens planetárias são utilizadas como unidades de engrenagem/redutoras. Usando relações de transmissão seleccionáveis, pode-se ajustar o binário do motor às necessidades específicas da aplicação e alcançar uma melhor correspondência entre a carga externa e o momento de inércia do motor, isto é, particularmente, importante para a otimização da malha de controlo rígido e para a obtenção de unidades altamente dinâmicas.

Se se utilizar uma *toothed belt drive*, o comprimento total do sistema pode ser reduzido em comparação à configuração da fixação direta no motor.

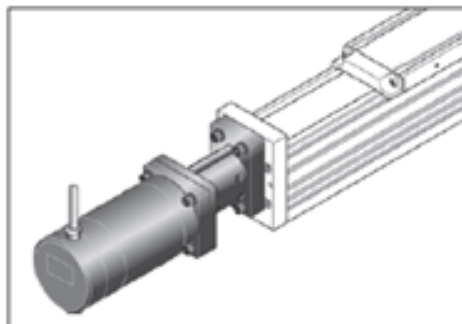


Figura 1.27 - Motor de montagem com acoplamento e motor de piso [19]

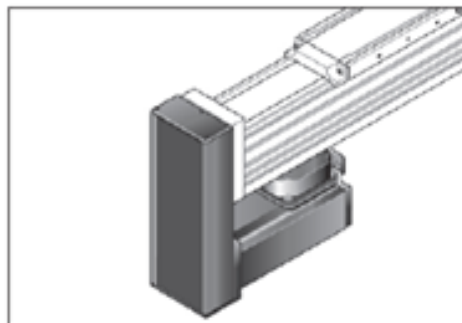


Figura 1.28 - Acionamento lateral de correia dentada com um servo motor [19]

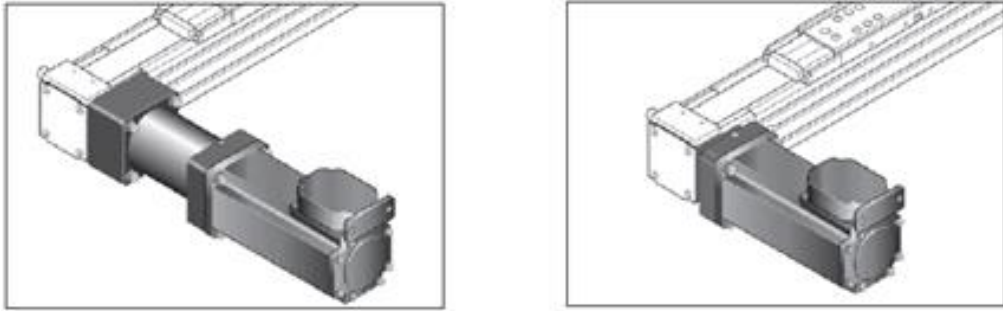


Figura 1.29 - Redutor integrado com servo motor [19]

Cover - Proteção

Alguns dos sistemas de movimento linear vêm, de fábrica, com uma capa para protegê-los de certas contaminações, também pode ser instalada uma tampa como opção noutros sistemas de movimento linear.

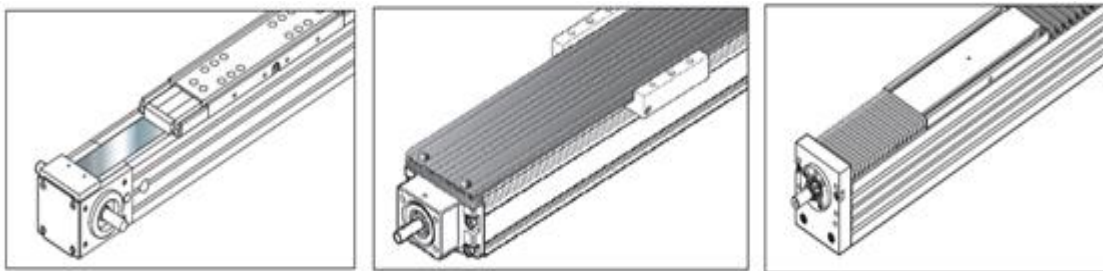


Figura 1.31 - Tipos de proteção: Tira de selagem, Placa de metal, Foles de proteção [19]

Measuring systems - Sistemas de Medição

A escolha do princípio de medição dependerá do tipo de sistema de movimento linear a utilizar. As opções possíveis são:

- Sistemas de Visão
- Sistemas Magnéticos
- Sistemas Indutivos

Os sistemas de medição podem ser suplementados por:

- Sistemas de rotação (*encoders*)
- Sistemas Lineares (escala de vidro)

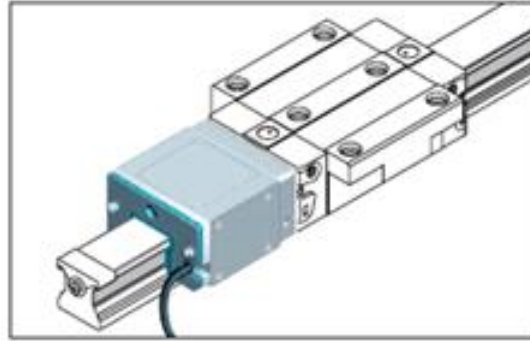


Figura 1.32 - Sistema integrado de medição indutiva [19]

1.4.4 - Tipos de Guias

Hoje em dia existem vários tipos de guias nos sistemas de movimento linear, cada uma oferece diferentes *vantagens*, permitindo uma escolha apropriada de acordo com a aplicação.

Tipos de Guias Lineares

As guias são sempre montadas na armação. Estas pode ser ligadas à estrutura por meio de elementos de fixação e/ou torturamento do eixo.

No caso de se utilizar buchas lineares e eixos, os eixos são fixos aos trilhos de suporte ou aos blocos de suporte nas pontas do eixo.

Tanto a rigidez como a precisão são critérios importantes na escolha da guia linear correta. A rigidez do sistema global depende do tipo e do número das guias instaladas.

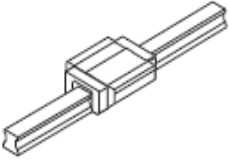
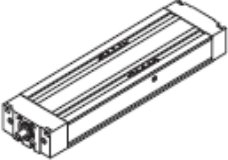
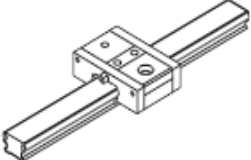
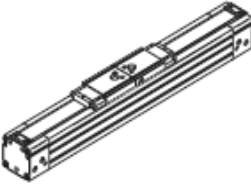
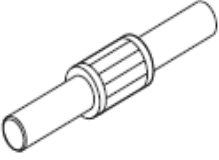
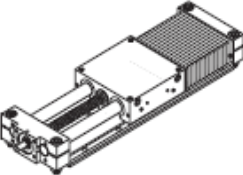
Guideway	Example	Characteristics
 Ball rail system	 Compact module CKK	<ul style="list-style-type: none"> ■ High rigidity ■ High precision ■ Comes standard with 2% C preload ■ Travel speeds up to 5 m/s possible
 Cam roller guide	 Linear module MLR	<ul style="list-style-type: none"> ■ Low noise level ■ High travel speeds up to 10 m/s possible
 Linear bushing and shaft	 Linear motion slide SOK	<ul style="list-style-type: none"> ■ Smooth running ■ Insensitive to dirt ■ Robust (particularly the closed type)

Figura 1.33 - Tipos de guias lineares [19]

1.4.5 - Características de Sistemas de Movimento Linear

Esperança de vida

A vida nominal de uma guia de um sistema de movimento linear é calculada a partir da capacidade de carga dinâmica C da guia ou do conjunto completo de carretos que a constituem.

Dois eixos, num sistema de movimento linear, têm uma esperança de vida superior a um sistema de movimento linear com apenas um eixo, isto para o mesmo tamanho de guia de transporte e de carga externa.

Sistema de Precisão

O sistema de precisão de um sistema com dois eixos é também maior do que um sistema com apenas um eixo. O espaçamento entre eixos reduz desvios geométricos.

Critérios de Precisão

Nos sistemas de movimento linear a precisão do movimento do carrinho é definida por:

- P1 - precisão do trilho da guia. Medição realizada na direção longitudinal ao longo do eixo de transporte;
- P2 - paralelismo da superfície de transporte em relação à base;
- P3 - paralelismo da superfície do carro em relação à borda de referência;
- P4 - linearidade da carruagem no sentido longitudinal.

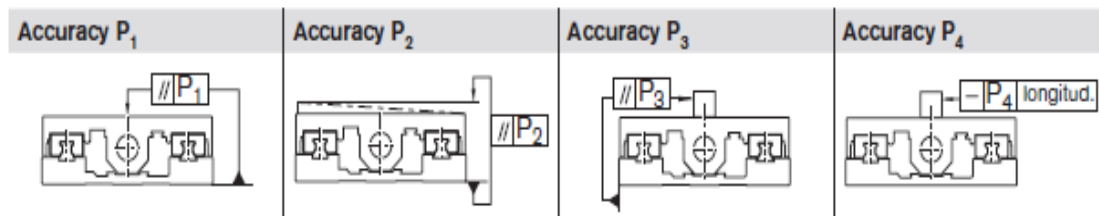





Figura 1.34 - Diferentes tipos de precisão [19]

Visão Geral

A tabela posterior contém as características dos diferentes tipos de carris:

Guideway	Load capacity	Preload possibilities	Rigidity	Linear speed	Travel accuracy	Noise characteristics
Ball rail system 	+++	+++	+++	++	+++	++
Cam roller guide 	+	++	+	+++	++	+++
Linear bushing and shaft 	++	++	++ ¹⁾ + ²⁾	++	++	++

1) Open type
2) Closed type

+++ Very good

++ Good

+ Satisfactory

Figura 1.35 - Avaliação das características de cada tipo de guia [19]

1.4.6 - Tipos de Unidades de Acionamento

As características dos sistemas de movimento linear são essencialmente definidas pelo tipo de acionamento que utilizam:




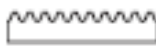


Drive unit	Characteristics
Without drive 	<ul style="list-style-type: none"> Manual movement Robust linear motion system
Ball screw 	<ul style="list-style-type: none"> High rigidity in the direction of travel High thrust force Repeatability ± 0.005 mm (zero backlash) Travel speeds up to 1.8 m/s
Toothed belt 	<ul style="list-style-type: none"> High travel speeds up to 5 m/s (MLR module: up to 10 m/s) Low rigidity in the direction of travel Repeatability ± 0.1 mm
Rack and pinion 	<ul style="list-style-type: none"> Allows long guideways lengths Travel speeds up to 5 m/s Allows applications with multiple, independent carriages Low noise
Linear motor 	<ul style="list-style-type: none"> High travel speeds up to 8 m/s and high acceleration rates Short cycle times High positioning accuracy and repeatability Allows applications with multiple, independent carriages Virtually no down-time due to low number of wear parts Maintenance-free linear motor Low noise
Pneumatic 	<ul style="list-style-type: none"> No motor required Travel to fixed end positions (no intermediate positions) Travel speeds up to 2 m/s

Figura 1.36 - Unidades de acionamento e suas características [19]

O tipo de unidade de acionamento escolhida determina a dinâmica (velocidade e aceleração) do sistema e a sua precisão de posicionamento e repetibilidade.

O ciclo de serviço é influenciado pelos requisitos cinemáticos. Devido aos seus diferentes *designs*, as unidades de acionamento, têm as suas próprias características específicas do sistema.

Ball screw - Parafuso de esfera

Em sistemas de movimento linear, os *ball screw drive* são usados principalmente com folga zero. Estas são, portanto, particularmente adequadas para a alimentação de tarefas que requeiram alta precisão.



Figura 1.37 - Conjunto de fuso de esferas [19]

Toothed belt - Correia Dentada

As *toothed belt drive* são particularmente adequadas para aplicações altamente dinâmicas. Os sistemas de movimento linear são constituídos por poliuretano resistente à abrasão (PU) e são reforçados com cordões de aço de alta resistência.

A *toothed belt drive* é presa a cada extremidade da carruagem por meio de grampos. O invólucro contém uma roldana, por meio da qual o binário do motor é aplicado e transferido para a correia. No final do curso, a *toothed belt drive* é envolvida em torno de uma outra polia e tencionada para assegurar um funcionamento suave.

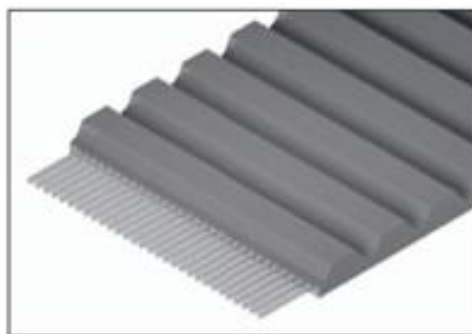


Figura 1.38 - Correia Dentada [19]

***Rack and pinion* - Cremalheira e pinhão**

No caso de *drives rack and pinion*, o carrinho, o parafuso sem-fim e o motor são montados no carro. Isso torna possível o deslocamento de vários conjuntos de carros independentes uns dos outros.

Este método é ideal quando se pretende construir sistemas com longas distâncias e com um movimento de alta velocidade. Os dentes helicoidais reduzem o ruído gerado pela unidade.



Figura 1.39 - Conjunto cremalheira e pinhão [19]

***Linear motor* - Motor Linear**

Um motor linear é um motor elétrico que produz um movimento linear em vez de movimentos giratórios. A força do impulso é gerada diretamente na parte móvel do carrinho. Nenhum elemento rígido adicional é necessário para transformar e transmitir o impulso.

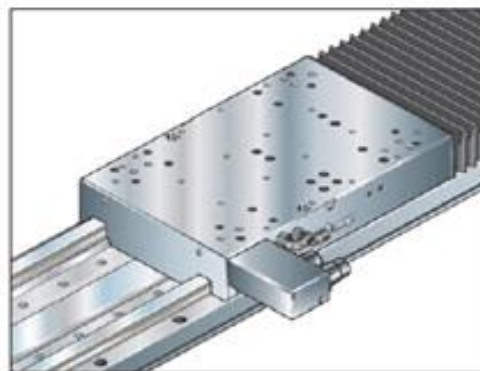


Figura 1.40 - Motor Linear [19]

***Pneumatic drive* - Acionamento Pneumático**

Unidades pneumáticas operam por meio de um êmbolo guiado num cilindro fechado. O ar comprimido pode ser aplicado a uma ou a ambas as extremidades do módulo linear e é






fornecido ao cilindro por meio de condutas de ar internas. Um cinto fixado ao êmbolo é guiado em torno de polias nos compartimentos de extremidade transmitindo assim o movimento do pistão, isto é, a força motriz para o transporte.



Figura 1.41 - Acionamento pneumático de um módulo linear [19]

Visão Geral

A tabela seguinte resume as características dos vários acionamentos:

Drive unit	Requirements				
	Thrust	Rigidity	Speed	Precision ¹⁾	Noise characteristics
Ball screw 	+++	+++	+	+++	++
Toothed belt 	++	+	+++	+	++
Rack and pinion 	+++	+++	++	++	++
Linear motor 	++	+++	+++	+++	+++
Pneumatic 	+	0	+	0	++

1) Depending on the measuring system used, its accuracy, and the control system

+++ Very good
 ++ Good
 + Satisfactory
 0 Adequate

Figura 1.42 - Avaliação das características dos vários tipos de acionamento [19]

1.4.7 - Parâmetros de Aplicação

Um sistema de movimento linear, apropriado, pode ser pré-selecionado por meio de uma análise, definindo-se os seguintes parâmetros de aplicação:

- Comprimento de curso
- Espaço de instalação
- Carga
- Tempos de ciclo e velocidade linear
- Repetibilidade e precisão de posicionamento
- Rigidez
- Condições Ambientais

***Stroke length* - Comprimento de Curso**

O comprimento total de um sistema de movimento linear é calculado através do seu comprimento de curso, este depende do tipo de *drive* a utilizar.

Com o *ball screw drive*, o problema da velocidade crítica torna-se um fator favorável até um certo comprimento, para comprimentos maiores o *toothed belt drive* é o mais adequado.

Alguns sistemas de movimento linear com *ball screw drive* estão disponíveis com os apoios dos parafusos, estes encurtam o comprimento do parafuso livre e suportam a placa de cobertura, que também está frequentemente presente. Isto pode aumentar significativamente a velocidade de rotação permitida e o comprimento do curso.

***Installation space* - Espaço de Instalação**

Quando se seleciona um sistema de movimento linear é necessário ter-se em conta o seu espaço de instalação, isto é, comprimento, largura e altura. Dependendo da sua configuração, a fixação de um motor pode aumentar significativamente o comprimento ou a largura do sistema de movimento linear.

***Load* - Carga**

O tamanho e o tipo de sistema de movimento linear estão restritos pela carga que se pretende transportar. Módulos compactos, com duas calhas, têm maior capacidade de carga do que módulos com apenas uma calha, isto para o mesmo tamanho de guia linear. Em geral,

cargas até cerca de 20% das capacidades de carga dinâmica e de momento (C , M_t , M_L) têm provado ser aceitáveis.

Os limites que se seguem, não devem ser excedidos:

- Binário do motor permitido
- Máxima velocidade permitida
- Forças e momentos máximos admitidos
- Máxima deflexão admitida

O torque de acionamento admissível, a velocidade máxima permitida, as forças e os momentos admissíveis são determinados pelas guias lineares e pelo acionamento utilizado.

Os catálogos de produtos fornecem detalhes sobre os valores característicos dinâmicos e sobre as forças máximas admissíveis, bem como dos respectivos momentos.

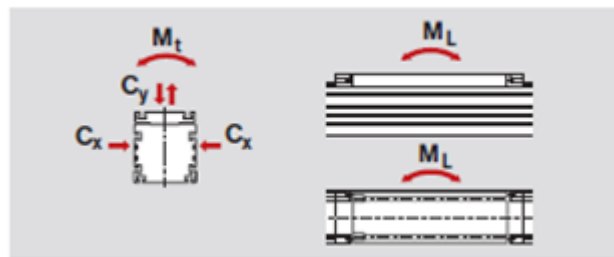


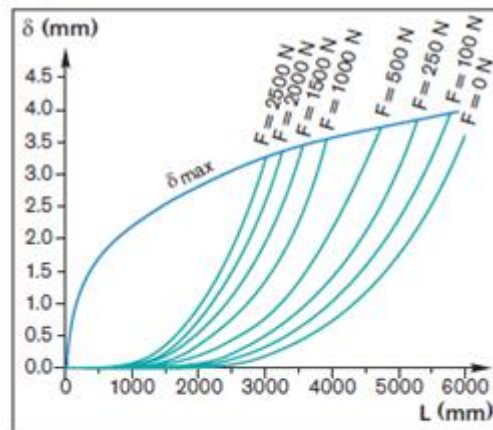
Figura 1.43 - Ilustração de especificações de carga e momento dinâmico [19]

Deflection - Deflexão

Frequentemente, os sistemas de movimento linear não são totalmente suportados. Nas configurações sem suporte, a deflexão do sistema deve ser levada em conta. Se o δ_{max} máximo admissível de deflexão é excedido, um apoio adicional deve ser fornecido ao sistema.

O máximo δ_{max} de deflexão permitido depende do comprimento do eixo linear e da carga F .

Os gráficos correspondentes nos catálogos dos produtos ajudam a determinar a deflexão máxima permitida.



L = module length (mm)
 δ = actual deflection (mm)
 δ_{max} = maximum permissible deflection (mm)
 — Maximum permissible deflection depending on the length of the linear motion system
 — Deflection under the given force

Figura 1.44 - Gráfico, exemplo, da deflexão de um modelo linear [19]

Independentemente da deformação admissível do sistema de movimento linear, a precisão do sistema também deve ser tido em conta.

Cycle times and speeds - Tempos dos ciclos e velocidades

É necessário determinar-se o tipo de sistema de movimento linear a ser utilizado, pois tanto a guia linear como o tipo de acionamento influenciam a velocidade máxima admissível. A utilização de uma guia de rolo de resalto e uma transmissão por *toothed belt drive* ou um motor linear são parâmetros particulares para se obter velocidades muito altas.

Repeatability and positioning accuracy - Repetibilidade e precisão de posicionamento

Se for necessário uma boa repetibilidade e uma elevada precisão de posicionamento, as mesas ferroviárias ou os módulos de precisão são uma escolha especialmente boa. Neste caso, *ball screw drive* ou motores lineares são usados como acionamento. Estes fornecem vantagens claras sobre o *toothed belt drive* por causa de sua alta rigidez axial.

Rigidity - Rigidez

A rigidez perpendicular à direção do movimento é conhecida como rigidez radial. Um movimento linear com rigidez radial é essencialmente determinado pela guia, pela geometria da armação e pela base de montagem.

Environmental Conditions - Condições Ambientais

Alguns sistemas de movimento linear são mais adequados do que outros para determinadas condições ambientais, por causa de seu *design*. Em ambientes sujos ou empoeirados, os sistemas de movimento linear com guias de rolos de resalto ou com capas adicionais são mais vantajosos.

1.5 - RFID

Este capítulo aborda a caracterização detalhada dos vários tipos de sistemas *RFID*, nomeadamente, através da comparação dos vários parâmetros de cada um. Destes últimos constam, por exemplo, as distâncias de leitura, as frequências de funcionamento, os custos associados, as possíveis aplicações, entre outros. Por fim, será apresentado qual o módulo a ser utilizado no projeto SCRC.

1.5.1 - Sistemas de Identificação Automática

Os Sistemas de Identificação Automática (SIA), *Automatic Identification and Data Capture* (AIDC), compreendem os métodos utilizados na identificação de objetos/produzidos, permitindo a recolha de informação acerca dos mesmos e a sua inclusão num sistema de tratamentos de dados automaticamente [12].

As tecnologias AIDC encontram-se, nos dias de hoje, amplamente implementadas em áreas de atividade muito distintas tendo um impacto notável no quotidiano.

A figura seguinte apresenta a forma da qual se agrupam os AIDCs.

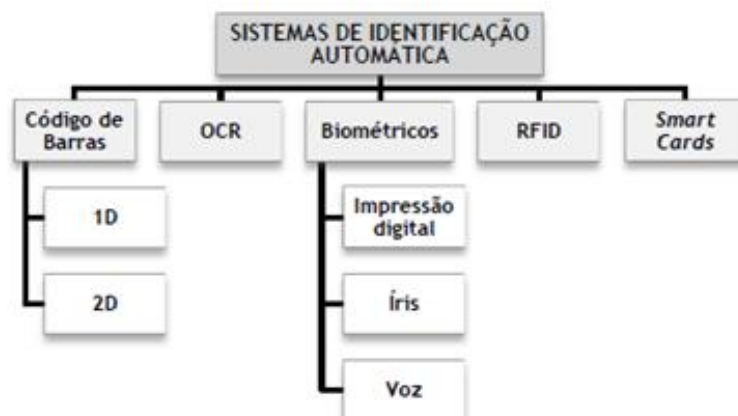


Figura 1.45 - Sistemas de Identificação Automática [12]

Dos AIDC's apresentados destacam-se os sistemas *RFID* pois “têm assumido um papel cada vez mais relevante no rastreo da produção e das operações logísticas em quase todas as indústrias” [13].

1.5.2 - Identificação por Radiofrequência

A identificação por radiofrequência, ou *RFID* - Radio Frequency IDentification, é um sistema de identificação que permite a leitura e escrita de dados através de sinais de rádio. Este sistema é composto por leitores que transmitem sinais de rádio codificados, aos quais as *tags*/etiquetas respondem com informação sobre a sua identificação ou até mesmo com outras informações relevantes que possam armazenar.

Os constituintes principais dos sistemas *RFID* são [12]:

Tag RFID (Transponder) - dispositivo de identificação constituído por um chip e uma antena. Estes imitem sinais de radio frequência (RF) que comunica com o leitor;

Leitor RFID (Transceiver) - dispositivo utilizado para comunicar com a *tag*. Este dispositivo permite fornecer e recuperar informação da *tag* e consegue estabelecer comunicações com o *Middleware* do Enterprise Subsystem;

Antenas;

Enterprise Subsystem - interliga os diversos componentes do sistema de gestão de informação da organização, recebe a informação a ser processada e fornece aos respetivos utilizadores. O *Middleware* é responsável pela interface entre o sistema *RFID* e o sistema de gestão de dados da empresa. Este contém o *software* que permite o registo das comunicações entre a *tag* e o leitor, solicita as informações necessárias à base de dados e fornece essas informações ao leitor, para que o mesmo consiga dialogar com a *tag*. O Analytic System é responsável pela salvaguarda da informação que lhe é fornecida pelo *Middleware*, processar essa informação e disponibilizá-la aos diversos utilizadores. É também responsável por fornecer ao *Middleware* a informação imprescindível à comunicação entre o leitor e a *tag*.

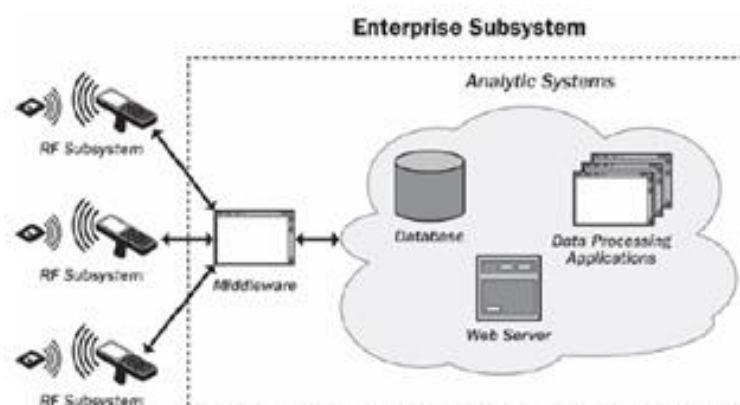


Figura 1.46 - Componentes de um sistema RFID [13]

Leitores *RFID*

Os leitores de *RFID* servem para obter a informação contida na *tag* ou alterar essa informação.

A informação obtida da *tag* é enviada ao *Middleware* para ser processada. A informação recebida do *Middleware* serve para terminar/continuar o processo de inquérito à *tag* ou gravar informação na *tag*.

Para que o leitor e a *tag* possam comunicar devem suportar o mesmo protocolo de comunicações.

Existem três tipos de leitores quanto à mobilidade:

- **Fixos** - Normalmente montados nos cais de carga/descarga, pórticos e outras estruturas fixas;
- **Móveis** - Normalmente montados em equipamentos usados no transporte das mercadorias como porta-paletes e empilhadores;
- **Handheld** - Utilizados pelos operadores que fazem a leitura de *tags* e se deslocam de uma forma mais ou menos aleatória ou são utilizados em situações de falha dos outros leitores.

Tags RFID

A capacidade de memória e a capacidade computacional que uma *tag* possui são muito variadas e estão dependentes do seu tipo e do seu modelo.

As *tags* são, normalmente, diferenciadas pela função da fonte de alimentação que usam: passivas, ativas, semi-ativas e semi-passivas [13].

Tags Passivas - Não possuem fonte de alimentação própria. Obtêm a energia que necessitam para o seu funcionamento através do sinal emitido pelo leitor. Estas *tags* são as mais baratas e as mais usadas, pois possuem um maior tempo de vida relativamente às outras, contudo a memória e a capacidade computacional são algo limitadas.

Tags Ativas - Possuem uma fonte interna de alimentação, uma bateria, que alimenta as comunicações com o leitor, os circuitos integrados que as compõem e possibilitam um aumento da distância de leitura. Podem iniciar uma sessão de comunicação com o leitor ou com outras *tags* formando, desta forma, uma rede. Estas *tags* são as mais caras e apresentam um tempo de vida limitado, cerca de 3 anos, tempo de duração da bateria.

A existência de uma fonte de alimentação própria permite alimentar circuitos mais complexos e dotar as *tags* ativas de capacidades de memória e computacional que não podem ser implementadas numa *tag* passiva.

Estas *tags* podem incorporar sensores que registam a evolução de determinadas variáveis e são utilizadas para se conhecer a evolução de variáveis como temperatura, pressão ou humidade a que o 'objecto', em que estão aplicadas, está sujeito.

Tags Semi-ativas - Reconhecidas como *tags* ativas encontram-se sem atividade até serem ativas pelo leitor. Uma vez ativadas entram num modo de funcionamento idêntico ao das *tags* ativas. Este modo de funcionamento tem a vantagem de prolongar o tempo de vida da bateria por mais 2 anos do que o expectável (5 anos no total). Contudo, estas *tags* para serem ativas necessitam de estar dentro do raio de ação do leitor e, por essa mesma razão, uma *tag* pode não ser lida devido ao atraso provocado pelo processo de ativação, exemplos disso são as elevadas velocidades a que uma *tag* se possa cruzar com o leitor ou quando existe um número muito elevado de *tags* para serem lidas num curto espaço de tempo.

Tags Semi-passivas - Pertencem à categoria das *tags* passivas mas possuem uma fonte interna de alimentação, uma bateria e podem possuir sensores. A comunicação com o leitor é realizada de forma idêntica à comunicação das *tags* passivas.

A fonte de alimentação permite alimentar os circuitos mais complexos e com maiores funcionalidades e os sensores que são utilizados para monitorizar a evolução de determinada variável.

Este modo de funcionamento permite aumentar o raio de ação, já que toda a energia absorvida é destinada a alimentar apenas a comunicação com o leitor, sendo a parte eletrónica alimentada pela bateria. O tempo de vida da bateria é superior a 5 anos.

A figura seguinte relaciona várias características das *tags* com as principais frequências de funcionamento utilizadas pelo sistema *RFID*. Desta forma, é possível fazer comparações entre características, tais como, capacidade de armazenamento, velocidade de transferência de dados, distância de leitura, entre outras. Para cada frequência de funcionamento, são ainda apresentados na mesma tabela vários exemplos de aplicações.

Tabela 1.2 - Comparação das características das várias tags [14]

Caraterísticas	LF (<135 KHz)	HF (13.56 MHz)	UHF (863 a 915 MHz)	Microwave (2.45 Ghz)
Capacidade de dados	A partir de 64 <i>bits</i> para leitura até 2 <i>kbits</i> para leitura e escrita	Tipicamente etiquetas de leitura e escrita com 512 <i>bits</i> de memória (máx: 8 <i>kbits</i> particionados)	Tipicamente etiquetas de leitura e escrita com 32 <i>bits</i> de memória (máx: 4 <i>kbits</i> particionados em 128 <i>bits</i>)	A partir de 128 <i>bits</i> até 32 <i>kbits</i> particionados
Transferência de dados	Baixa: menos de 1 <i>kbits/s</i> (= 200 <i>bits/s</i>)	Cerca de 25 <i>kbits/s</i> em geral (existe em 100 <i>kbits/s</i>)	Cerca de 28 <i>kbits/s</i>	Geralmente menor que 100 <i>kbits/s</i> , mas pode ir até 1 <i>Mbits/s</i>
Distância de Leitura	Tipicamente desde o contacto até 30 cm para etiquetas passivas (na prática cerca de 10 cm)	Até 1.5 metros para etiquetas passivas (na prática menos de 1 metro)	Entre 1 e 12 metros para etiquetas passivas	Algumas dezenas de centímetros para etiquetas passivas e mais de 100 metros para etiquetas ativas
Modo de Leitura	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas	Leitura única e múltiplas leituras simultâneas
Ruído	Insensíveis às perturbações eletromagnéticas industriais	Ligeiramente sensíveis às perturbações eletromagnéticas industriais	Sensíveis às perturbações eletromagnéticas. Podem ser perturbados por outros sistemas UHF próximos	Altamente sensíveis a perturbações eletromagnéticas refletidas pelo metal e absorvidas pela água
Aplicações	Processo de produção, identificação de veículos e contentores, controlo de acessos e identificação animal	Monitorização, estacionamento automóvel, bagagens, livrarias, serviços de aluguer, logística	Monitorização, estacionamento automóvel, logística	Controlo de acessos, logística militar, portagens

Além das caraterísticas apresentadas, as *tags* podem também possuir várias formas e dimensões, desde os vulgares cartões retangulares (de plástico ou papel), passando por cartões circulares, adesivos ou até mesmo com forma de injetáveis.

1.5.3- *RFID* versus outras tecnologias

Um sistema cujas aplicações são bastante semelhantes às da *RFID* é o código de barras, que também possibilita o armazenamento de informações sobre produtos/objetos e ao mesmo tempo permite manter um registo da localização destes e de vários recursos. Isto faz com que sejam de grande utilização em várias indústrias, permitindo uma melhor gestão de *stocks* e recursos, poupando tempo e dinheiro.

O sistema *RFID* evidencia uma grande superioridade tecnológica em relação a outros tipos de sistemas similares pois permite a utilização de comunicação sem fios, não necessitando de contacto físico nem de campo visual direto, a permissão de leitura e escrita de dados a grandes velocidades e um grande armazenamento de informação. Outra grande vantagem é que estes sistemas podem ser utilizados em ambientes severos, com condições adversas, tais como, locais húmidos, molhados, sujos, poeirentos, corrosivos, sujeitos a altas ou baixas temperaturas, sujeitos a vibrações ou choques, motivo que justifica a sua expansão e o aumento de preferência face ao código de barras.

No entanto, nem tudo é positivo, o sistema *RFID* contém algum risco de interferência eletromagnética devido à presença de diversos equipamentos metálicos e de subprodutos de composição metálica, podendo mesmo interferir na capacidade de leitura dos sistemas.

A seguinte tabela compara os dois sistemas de identificação abordados anteriormente.

Tabela 1.3 - Comparação das características entre código de barras e RFID [16] [17]

Caraterísticas	Código de Barras	RFID
Tecnologia	Ótica (laser)	Radiofrequência
Capacidade de leitura e escrita	Leitura	Leitura e Escrita
Taxa de Leitura	Baixa (1 leitura de cada vez)	Elevada (múltiplas leituras de uma só vez)
Leituras Simultâneas	Não	Sim
Distância de Leitura	Alguns centímetros a alguns metros	Até mais de uma centena de metros
Capacidade de Memória	Baixa (dezenas de caracteres)	Elevada (até milhares de caracteres)
Linha de vista	Necessária	Não Necessária
Resistência Mecânica	Baixa	Alta
Formatos	Etiquetas	Variados
Segurança	Não	Sim
Custo das Etiquetas (rótulo/tag)	Muito baixo	Aproximadamente 10 vezes mais caro do que o CB
Custo de Manutenção	Alto	Baixo
Vida Útil	Baixa	Alta
Reutilização	Não reutilizável	Reutilizável

Com o uso da *RFID* há uma notória melhoria dos processos produtivos, nomeadamente, por permitir a automação de processos (quando utilizado em pontos-chave), reduzir o tempo de execução dos processos críticos, incrementar a segurança laboral ao mesmo tempo que permite uma maior facilidade e fiabilidade na transmissão de informação.

As vantagens de utilização do *RFID* podem ser, de acordo com [13], agrupadas em quatro grupos fundamentais:

Utilização de bens:

- Maximização da utilização de cada equipamento (através da redução do tempo de identificação do objeto e automatização dos processos há a rentabilização do tempo de utilização dos equipamentos permitindo diminuição do número de máquinas, recursos humanos e financeiros);
- Maximização da utilização de cada veículo (permite a melhor gestão dos recursos e a redução de despesas associadas ao transporte);

Eficiência operacional:

- Melhoria da gestão de *stocks* (melhor controlo da cadeia de valor, gerir de forma eficaz os produtos finais de acordo com as necessidades dos clientes e a não acumulação de excesso de stock em fábrica limitando o erro humano e sendo facilitador do processo de localização por o tornar mais eficiente);
- Melhoria da visibilidade da cadeia de valor (com a passagem dos produtos com tag pelos leitores é possível reunir um conjunto de informações pertinentes sobre o processo de produção que se revelam primordiais na satisfação e na garantia de qualidade do serviço para a satisfação das necessidades do cliente);
- Detecção e redução de custos de controlo (sendo a identificação automática e à distância a necessidade de um colaborador para deteção do material fica muito reduzida ou até mesmo anulada);
- Aumento da produtividade e simplificação do trabalho (a redução do tempo necessário ao controlo permite aos colaboradores focalizarem o seu trabalho na produção e aloquem o seu posto de trabalho a áreas distintas).

Segurança:

- Dos colaboradores (com a automatização de alguns processos há uma minimização marcada da exposição a riscos, nomeadamente, na procura de produtos em locais de difícil acesso ou no manuseamento dos produtos);
- Do processo (maior fiabilidade no processo por estar quase anulada a possibilidade de ocorrer erro humano).

Serviço ao cliente:

- Celeridade no processo de receção (a automatização dos processos de identificação e a compilação de informação significativa para o cliente permite diminuir o tempo de produção de um produto que corresponda ao requisitos impostos pelo mesmo);
- Melhoria no controlo da produção (com o uso do sistema de identificação é possível reconhecer, com rigor e rapidez, quais os dados subjacentes ao produto final fabricado).

Apesar de este sistema apresentar variadas *vantagens*, não podemos descurar que se encontra, também ele, associado a várias *desvantagens* que fazem com que a sua utilização seja ponderada pelas organizações. Estas *desvantagens* passam por [12][13]:

- Elevado custo de implementação e de manutenção desta tecnologia;
- Uso em ambientes que apresentem vários equipamentos em metal (pela possibilidade de refletirem as ondas de rádio dificultando ou até impedindo a leitura da *tag*);
- Perda, progressiva, da capacidade de leitura o que pode afetar, significativamente, o tempo despendido com a tarefa;
- A necessidade de recolocar uma *tag* caso o primeiro se revele inoperacional pode mostrar-se morosa pela necessidade de recorrer aos SI;
- A proximidade entre etiquetas de *RFID* pode provocar conflitos de leitura;

1.6 - Módulo RFID MFRC522

Existem vários tipos de leitores para os sistemas de identificação por radiofrequência, contudo para o projeto SCRC optou-se pelo módulo *RFID MFRC522* por ser o que existe disponível em laboratório bem como por ser o mais económico. Este modelo tem a vantagem de se conseguir comunicar através de 3 protocolos de comunicação distintos enumerados de seguida.

O integrado *MFRC522* é um dispositivo de leitura/escrita *RFID*, sem fios, que comunica à frequência de 13,56 MHz [18]. O leitor *MFRC522* suporta *ISO / IEC 14443 A / MIFARE* e *NTAG*. O emissor interno do *MFRC522* é capaz de comunicar com cartões / *MIFARE ISO / IEC 14443 A* e com *tags* sem circuitos adicionais. O módulo recetor proporciona uma execução robusta e eficiente para sinais de desmodulação e decodificação de *ISO / IEC 14443 A / MIFARE*, cartões compatíveis e *tags*.

O módulo digital rege-se pela norma *ISO / IEC 14443 A* para o enquadramento e deteção de erros de funcionalidades.

O *MFRC522* suporta produtos *MF1xxS20*, *MF1xxS70* e *MF1xxS50*. O *MFRC522* suporta a comunicação sem contacto e usa a *MIFARE* com velocidade de transferência até 848kB em ambas as direções.

A distância média, para a leitura/escrita, é de 50mm dependendo sempre do tamanho da antena e do processo de sincronização.

Este módulo suporta 3 protocolos de comunicação:

- *SPI - Serial Peripheral Interface*
- *RS232/Serial UART*
- *I2C-bus interface*



Figura 1.47 - Módulo MFRC522

1.6.1 - Protocolos de Comunicação

O MFRC522 suporta a interface direta de *hosts* usando SPI, I2C ou UART serial

Interfaces. O MFRC522 redefine a sua interface e verifica o tipo de interface do *host* atual automaticamente após se ligar o sistema ou após uma reinicialização da alimentação. O MFRC522 identifica o *host*, detetando os valores lógicos dos pinos de controlo após a fase de reset. Este processo é realizado através da combinação de conexões fixas de pinos.

A Tabela seguinte mostra as diferentes configurações:

Tabela 1.4 - Protocolo de Conexões para se detetar o tipo de *interface*.

Pinos	Tipo de <i>Interface</i>		
	UART (Entrada)	SPI (Saída)	I ² C (Entrada/Saída)
SDA	RX	NSS	SDA
I ² C	0	0	1
EA	0	1	EA
D7	TX	MISO	SCL
D6	MX	MOSI	ADR_0
D5	DTRQ	SCK	ADR_1
D4	-	-	ADR_2
D3	-	-	ADR_3
D2	-	-	ADR_4
D1	-	-	ADR_5

Protocolo I²C (Inter-Integrated Circuit)

Introdução/História

No final dos anos 80, em Eindhoven, a empresa Philips *Semiconductors* desenvolveu um barramento bidirecional com apenas 2 ligações. Este foi desenvolvido com o objetivo de permitir a comunicação entre vários dispositivos existentes num simples cartão, tal como o controlo de um rádio, por exemplo. Em 2006, a empresa Philips *Semiconductors* passou a chamar-se NXP [20,21,22].

Contudo, apenas em 1992 é que foi disponibilizada a primeira versão padronizada do barramento I2C que contava com uma nova velocidade de operação que permitia comunicações até 400 *kbit/s*, a fast mode, e uma capacidade de endereçamento de 10 *bits* (1008 periféricos).

Em 1998, foi apresentada a segunda versão, Version 2.0, deste protocolo que incorporava uma nova velocidade de operação, a *high-speed mode*, que permitia comunicações a 3,4 Mbit/s e a baixas tensões de alimentação.

Nos anos 2000, a empresa lançou uma nova versão denominada Version 2.1 que seria um pequeno *upgrade* da versão anterior [23].

Hoje em dia, o Protocolo I2C está implementado em mais de 1000 circuitos integrados diferentes e é desenvolvido por mais de 50 empresas. A sua última versão foi produzida em 2007, Version 3.0 [22].

Protocolo I²C

O barramento I2C, como referido acima, é constituído por 2 cabos bidirecionais, um representa a *Serial Data Line* (SDA) e o outro a *Serial Clock Line* (SCL). Todos os componentes conectados ao sistema têm um endereço único podendo atuar tanto como mestre bem como escravo, dependendo da sua funcionalidade.

Este tipo de barramento é considerado um *Multi-Master bus*, porque permite com que mais do que um periférico inicie uma comunicação com outro periférico, contudo quando um periférico começa a transferir informação, o mestre, todos os outros periféricos passam obrigatoriamente a ser escravos. O mestre não só é o primeiro a iniciar a transferência de dados bem como a gerar o sinal de relógio que permite a transferência [22].

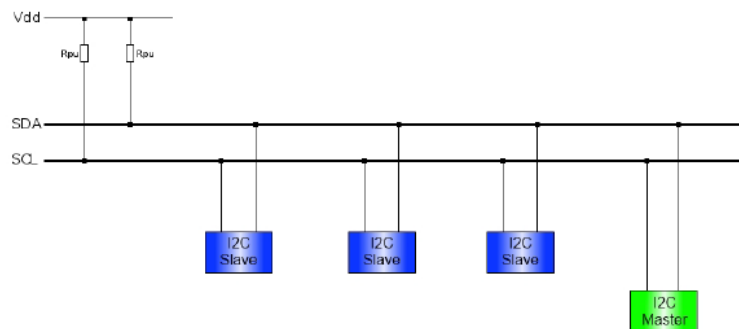


Figura 1.48 - Arquitetura Mestre-Escravo [28]

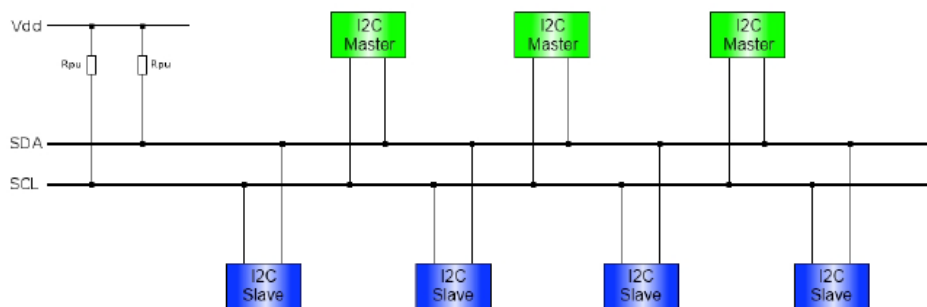


Figura 1.49 - Arquitetura Multi-Mestre [28]

Este protocolo foi desenvolvido para suportar comunicações de baixo nível que compreende transações orientadas por *byte*.

O Protocolo I2C suporta várias condições que permitem a comunicação entre os periféricos ligados ao barramento, por exemplo, inicializar e finalizar a transferência de dados.

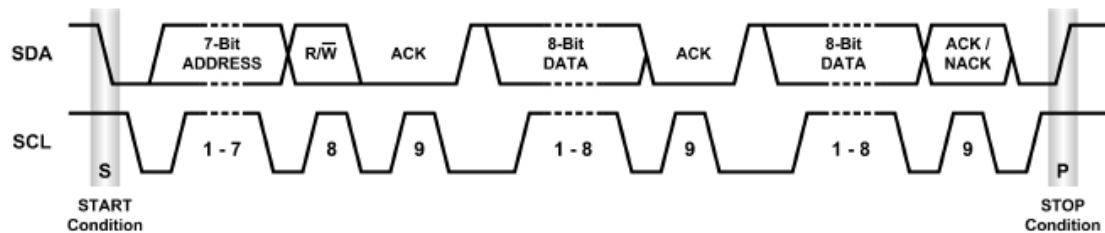


Figura 1.50 - Transferência de dados [24]

Na figura anterior pode-se verificar que o ciclo inicia-se com a *START Condition* e que logo de seguida um mestre fornece o endereço do dispositivo com quem pretende comunicar. Após receber o sinal de validação, o mestre inicia o processo de fornecimento de dados. Depois de o *byte* ser transferido, o escravo informa o mestre, através do sinal de aviso, que o *byte* foi recebido na sua totalidade.

Quando o mestre enviar o último *byte* e após receber a confirmação por parte do escravo de que este recebeu toda a informação, o mesmo mestre inicia a *STOP Condition*, com o objetivo de dar conhecimento ao escravo de que a ligação entre ambos irá terminar.

Após a *STOP Condition* o barramento I2C fica livre para novas transferências de dados entre os periféricos.

Condições Inicial (*START Condition*) e Final (*STOP Condition*) da comunicação

Todas as transferências de dados iniciam-se com uma *START Condition* e terminam com uma *STOP Condition*. Estas duas condições ocorrem, apenas, quando se verificam os seguintes pontos:

- *START Condition*:
 - O Sinal de Relógio, SCL, encontra-se *HIGH*, ou seja igual a 1;
 - O Sinal de Transferência de Dados, SDA, transita de *HIGH* para *LOW*, ou seja, quando passa de 1 para 0.

- *STOP Condition:*
 - O Sinal de Relógio, SCL, encontra-se *HIGH*, ou seja igual a 1;
 - O Sinal de Transferência de Dados, *SDA*, transita de *LOW* para *HIGH*, ou seja, quando passa de 0 para 1.

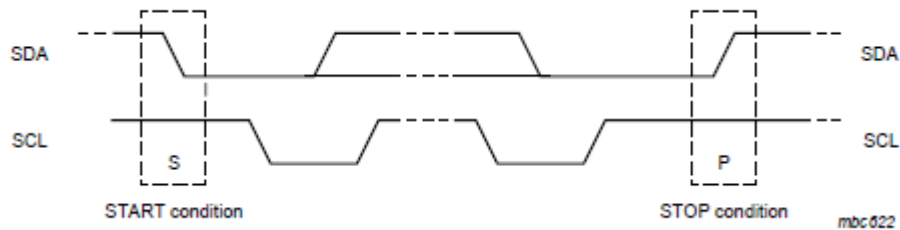


Figura 1.51 - Start and Stop Condition [18]

O mestre é o responsável por gerar o Sinal de Relógio bem como as duas condições de transferência de dados (*START* e *STOP Conditions*).

Após de verificar uma *STOP Condition* o barramento fica livre para que possam ocorrer novas transferências de dados, contudo se se gerar uma nova *START Condition* por parte do mesmo mestre e para o mesmo escravo, o barramento permanece ocupado, obrigando todos os outros periféricos a esperar até que o barramento fique novamente livre para realizarem uma transferência de dados.

Reconhecimento (*ACK*) e Não Reconhecimento (*NACK*)

No final da transferência de cada *byte* é gerado um *bit* com o objetivo de informar o emissor se os dados foram transferidos com sucesso ou não. Uma vez mais, os impulsos do Sinal de Relógio são fundamentais a análise e validação dos dados transmitidos.

- *Acknowledge:*
 - O 9º impulso do Sinal de Relógio, SCL, encontra-se *HIGH*, ou seja igual a 1;
 - O Sinal de Transferência de Dados, *SDA*, encontra-se *LOW*, ou seja, igual a 0.
- *Not Acknowledge:*
 - O 9º impulso do Sinal de Relógio, SCL, encontra-se *HIGH*, ou seja igual a 1;
 - O Sinal de Transferência de Dados, *SDA*, encontra-se *HIGH*, ou seja, igual a 1.

Existem algumas causas para que a transferência dos dados não seja bem-sucedida, tais como:

- Durante a comunicação, o recetor não consegue receber mais informação;
- Se o recetor for um mestre, este necessita de notificar o escravo emissor do final da transmissão.
- Se o periférico com quem o mestre pretende realizar a comunicação não estiver pronto para receber ou transmitir os dados porque se realizou alguma função ao mesmo tempo;
- O endereço do periférico escolhido pelo mestre não se encontra no barramento.

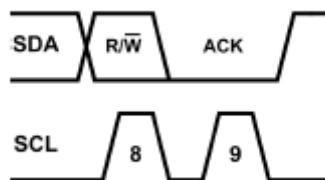


Figura 1.52 - Sinal ACK [24]

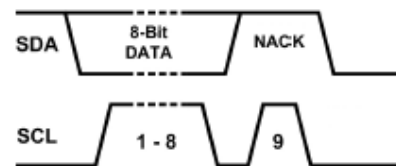


Figura 1.53 - Sinal NACK [24]

Se ocorrer uma NACK, o mestre pode optar ou por gerar uma *STOP Condition* e deste modo terminar a comunicação com o escravo ou por gerar uma *ReSTART Condition* com o intuito de realizar uma nova transmissão de dados.

Formação do *Byte*

No protocolo I2C são transferidos 8 *bits* de cada vez, não havendo limite para o número de *bytes* transferidos. Após a transferência de cada *byte* é gerado um ACK ou um NACK.



Figura 1.54 - Primeiro *byte* após o procedimento *Start* [18]

Os 8 *bits* são transferidos do *MSB - Most Significant Bit* para o *LSB - Less Significant Bit*.

Transferência de Dados

Para se iniciar uma transferência de dados é necessário que o mestre gere uma *START Condition* para alertar todos os escravos de que ocorrerá uma transferência de dados. Após a *START Condition* o mestre fornece o endereço do periférico com que pretende comunicar. O endereço é constituído por 7 *bits* seguidos de outro *bit* que referencia qual a função a desempenhar, ler ou escrever os dados. Se o *bit* gerado, após os 7 *bits*, for igual a 0 isto indica que ocorrerá uma escrita, se pelo contrário, o LSB for igual a 1 isto indica que ocorrerá uma leitura.

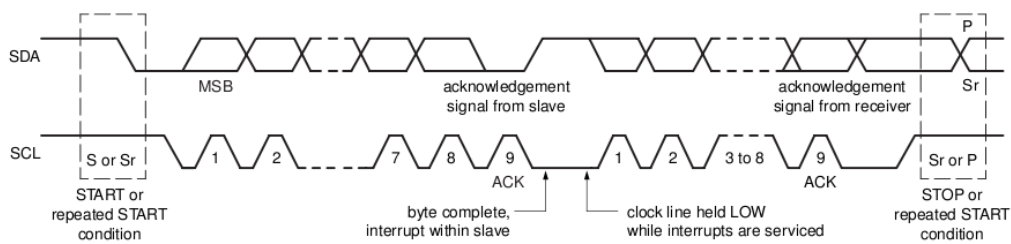


Figura 1.55 - Transferência de dados [22]

Após o mestre ter fornecido o endereço do escravo para o qual pretende comunicar, todos os periféricos vão comparar este mesmo endereço com o seu próprio endereço. O periférico que tiver o mesmo endereço terá de enviar um sinal de reconhecimento, ACK, para o mestre. Contudo se o endereço não corresponder a nenhum dos periféricos do barramento, todos os periféricos ficarão à espera até que se realize uma *STOP Condition*.

Para se realizar uma escrita o mestre terá de fornecer o endereço do escravo e ficar à espera da resposta por parte do mesmo, através do *bit* de reconhecimento ACK. Depois inicia-se o processo de transferência de dados. Quando não houver mais dados para transferir o mestre interrompe a comunicação através da *STOP Condition*.

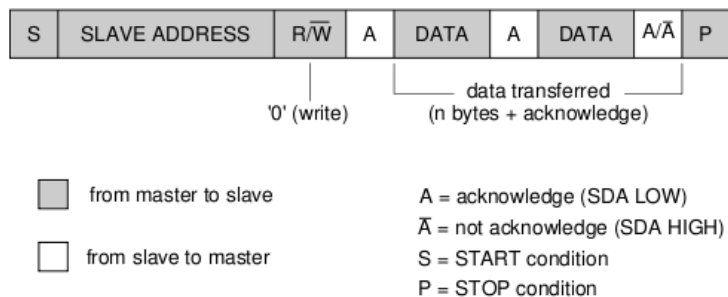


Figura 1.56 - Operação de Escrita [24]

Para se realizar uma leitura o mestre terá de receber os dados enviados por parte do escravo selecionado através do seu endereço. A cada 8 *bits* recebidos pelo mestre, este responde com o *bit* de reconhecimento ACK, sinalizando, deste modo, o escravo pelo sucesso da transferência e de que está apto para receber mais 8 *bits*. Quando todos os dados forem transferidos o mestre produz um NACK para informar o escravo de que os dados que desejava foram todos transferidos e que vai finalizar a comunicação através de uma *STOP Condition*.

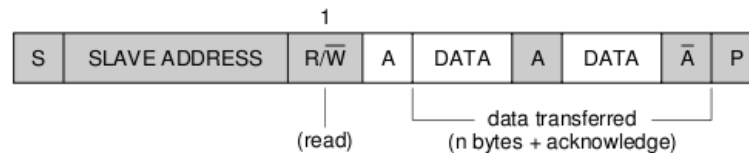


Figura 1.57 - Operação de Leitura [24]

Outra forma de comunicação entre o mestre e o escravo ocorre quando o mestre fornece o endereço de escravo seguido do *bit* de direção igual a 1 (modo de leitura). Após o envio deste *byte* por parte do mestre, o escravo envia-lhe um sinal de reconhecimento, ACK, da mensagem transmitida e inicia a transferência de dados para o mestre. Neste momento, o mestre torna-se o receptor e o escravo o emissor, e todos os sinais de reconhecimento são gerados pelo mestre a cada 8 *bits* recebidos. Quando a transferência de dados terminar o mestre envia um NACK e finaliza a comunicação com uma *STOP Condition*.

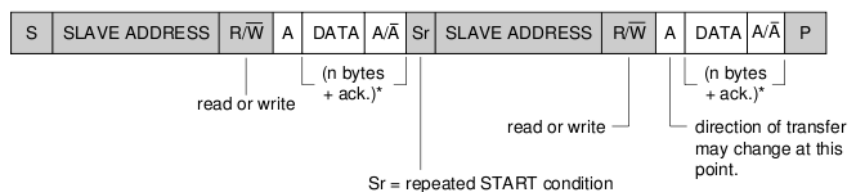


Figura 1.58 - Formato de Combinação entre Escrita e Leitura [24]

Validade dos Dados

Para que os dados sejam validados, ou seja, para que a transferência seja bem-sucedida, o sinal de transferência de dados, SDA, tem de estar estável, ou igual a 0 ou igual a 1, enquanto o sinal de relógio permanece igual a 1. O sinal relativo à transferência de dados apenas pode mudar de valor quando o sinal de relógio for igual a 0.

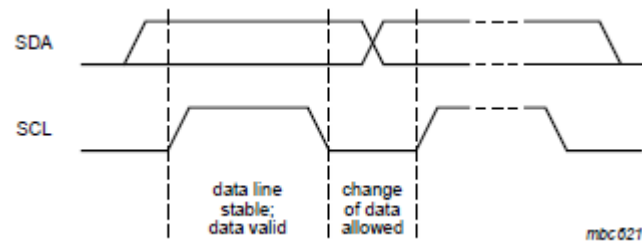


Figura 1.59 - Transferência de *bits* [18]

Velocidades Protocolo I²C

O protocolo de comunicação I2C tem vindo a ser melhorado desde a sua criação. Um dos aspetos que tem sido desenvolvido é a sua velocidade de processamento ou de operação.

Existem 4 tipos de velocidades:

- *Standard-mode* (Sm) - até 100 Kbit/s
- *Fast-mode* (Fm) - até 400 Kbit/s
- *Fast-mode Plus* (Fm+) - até 1 Mbit/s
- *High-speed mode* (HS-mode) até 3.4 Mbit/s

Endereço Geral de Chamada

O endereço geral de chamada é um dos endereços do protocolo de comunicação I2C. Este endereço é utilizado para realizar a comunicação com todos os dispositivos conectados no barramento. Contudo se um dispositivo tiver permissão para ignorar a comunicação, apenas terá de enviar um NACK, se por outro lado estiver interessado em se comunicar com o mestre terá de enviar um ACK, iniciando deste modo a comunicação entre ambos.

MFRC522 - I²C

A interface I2C é implementada de acordo com especificação da interface I2C do NXP *Semiconductors*, rev. 2.1, de Janeiro de 2000.

O MFRC522 apenas pode atuar como um escravo. Este poderá ser recetor ou emissor em 3 modos: *standard*, rápido ou alta velocidade.

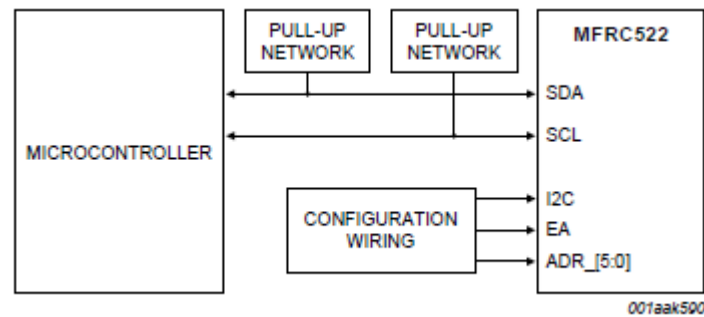


Figura 1.60 - Interface relativa ao Protocolo I2C [18]

SDA é uma linha bidirecional conectada a uma tensão de alimentação positiva, 5V ou 3.3V, usando uma fonte de corrente ou uma resistência de *pull-up*.

Quando os dados não estão a ser transmitidos as linhas SDA e SCL permanecem com o valor lógico 1.

Se a interface I2C for a selecionada, a supressão de picos é ativada nas linhas SCL e SDA conforme definido na especificação do protocolo I2C.

Durante a configuração do dispositivo, é necessário garantir-se que não existirão colisões com os endereços reservados. A especificação do endereço do barramento I2C depende da definição do pino EA. Imediatamente depois de se soltar o pino NRSTPD ou após uma reinicialização da alimentação, o dispositivo define o barramento I2C de acordo com o pino EA. Se o pino EA estiver configurado com o valor lógico 0, os 4 bits superiores do endereço do barramento do dispositivo serão reservados por NXP Semiconductors e definido como 0101b para todos os dispositivos MFRC522. Os restantes bits (ADR_0, ADR_1, ADR_2) do endereço do escravo podem ser configurados livremente pelo cliente, para se evitar colisões com os outros dispositivos.

Se o pino EA estiver configurado com o valor lógico 1, os bits de ADR_0 a ADR_5 podem ser especificados nos pinos externos.

Todos os bytes de dados são gravados no mesmo endereço de registo, o que permite aceder ao *buffer* FIFO (*First In First Out*) para se consultar os dados.

Protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*)

Introdução/História

O SPI (*Serial Peripheral Interface*) é uma especificação de interface de comunicação em série síncrona utilizada frequentemente para a comunicação a curtas distâncias, principalmente em sistemas embarcados.

No final dos anos 80, a empresa Motorola sentiu necessidade em desenvolver esta interface, tornando-se nos dias de hoje num padrão para as comunicações entre dispositivos. As aplicações mais usuais verificam-se nos cartões Secure Digital e nos monitores de cristais líquidos.

Protocolo *SPI*

O barramento SPI é caracterizado como um barramento de comunicação em série, que permite uma comunicação no modo *full-duplex*. A arquitetura empregue neste protocolo é a arquitetura mestre-escravo, em que o mestre, sendo único, controla todas as comunicações efetuadas.

Este protocolo é constituído por 4 linhas:

- Sinal de Relógio (*Serial Clock*) - *SCK*
- Sinal Mestre - Escravo (*Master Output Slave Input*) - *MOSI*
- Sinal Escravo - Mestre (*Master Input Slave Output*) - *MISO*
- Sinal Seleção de Escravo (*Slave Select*) - *SS*

Linha *SCK* - É utilizada para transmitir o sinal de relógio que vai controlar a velocidade de operação/comunicação, sendo este enviado e controlado sempre pelo mestre.

Linha *MOSI* ou *MISO* - São utilizadas para a transferência dos dados entre o mestre e o escravo. A linha *MOSI* permite o envio de dados do mestre para o escravo, a linha *MISO* permite o envio de dados no sentido oposto, ou seja, do escravo para o mestre.

Linha *SS* - É usada, pelo mestre, para selecionar o periférico com o qual pretende comunicar. A seleção do respetivo escravo faz com que, a partir desse momento, este apenas leia os dados da linha *MOSI* e se necessário envie conteúdo através da linha *MISO*.

Este modo de funcionamento impede que sejam transmitidas mensagens em *broadcast*.

Contudo são suportados vários dispositivos escravos através da seleção das linhas relativas a cada escravo.

O SPI pode ser descrito, com precisão, como uma interface série síncrona [22], mas é diferente do protocolo SSI (*Synchronous Serial Interface*), que também é um protocolo de

comunicação série síncrona de quatro fios, mas emprega sinalização diferencial e fornece apenas um único canal de comunicação simples.

Transmissão de dados

O barramento SPI funciona, como referido anteriormente, numa arquitetura mestre-escravo, sendo apenas o mestre a ter permissão para dar início a uma transmissão de dados.

Inicialmente é necessário, que o mestre configure a frequência do sinal de relógio, tendo sempre em conta de que todos os escravos a consigam suportar. As frequências tipicamente utilizadas rodam na ordem dos MHz, podendo mesmo atingir os 70MHz.

Após esta configuração inicial o mestre deverá seleccionar o escravo que pretende comunicar, colocando a respetiva linha de seleção com o sinal lógico 0. Se for necessário um período de espera, para que se realize uma conversão analógico-digital, o mestre deve esperar esse período antes de emitir os ciclos de relógio.

A partir deste momento é dado início à transmissão de dados em modo *full-duplex*, que significa que durante cada ciclo de relógio o mestre envia um *bit* pela linha MOSI e o escravo lê-o, enquanto o escravo envia um *bit* pela linha MISO e o mestre lê-o. Esta sequência é mantida mesmo quando existe transferência de dados numa só direção.

A comunicação, neste barramento, pode ser representada como uma troca de dados entre 2 *Shift Registers*, ligados em anel virtual, de 8 *bits* cada um. Os dados são geralmente deslocados para fora sendo o *bit* mais significativo o primeiro a ser transferido entre o mestre e o escravo, enquanto o *bit* menos significativo é deslocado dentro do mesmo registo.

No final de cada transmissão cada um dos dispositivos lê o conteúdo do seu *buffer*, repetindo-se o processo se houver mais dados a transmitir. Quando a troca de dados estiver finalizada cabe ao mestre terminar a comunicação alternando o sinal de relógio e desconectando o escravo.

Polaridade e Fase do relógio

Além de se configurar a frequência do sinal de relógio, é necessário que o mestre configure também a polaridade e a fase do mesmo. Esta configuração determina a forma como é gerado o sinal de relógio, definindo o seu valor base, CPOL, como o momento em que se deverá escrever e ler os dados, CPHA, estando estes associados às transições do sinal de relógio.

As tabelas seguintes descrevem as combinações possíveis entre estas duas variáveis e os seus efeitos no sinal de relógio:

Tabela 1.5 - Valor base do sinal de relógio é zero

<i>CPOL</i>	<i>CPHA</i>	Observações
0	0	Os dados são lidos na transição positiva do sinal de relógio e devem ser escritos na transição negativa.
0	1	Os dados são lidos na transição negativa do sinal de relógio e devem ser escritos na transição positiva.

Tabela 1.6 - Valor base do sinal de relógio é um

<i>CPOL</i>	<i>CPHA</i>	Observações
1	0	Os dados são lidos na transição negativa do sinal de relógio e devem ser escritos na transição positiva.
1	1	Os dados são lidos na transição positiva do sinal de relógio e devem ser escritos na transição negativa.

Topologia Comum

A topologia mais usual para se conectar os escravos é a utilização de uma linha SS para cada um, no entanto esta solução implica que o pino onde é ligada a linha MISO nos escravos seja de alta impedância, pois esta linha é compartilhada por todos os escravos.

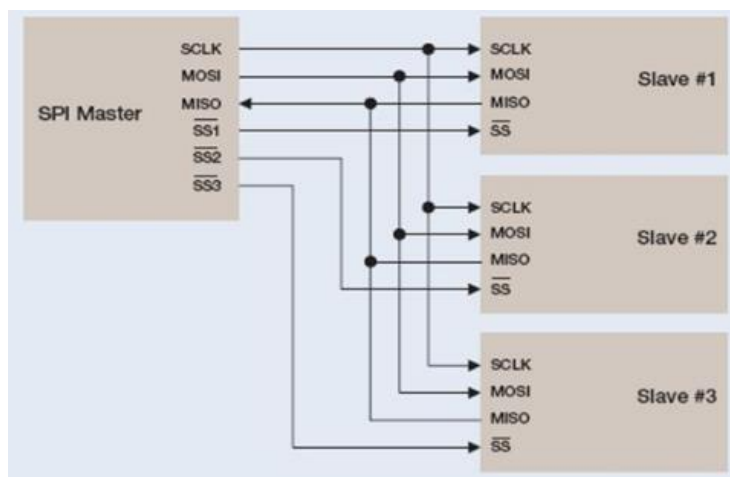


Figura 1.61 - SPI Topologia Comum [25]

Topologia *Daisy Chain*

Outra topologia possível para a ligação dos diferentes escravos consiste na interligação do pino MISO de um determinado escravo com o pino MOSI do escravo adjacente. Neste tipo de topologia, num primeiro conjunto de sinais de relógio, os escravos recebem os dados enviados pelo mestre. No conjunto seguinte, os escravos colocam os dados recebidos, no conjunto anterior, na linha MISO passando, deste modo, a informação ao escravo seguinte.

Desta forma a rede funciona toda como um *Shift Register*.

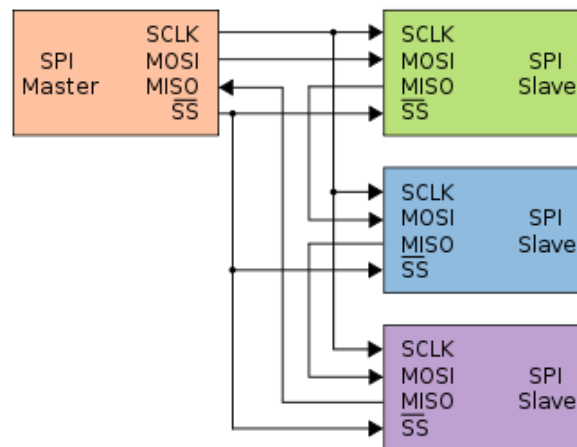


Figura 1.62 - SPI Topologia *Daisy Chain* [26]

MFRC522 - SPI

A interface entre o *MFRC522* e o microcontrolador pode obter velocidades de operações até 10 *Mbit/s*.

O *MFRC522* atua como um escravo durante a comunicação SPI. O sinal de relógio SPI SCK deve ser gerado pelo mestre, neste caso pelo *Raspberry Pi*.

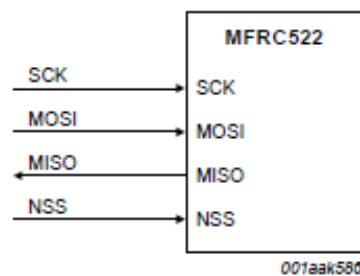


Figura 1.63 - Comunicação com o microcontrolador [18]

A comunicação de dados do mestre para o escravo dá-se, como referido anteriormente, pela linha MOSI. A linha MISO é utilizada para troca de dados do MFRC522 para o mestre.

As linhas MOSI e MISO devem ser estáveis no flanco ascendente do relógio e podem ser alteradas na parte descendente.

Leitura de dados

Na leitura de dados, do MFRC522, é necessário cumprir-se com a ordem de bytes demonstrada na Tabela 1.7. É possível ler até n-bytes de dados. O primeiro byte enviado define o modo e o endereço.

Tabela 1.7 - Ordem de bytes (MOSI e MISO) na leitura de dados [18]

Linha	Byte 0	Byte 1	Byte 2	To	Byte n	Byte n+1
MOSI	Endereço 0	Endereço 1	Endereço 2	...	Endereço n	00
MISO	X	Dados 0	Dados 1	...	Dados n-1	Dados n

Nota: O MSB deve ser enviado primeiro.

Escrita de dados

Na escrita de dados, no MFRC522, a ordem de bytes mostrada na Tabela 1.8 deve ser seguida. É permitido escrever até n bytes de dados enviando apenas um byte de endereço. O primeiro byte de envio define o modo e o endereço.

Tabela 1.8 - Ordem de bytes (MOSI e MISO) na escrita de dados [18]

Linha	Byte 0	Byte 1	Byte 2	To	Byte n	Byte n+1
MOSI	Endereço 0	Dados 0	Dados 1	...	Dados n-1	Dados n
MISO	X	X	X	...	X	X

Nota: O MSB deve ser enviado primeiro.

Byte de endereço SPI

O byte de endereço deve atender o seguinte formato:

O primeiro byte do MSB define o modo utilizado. Para ler dados do MFRC522, o MSB é ajustado para o sinal lógico 1. Para se escrever/gravar dados para o MFRC522, o MSB deve ser

configurado para o valor lógico 0. Os *bits* 6 até 1 definem o endereço e o LSB é definido com o valor lógico 0.

Tabela 1.9 - Registo endereço *byte* 0, Endereço *MOSI* [18]

7 (MSB)	6	5	4	3	2	1	0 (LSB)
1 = ler 0 = escrever	Endereço						0

Capítulo 2

2.1 - Caracterização do Problema

Nesta secção será abordado o cerne do objetivo de desenvolvimento deste trabalho sob a forma de definição do problema, bem como a descrição das abordagens a serem consideradas como possíveis soluções ao problema.

2.1.1 - Definição do Problema

A definição do problema enquadrado na motivação deste trabalho abrange vários aspetos neste caso relacionados com sistemas de visão, sistemas de projeção (*projection mapping*), sistemas de movimentação linear e sistemas de validação do processo de corte dos RC. O problema afirma-se em aspetos como a inerente dificuldade em se garantir um padrão exato das lâminas para o corte dos RC, visto estas serem colocadas manualmente, a dificuldade na precisão do corte associada ao desgaste das lâminas e respetiva posição no veio e a necessidade de um sistema que permita a validação automática do material a ser cortado, tendo em conta que para diferentes materiais existem diferentes padrões de corte. Faz parte também deste projeto se desenvolver um sistema de projeção de luz laser ou de uma imagem que garanta a posição exata de cada lâmina no respetivo veio.

Atualmente, na Continental Mabor - Lousado, existe uma máquina denominada de *Maxi-Slitter 2* que permite o corte de rolos calandrados, rolos provenientes das Calandras com larguras compreendidas entre os 1460 mm e os 1480mm, em 12 bobines com 120mm de largura. Contudo, este equipamento, não consegue garantir que as 12 bobines tenham exatamente os 120mm, surgindo então a necessidade de se complementar a máquina com um sistema que garanta alta precisão no posicionamento das lâminas.

Na escolha manual do padrão de corte, a exigência põe-se na capacidade do operador colocar as lâminas no lugar certo e com a largura pretendida, pois esta medição é realizada

através de uma régua e a olho nu. Em casos de produção em série é também uma tarefa árdua para o humano ser capaz de verificar se as lâminas estão com demasiado desgaste, proporcionando um corte com menos exatidão.

2.1.2 - Solução Proposta

A solução proposta que contém os objetivos deste trabalho visa resolver a questão da precisão e exatidão do corte dos rolos calandrados, sendo as lâminas ajustadas por parte dos operadores manualmente.

A projeção de uma imagem a incidir no veio que contém as lâminas permite orientar o operador do local exato para aperto das lâminas, diminuindo drasticamente a probabilidade de erro na largura das bobines. Nesta situação, da projeção da imagem, é necessária a aquisição do tipo de material a ser cortado, pois o padrão a ser incidido no veio pode variar de composto para composto.

A inclusão de um sistema de posicionamento linear em conjunto com um sistema de visão (câmara) permite a validação autónoma e eficaz do padrão de corte, sem que seja necessária a intervenção do operador. Este processo de validação garante ao Departamento de Engenharia 3, DE3, de que todo o processo de corte é realizado como o delineado.

Por outro lado, os equipamentos industriais associados a este tipo de processos de ajustes automáticos com elevada precisão também foram abordados como uma eventual hipótese para se solucionar o problema, contudo visto acarretarem custos bastante elevados para a empresa e tendo em conta os prazos de conclusão da dissertação, DISS, a mesma foi declinada.

2.2 - Projeção da Imagem

2.2.1 - Introdução

A projeção de imagem é um processo caracterizado pelo projetor. O projetor processa um sinal de vídeo e projeta a imagem correspondente na superfície de projeção usando um sistema de lentes e um sistema de iluminação próprio.

Na sua maioria os projetores empregam uma luz brilhante para a projeção da imagem, disponibilizando também um ajuste manual/automático da qualidade da imagem a ser projetada, nomeadamente o foco e a definição da mesma.

Hoje em dia, as definições de imagem de um projetor portátil incluem SVGA (800×600 pixels), XGA (1024×768 pixels), 720p (1280×720 pixels) e 1080p (1920×1080 pixels).

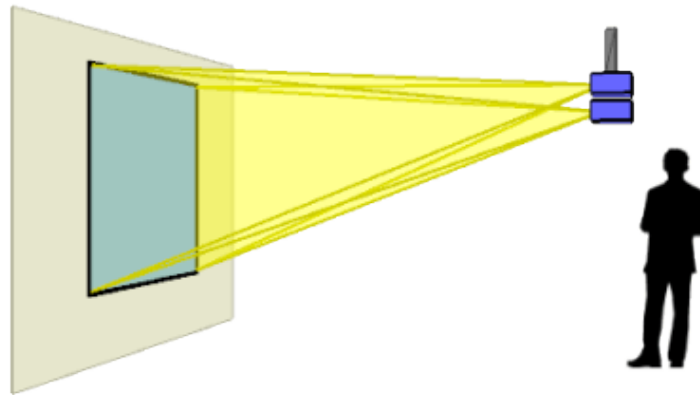


Figura 2.1 - Projeção de Imagem [27]

O custo de um projetor é determinado tendo em conta os seguintes fatores:

- Definição
- Saída de Luz
- Saída Acústica de Ruído
- Contraste

2.2.2 - Arquitetura Funcional

A arquitetura funcional do sistema de projeção de imagem descrita na Figura 2.2 tem como entradas os comandos introduzidos pelo operador no autómato Beckhoff da máquina Maxi-Slitter 2 através da interface com o *Raspberry Pi*. Como saídas, o operador tem acesso às imagens projetadas, que neste caso são duas linhas na vertical e, posteriormente, uma linha na horizontal. A ligação entre o projetor e o *Raspberry Pi* é realizada através de um cabo HDMI. Quanto à ligação entre o *Raspberry Pi* e o IPC da Beckhoff é feita por Ethernet, utilizando o protocolo TCP/IP.

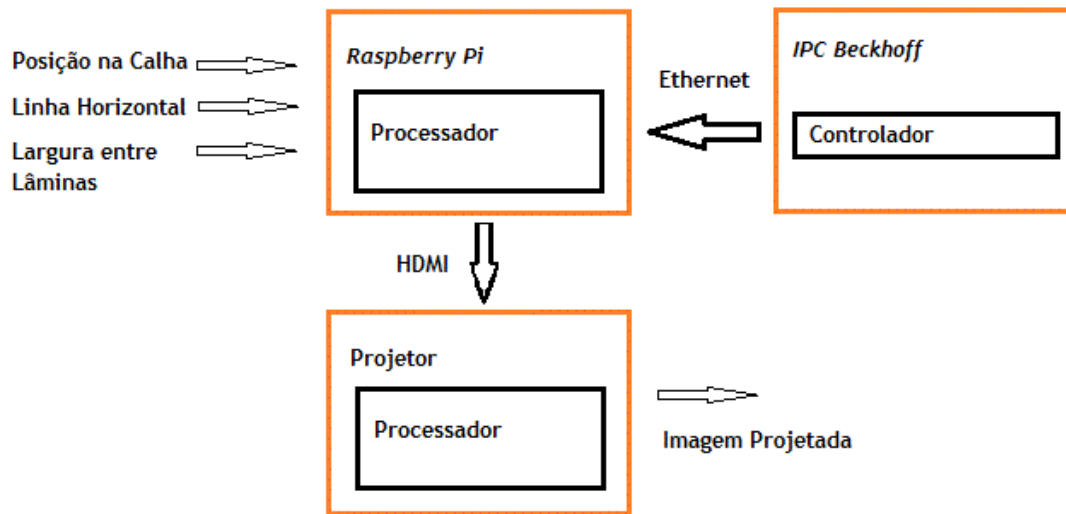


Figura 2.2 - Arquitetura Funcional relativa ao Sistema de Projeção de Imagem

2.2.3 - Componentes de *Hardware*

Projeter Mini *LED*

O projetor utilizado para se projetar as imagens necessárias para o projeto foi o Mini LED Projetor - High Convergence Light Source. Este equipamento contém uma lâmpada LED com uma esperança média de vida de 50,000 horas, a sua aparência profissional fornece estabilidade da imagem e consequentemente uma fácil ventilação do sistema. Quanto à sua interface, este, pode-se conectar das seguintes formas: HDMI/SD/USB/VGA/AV/Saída Audio/TV.

Algumas das suas grandes vantagens são o seu baixo consumo de energia, a sua baixa saída de ruído, o seu peso extremamente leve em comparação com os projetores normais e as suas pequenas dimensões, apropriadas para o projeto em causa.

Este permite ainda um ajuste manual da imagem de 20 a 100 polegadas e um ajuste automático entre as seguintes escalas: 16:9 e 4:3.

A tabela seguinte especifica as características do projetor utilizado na dissertação.

Tabela 2.1 - Características do *Mini LED Projetor*

Modelo	Mini Projetor	Imagem	LCD
Resolução Standard	480*320	Resolução Máxima	1920*1080
Lâmpada	LED	Alimentação	DC 12V/2A
Idioma	24 Idiomas	Brilho	60Lumens
Contraste	1000:1	Lente	F=90
Tamanho da Imagem	20''-100''	Distância de Projeção	1.2m a 3.6m
Cor	18000k	Modo de Projeção	Projeção Frontal
Consumo	25W	Alta Voz	2.0W*1
Peso	0.27Kg	Dimensões	170mm*115mm*70mm
Modo de Utilização	Manual/Controlo Remoto	Temperatura de Trabalho	-10° C a 38° C
Saída Sonora	Jack 3.5mm	Entradas	HDMI/USB/SD/VGA/AV/TV

Raspberry Pi

O componente utilizado para se processar toda a informação a que este projeto está sujeito bem como ao controlo do mesmo foi o *Raspberry Pi 3 model B*. Este pequeno computador, do tamanho de um cartão de crédito, que se conecta ao monitor de um PC ou a uma TV, permite realizar todas as operações inerentes ao projeto sem que sejam necessários outros dispositivos de controlo ou de aquisição de dados. Este dispositivo, desenvolvido pela Fundação *Raspberry Pi*, é constituído pelas seguintes especificações (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Características *Raspberry Pi 3 Model B*

Modelo	B
Geração	3
Arquitetura	ARMv8-A (64/32-bit)
SoC	Broadcom BCM2837
CPU	1.2 GHz 64-bit Quad-Core ARM Cortex-A53
GPU	Broadcom VideoCore IV, gráficos 3D @ 250 MHz
Memória (SDRAM)	1 GB (partilhada com a Unidade Gráfica de Processamento (GPU))
Porta USB 2.0	4
Entradas de Vídeo	Conector de interface de câmara MIPI de 15 pinos, usado com a câmara Pi ou a câmara Pi NoIR
Saídas de Vídeo	HDMI, interface de exibição MIPI (DSI) para LCD
Entradas de Som	

Saídas de Som	Saída Analógica: jack 3.5mm Saída Digital: HDMI
Armazenamento Móvel	Meio de Armazenamento USB e Cartões Micro SD
Rede	10/100 Mbit/s Ethernet, 802.11n wireless, Bluetooth 4.1
Periféricos de Baixo Nível	40 Portas Programáveis de Entrada e Saída
Potência	800 mA (4.0 W)
Fonte de Energia	5 V
Dimensões	85.60 mm x 56.5 mm
Peso	45 g

O *Raspberry Pi* não utiliza um sistema operativo fixo, dependendo da sua funcionalidade, este pode ser carregado por diferentes sistemas operativos, no entanto neste projeto, o sistema operativo utilizado foi o *Raspbian*, que é uma versão própria do *Linux* desenvolvida pela Fundação *Raspberry Pi*, este tema será abordado mais à frente no subcapítulo alusivo ao *software*.

IPC Beckhoff C61xx

O trabalho desenvolvido no âmbito da desta dissertação dirigido à automatização do processo de controlo das larguras entre lâminas tem o intuito de ser implementado na Continental Mabor onde se encontra a máquina *Máxi Slitter 2*. Esta máquina é constituída e controlada através de um PC industrial da *Beckhoff* cujo seu modelo é o *C61xx*.

Os PC's industriais desta série desempenham uma combinação ideal com o *software* de automação *TwinCAT*, representando, deste modo, uma plataforma poderosa para o controlo de máquinas e aplicações no mundo da engenharia.

Este *IPC* está equipado com componentes de classe de desempenho elevadas como o *Intel® Celeron®* ou *Core™ i3 / i5 / i7* da última geração das *motherboards ATX*.

Todas as conexões do PC são de fácil acesso o que permite ligações por cabo viáveis e seguras. As paredes laterais são completamente passivas permitindo que o PC Industrial seja montado imediatamente ao lado de outros dispositivos (Figura 2.4).

Os PCs da série *C61xx* são alimentados por uma fonte de alimentação completa de 100V a 240V-AC ou 24V-DC. Esta necessita de uma tomada de encaixe industrial.

A construção da caixa foi idealizada para permitir a adaptação individual, sendo possível o ajuste a vários recursos dependendo da sua aplicação (Figura 2.3).



Figura 2.3 - Exterior do IPC da Beckhoff C61xx [29]

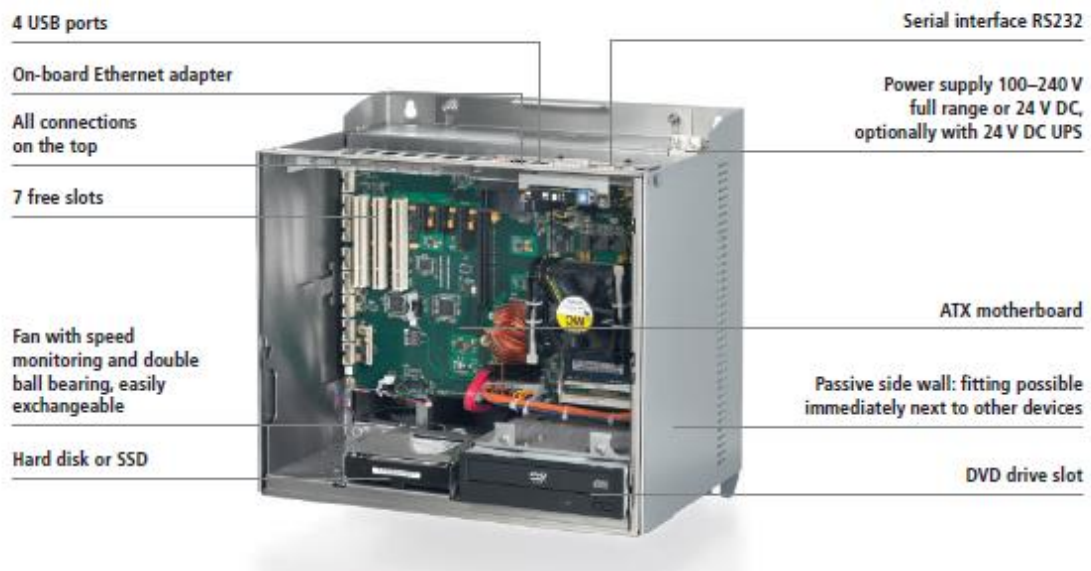


Figura 2.4 - Interior do IPC da Beckhoff série C61xx [29]

Este PC industrial recebe e analisa os dados introduzidos pelo operador no *touchscreen CP7031-1014* da *Beckhoff*, constituído por um *display LTM12C275A*, de 12.1 polegadas, da *Toshiba* com interface *CP-link*, teclado e *RS232* (Figura 2.5).

É através dos dados introduzidos pelo operador que se obtêm as larguras a ser projetadas e posteriormente medidas pelo sistema de validação.



Figura 2.5 - Painel de Controlo Beckhoff

2.2.4 - Software

Comunicação entre o *Raspberry Pi* e o *IPC Beckhoff*

A comunicação entre o PC industrial e o *Raspberry Pi* é realizada através de um cabo *Ethernet* empregando o protocolo *TCP/IP*. A comunicação é constituída por um mestre, o *Raspberry Pi*, e um escravo, o PC industrial.

Sempre que o operador introduzir os dados relativos ao material a ser cortado na *Máxi-Slitter 2*, dados que são disponibilizados aos operadores através de uma etiqueta de identificação do material, o PC industrial armazena os mesmos numa base de dados chamada CBDAS. Após análise da informação, o autómato disponibiliza ao *Raspberry Pi* o tipo de material a ser cortado e o número de identificação do padrão de corte, como exemplificado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Exemplo de dados transferidos do *IPC* para o *Raspberry Pi* por *Ethernet*

Material	Padrão
N1204	1
N1204	2
...	...
NO3201	1
...	...
Borracha	1
...	...

Esta comunicação é efetuada por meio de *sockets* e tem como variáveis principais o *IP* do *Raspberry Pi* e uma porta de comunicação. Esta porta representa uma variável que contém um número aleatório escolhido pelo programador, contudo este tem de ser o mesmo tanto no código relativo ao mestre como no código alusivo ao escravo para que seja possível a comunicação entre ambos. Estas duas variáveis é que caracterizam o endereço deste protocolo de comunicação.

2.3 - Aquisição e Análise da Imagem

2.3.1 - Introdução

A aquisição de uma imagem é caracterizada pelo processo de que compreende a redução de dimensionalidade, ou seja, uma câmara digital converte uma cena 3D numa representação 2D.

O dispositivo de conversão mais utilizado é a câmara CCD (*charge coupled device*), que é constituído por uma matriz de células semicondutoras fotossensíveis, que trabalham como condensadores, armazenando a carga elétrica proporcional à energia luminosa incidente.

A capacidade de resolução depende do tamanho e do número de células fotoelétricas do CCD, esta é expressa em pixels. Quanto menor for o tamanho dos pixels e maior for o sensor maior será a resolução da imagem.

Quando se pretende capturar uma imagem colorida é essencial a utilização de um conjunto de prismas e filtros de cor, que têm como função decompor a imagem colorida no formato RGB.

Após se adquirir a imagem é necessário realizar uma análise detalhada tendo em conta o objetivo pretendido.

Hoje em dia, o processamento de imagem está bastante facilitado tendo em conta de que existem bibliotecas de funções desenvolvidas exclusivamente para o tratamento de imagens. Das muitas bibliotecas existentes *Clmg*, *MAGICK++*, *BOOST C++ Libraries*, *VIPS* e *OpenCV*, a utilizada neste projeto foi esta última pois é gratuita tanto para fins académicos como para fins comerciais, sendo, deste modo, uma vantagem para a empresa. Por outro lado, estas bibliotecas *OpenCV* são compatíveis com variadíssimas plataformas (*Android*, *Windows* e *Linux*) podendo ser utilizadas em várias linguagens de programação (*C/C++*, *Java*, *Python* e *Visual Basic*).

2.3.2 - Arquitetura Funcional

A arquitetura funcional do sistema de aquisição de imagem descrita na Figura 2.3 tem como entradas o modo de captura de imagem (vídeo ou fotografia) bem como a resolução da imagem através da interface com o *Raspberry Pi*. Como saída, o operador tem acesso à validação das larguras. A ligação entre a câmara e o *Raspberry Pi* é realizada através de um flat cable.

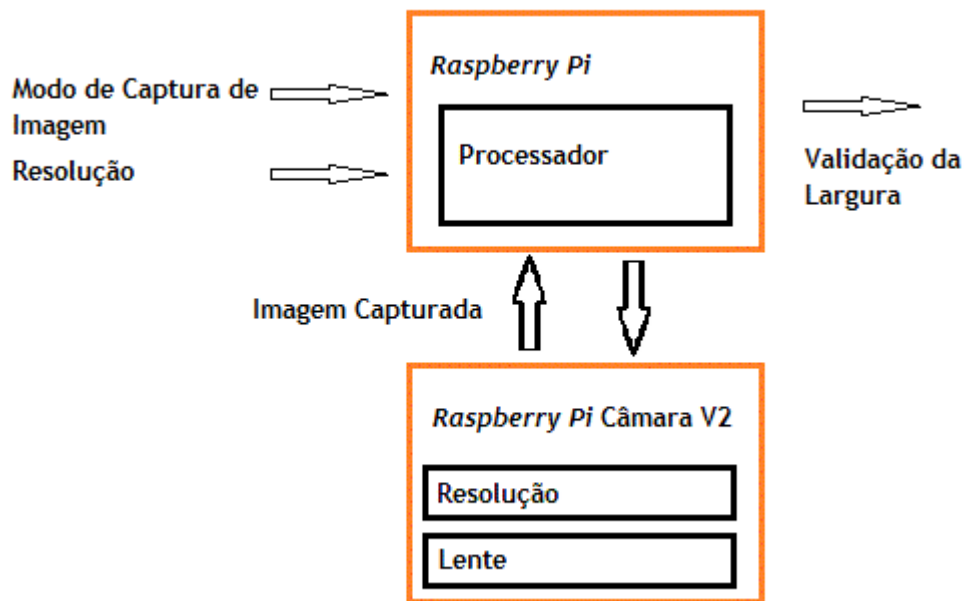


Figura 2.6 - Arquitetura Funcional relativa ao Sistema de Aquisição de Imagem

2.3.3 - Componentes de *Hardware*

Raspberry Pi Câmara V2

A câmara utilizada para se adquirir as imagens necessárias para análise foi a *Camera Module v2*. Este equipamento foi o selecionado para o projeto pois é extremamente barato comparativamente às câmaras com as mesmas características, por ser fabricada pela Fundação *Raspberry Pi*, o que torna mais fácil a comunicação com o *Raspberry Pi* e por haver um exemplar em laboratório. Quanto à sua interface, esta, conecta-se com o *Raspberry Pi* através do padrão série SCCB (*Serial Camera Control Bus*). Esta comunicação é caracterizada por um *Flat Cable*.

Algumas das suas grandes vantagens são as suas dimensões apropriadas para o projeto em causa, a sua resolução de 8 *Megapixels* e o sensor *Sony IMX219* com uma resolução máxima de 3280 x 2464 *pixels*. Este componente é caracterizado pelas seguintes especificações (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 - Características *Raspberry Pi Camera Module v2*

Dimensões	25mm x 24mm x 9mm
Peso	3g
Resolução	8 Megapixels
Modos de Vídeo	1080p30, 720p60, 640x480p60/90
Integração Linux	Driver V4L2
Sensor	Sony IMX219
Máxima Resolução do Sensor	3280 x 2464 pixels
Tamanho do Pixel	1.4um x 1.4 um
Comprimento Focal	3.60mm +/- 0.01
Sensibilidade	680mV/lux-sec
Objetiva	35 mm

2.3.4 - Software

Para se adquirir uma imagem, através da Câmara Pi, é necessário disponibilizar-se à mesma qual a resolução pretendida para a aquisição da mesma bem como o número de imagens captadas por segundo (frame rate). Neste projeto optou-se pelos seguintes valores:

- *Camera.resolution* = (1280,720) *pixel*
- *Camera.framerate* = 24 *fps*

Após se guardar a imagem capturada, com o espaço de cores em *BGR* (espaço de cores que o *OpenCV* utiliza como definição), é possível observar-se que a mesma contém bastante informação desnecessária para análise, por isso é essencial realizar um corte, originando deste modo uma nova imagem que contém apenas a informação fulcral para análise. Outra situação que é essencial referir é que quando se realiza o corte da imagem garante-se sempre que a maior linha que a mesma contém é a que representa a largura entre as lâminas e a segunda maior é a linha que representa o tamanho do suporte que contém a lâmina.

Posteriormente a imagem cortada é transformada numa imagem monocromática (tons de cinza) obtida através da função *cv2.COLOR_BGR2GREY* que constitui a função

cv2.threshold. A passagem de cada *pixel* colorido para um *pixel* em tons de cinza tem a ver com a intensidade de cada um. Outra função que faz parte da função *cv2.threshold* é a função *cv2.THRESH_BINARY* que coloca a imagem monocromática numa imagem binária, sendo esta atribuição de nível (1 ou 0) atribuída a cada *pixel* tendo em conta os valores determinados para a função *cv2.threshold*. É notório revelar que numa escala de 0 a 255 níveis de intensidade, o 0 corresponde ao valor 1 em binário e o 255 ao valor 0 em binário. Neste caso, como o objetivo é o de se conseguir obter um bom contraste entre a linha branca projetada e os objetos onde esta incide, os valores do *threshold* são 109 e 255, mínimo e máximo respetivamente (Figura 2.7). Estes valores são influenciados pelo ambiente em que a imagem é capturada, principalmente pela luminosidade.

```
ret, thresh = cv2.threshold(cv2.cvtColor(img.copy(), cv2.COLOR_BGR2GRAY) , 109, 255, cv2.THRESH_BINARY)
image, contours, hier = cv2.findContours(thresh, cv2.RETR_TREE, cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
```

Figura 2.7 - Código relativo à função *threshold* e à função *findContours*

Estas transformações permitem que a função *cv2.findContours* encontre, automaticamente, na imagem binária todas as linhas brancas representadas, desde a mais pequena até à maior. Esta função armazena todas as linhas encontradas na imagem para, numa fase seguinte e utilizando a função *cv2.rectangle*, se dar por concluída a identificação de todas as linhas com o contorno das mesmas através de um retângulo verde. Esta última função armazena a largura e a altura, em *pixels*, relativas a cada retângulo desenhado. Estes valores são colocados em dois vetores distintos, um para os valores relacionados com as larguras de todos os retângulos e outro vetor que armazena todos os valores das alturas de todos os retângulos desenhados. O armazenamento dos valores nos dois vetores é realizado por ordem crescente dos respetivos valores, podendo, deste modo, se determinar as duas maiores linhas presentes na imagem, em termos de largura, acedendo às duas últimas posições do vetor relativo às larguras. Como referido anteriormente, estes dois valores correspondem à distância entre suportes e ao valor do tamanho do suporte, em largura, das lâminas, sendo sempre a distância entre suportes o maior valor detetado.

Este algoritmo relativo à análise da imagem conclui-se com a conversão das duas larguras obtidas em *pixels* para milímetros. Esta conversão tem como valor base real de comparação o tamanho do suporte das lâminas, 19mm. Optou-se por este valor de conversão pois os suportes são todos iguais e todas as imagens capturadas contêm pelo menos um suporte. A conversão é realizada como ilustra a Figura 2.8.

```
k = (73*82)/float((19*330))

a = (k*19*aux)

x1 = a/float((aux2))
x2 = x1 + 38
print ("O valor da distancia entre laminas em mm e de:{0:.15f}".format(round(x2,5)))
```

Figura 2.8 - Algoritmo que permite saber qual é, na realidade, a largura das lâminas em milímetros

No algoritmo do sistema a variável *aux* representa, em *pixels*, a distância entre suportes, a variável *aux2* representa o tamanho, em *pixels*, do suporte das lâminas.

A constante *K* realiza a transformação linear para se obter o valor da largura das lâminas em função do valor do seu suporte. Esta constante foi obtida no primeiro teste de medição da largura das retas. Contudo para uma melhor precisão, como exposto em cima, deveriam de se ter realizado muitos mais testes ao sistema e com valores de larguras diferentes.

A variável *x1* representa o valor da distância entre os suportes, em milímetros, enquanto que a variável *x2* representa o valor da distância entre lâminas, em milímetros, obtido pela soma da distância entre os suportes e o valor do tamanho de um suporte.

2.4 - Aquisição da Posição

2.4.1 - Introdução

Numa fase inicial realizou-se um estudo acerca de *projection mapping* tendo em conta que o projetor pudesse ficar a uma distância razoável do veio que contém as lâminas, alcançando, deste modo, todas as posições de corte. No entanto, após uma análise do ambiente em que a máquina está inserida e nunca menosprezando o operador bem como os seus movimentos, foi imprescindível para o projeto, mais propriamente para o sistema de projeção, utilizar um processo de movimento linear. Este subsistema constituído por um carrinho e uma calha *Igus* permite que o sistema de visão alcance todas as posições de corte, na máquina *Maxi-Slitter 2*, sem que seja necessário modificar o método de trabalho do operador nem a estrutura da máquina.

A escolha deste subsistema permitiu diminuir a distância entre o sistema de visão e o veio da máquina que contém as lâminas, proporcionando assim um aumento da qualidade das imagens tanto na projeção como na sua aquisição.

Um dos obstáculos deste subsistema foi a aquisição da posição do carrinho na calha, contudo este solucionou-se utilizando um leitor de cartões *RFID* agregado ao *Raspberry Pi*. À medida que o carrinho se desloca na calha é realizada a leitura dos cartões que se encontram na parte inferior da mesma, cada cartão contém um número próprio que indica o número da posição.

Outra etapa deste subsistema foi a necessidade de se desenhar e implementar os suportes para a calha ficar estável e segura. Esta componente mecânica foi desenvolvida em parceria com a empresa *Moldamirco*.

2.4.2 - Arquitetura Funcional

A arquitetura funcional do sistema de aquisição da posição do carrinho na calha descrita na Figura 2.3 tem como entradas os valores adquiridos pelo leitor *RFID MFRC522* através da interface com o *Raspberry Pi*. Como saída, o operador tem acesso ao número do cartão ou da *tag*, ou seja tem acesso à posição do carrinho. A ligação entre o cartão e o leitor é realizada através de *RFID*. Quanto à ligação entre o *Raspberry Pi* e o módulo *RFID MFRC522* é feita por cabo, utilizando o protocolo *SPI*.

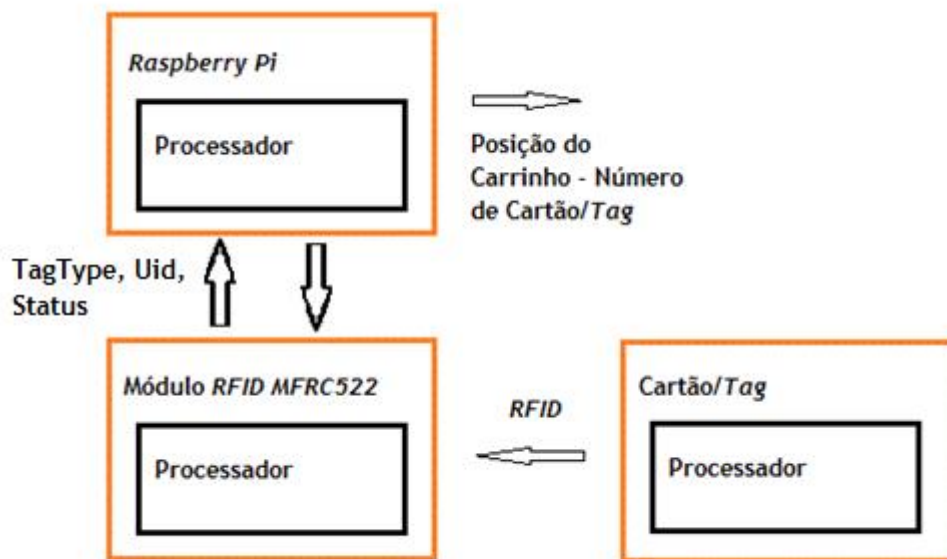


Figura 2.9 - Arquitetura Funcional relativa ao Sistema de Aquisição de Posição

2.4.3 - Componentes de *Hardware*

Leitor *RFID MFRC522*, cartão *MIFARE* e *tag NTAG*

MIFARE é a marca/tecnologia registada de cartões inteligentes sem contacto e cartões de proximidade. Esta é de propriedade da *NXP Semiconductors*, tendo sido produzida pela *Philips Eletronics* em 2006.

Os produtos *MIFARE* cumprem a norma internacional *ISO / IEC 14443*, que é utilizada em mais de 80% de todos os cartões inteligentes sem contacto, atualmente. A sua frequência de trabalho é de 13,56 MHz com capacidade de leitura e de escrita.

Dentro das famílias de produtos *MIFARE*, a compatibilidade com versões anteriores garante que a infraestrutura existente pode ser atualizada sem problemas para níveis de segurança e de recursos mais elevados. Os principais produtos disponíveis são *MIFARE Ultralight*, *MIFARE Classic*, *MIFARE Plus*, *MIFARE DESFire* e *MIFARE SmartMX*.

Estes cartões inteligentes sem contacto permitem uma leitura/escrita a uma distância de aproximadamente 10 cm entre o recetor e o emissor. Esta tecnologia é utilizada em mais de 40 aplicações diferentes em todo o mundo tais como cartões de identificação, cartões de transportes públicos, cartões de acesso (hotelaria) e estacionamento. Com 260 milhões de leitores e mais de 10 bilhões de cartões inteligentes sem contato e de interface dupla vendidos, os produtos *MIFARE* são os que mais se destacam no mercado [30].

2.4.4 - Software

Comunicação entre o cartão *MIFARE*, o leitor *RFID-RC522* e o *Raspberry Pi*

A comunicação entre o leitor e o cartão *MIFARE* ou a *tag* é apenas de leitura e é realizada através de radiofrequência empregando a norma *ISO/IEC 14443 A*. A comunicação é realizada a uma frequência de 13.56 MHz e a uma distância máxima de 10 cm. Todas as funções de comunicação já se encontravam implementadas numa biblioteca disponibilizada pelo fabricante, a *MFRC522.py*.

O protocolo de comunicação encontra-se caracterizado por três variáveis: *status*, *TagType* e *uid*. Como o próprio nome indica a primeira variável indica o estado de leitura/deteção de um componente, enquanto a segunda variável nos determina o tipo de componente lido (cartão ou *tag*). Apenas componentes *MIFARE* ou *NTAG* podem ser lidos, contudo se se aproximar outro tipo de componente, dependendo da frequência de comunicação, o sistema pode transmitir uma mensagem de erro na leitura caso o componente não seja compatível com o sistema.

Por outro lado, se o componente lido for validado é utilizada uma função de leitura do seu *uid*, ou seja, do seu número de identificação, cada cartão tem um número próprio.

Após se determinar o número do cartão é atribuída uma posição na calha (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 - Atribuição da posição na calha a cada cartão *MIFARE*

UID	Posição na Calha
142, 165, 246, 33, 252	1
197, 24, 60, 119, 150	2
...	...
XXX,XXX,XXX,XXX,XXX	XX

O sistema contém um vetor onde se armazenam todos os números dos cartões existentes na calha. Este foi idealizado com o intuito de após a leitura de um cartão, o

número relativo ao mesmo poder ser comparado com os cartões já lidos, determinando deste modo a posição em que o carrinho se encontra.

2.4.5 - Componente Mecânica

Inicialmente foi desenvolvida uma maquete dos suportes de adaptação da calha *Igus* à máquina *Maxi-Slitter 2* (Anexo C) para que os mesmos fossem aprovados em reunião na Continental Mabor.

As peças foram, posteriormente, desenvolvidas pela Moldamirco, tendo sido produzidas em *Aço Werk* permitindo uma fácil soldagem à máquina e uma maior estabilidade do sistema (Figura 2.8).

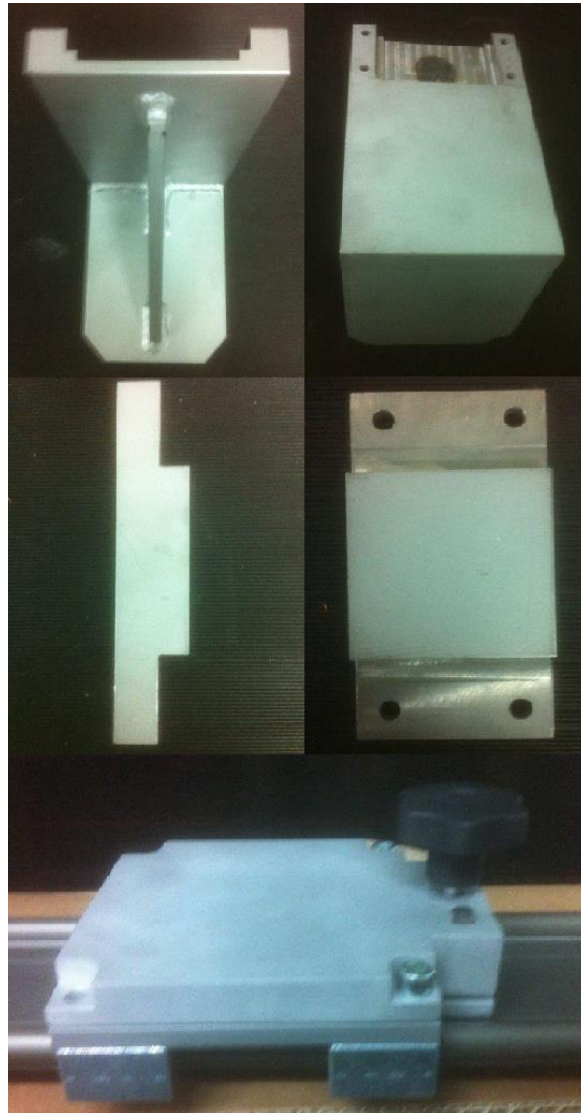


Figura 2.10 - Suportes para a Calha *Igus* e adaptador para bloqueio da posição do carrinho.

Capítulo 3

3.1 - Testes ao Sistema

3.1.1 - Comunicação entre o *Raspberry Pi* e o *IPC Beckhoff*

Tendo em conta de que a máquina em causa é uma das mais utilizadas pelo DP2-F, na Continental Mabor, na produção de *Caplly*, não foi possível a realização da comunicação entre a máquina *MS2* e o *Raspberry Pi*, pois seria necessária a paragem da mesma.

Contudo, optou-se por realizar uma comunicação entre o *Raspberry Pi* e um PC, visto que o *IPC* corre no mesmo sistema operativo, o Windows, para se validar a comunicação entre ambos.

Para se realizar esta operação foi imprescindível desenvolverem-se dois programas semelhantes desenvolvidos em *Python*. Um do lado do PC, que representa o cliente, tendo como função o envio dos dados desejados pelo servidor e outro, do lado do *Raspberry Pi*, que representa o servidor, que é onde se recebem os dados requisitados ao cliente.

Como referido anteriormente, foi necessário escolher-se um endereço para a comunicação (Figura 3.1).

```
host = "192.168.137.40" # set to IP address of target computer
port = 13000
addr = (host, port)
```

Figura 3.1 - Endereço da comunicação entre o *Raspberry Pi* e o PC.

Após a definição do endereço e da criação dos sockets gerou-se a seguinte comunicação (Figuras 3.2, 3.3 e 3.4). É importante frisar que para que a comunicação se realize como desejado o mestre tem de criar a ligação primeiro e só depois é que o escravo se pode conetar à mesma.

```

pi@raspberrypi: ~/Continental_Mabor/TCP_IP
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Continental_Mabor
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor $ cd TCP_IP
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/TCP_IP $ sudo python server_rasp.py
Ligacao criada!! A receber os dados...

```

Figura 3.2 - Criação da ligação por parte do *Raspberry Pi* (mestre)

```

CA  Linha de comandos - python client_pc.py
Microsoft Windows [Version 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.
C:\Users\Paulo Rebelo>cd Desktop
C:\Users\Paulo Rebelo\Desktop>cd TCP_IP
C:\Users\Paulo Rebelo\Desktop\TCP_IP>python client_pc.py
Insira o Material a cortar ou escreva 'exit' para sair: N1204
Insira o Padrao de corte ou escreva 'exit' para sair: 1_

```

Figura 3.3 - Introdução de dados através da linha de comandos do PC (escravo)

```

pi@raspberrypi: ~/Continental_Mabor/TCP_IP
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Continental_Mabor
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor $ cd TCP_IP
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/TCP_IP $ sudo python server_rasp.py
Ligacao criada!! A receber os dados...
0 Material a cortar e: N1204
0 Padrao de corte e: 1

```

Figura 3.4 - Receção dos dados por parte do *Raspberry Pi*

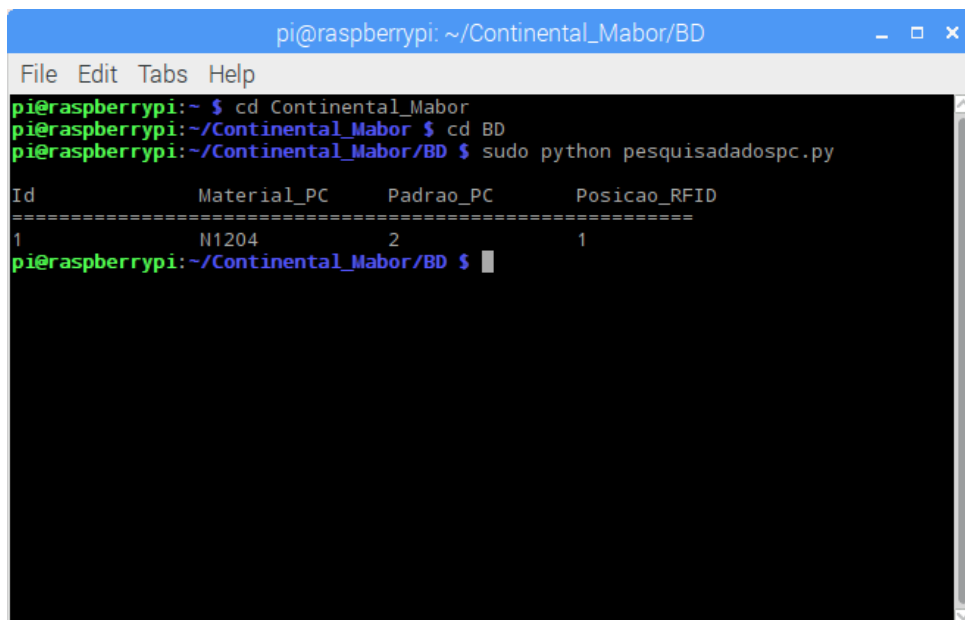
Após a recepção dos dados seria necessário o armazenamento dos mesmos. Estes ou se guardavam em variáveis globais ou se armazenavam numa base de dados.

Neste projeto optou-se pela criação de uma base de dados, permitindo assim um fácil acesso a toda a informação em caso de falhas energéticas, de nome *Larguras* que contém duas tabelas: *largdat* e *dados_pc*.

A tabela que armazena os dados recebidos do PC é a *dados_pc* (Figura 3.5) e é constituída por 4 colunas: *id* (Integer) designada por chave-primária, *material_pc* (String), *padrão_pc* (String) e *posição_rfid* (String). A primeira coluna é utilizada para armazenar o valor da linha em que é necessário realizar a pesquisa, este valor é incrementado sempre que se armazenam novos dados. A segunda e terceira colunas guardam os valores obtidos do PC referentes ao tipo de material e ao número do padrão de corte, respetivamente. E por último, a quarta coluna é essencial para se armazenar a posição em que se encontra o carrinho na calha, valor este obtido através da leitura dos cartões RFID.

Estes valores são armazenados com o propósito de poderem ser comparados com os valores da tabela *largdat*.

A tabela *largdat* (Figura 3.6) contém todos os casos possíveis do sistema. Esta tabela é constituída por 4 colunas: *material* (String), *padrão* (String), *posição* (String) e respetiva *largura* (String). A primeira coluna é utilizada para armazenar o tipo de material, a segunda coluna representa o padrão de corte, a terceira coluna representa a posição do carrinho na calha e a quarta coluna indica qual a largura entre lâminas a ser projetada.



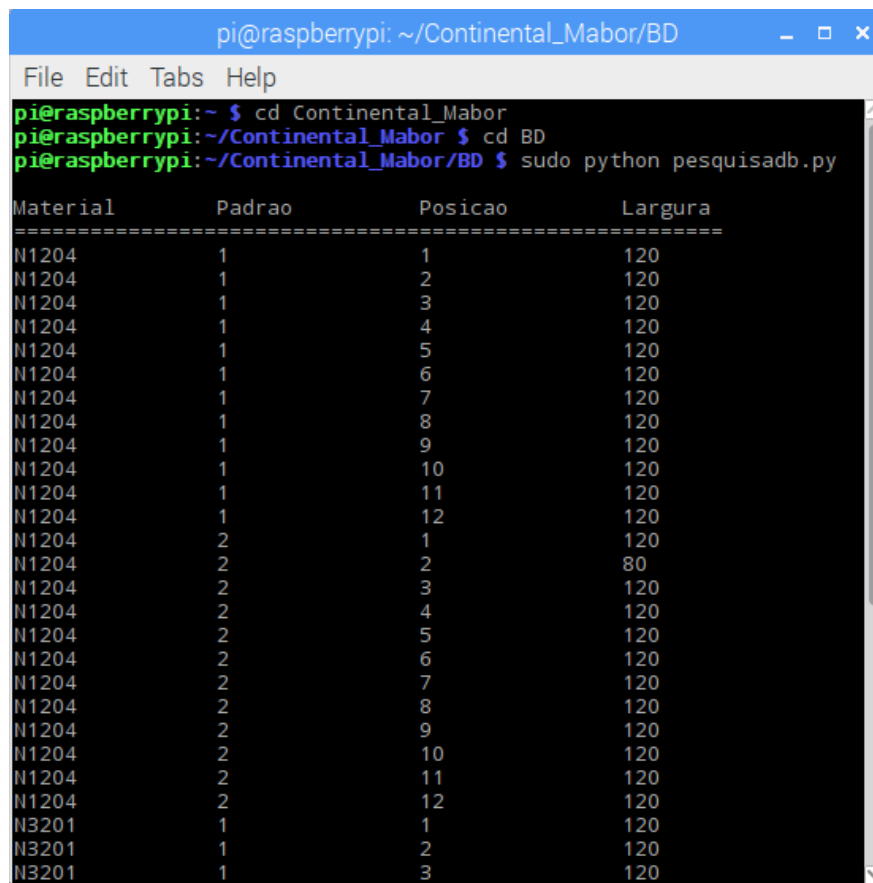
```

pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/BD
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Continental_Mabor
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor $ cd BD
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/BD $ sudo python pesquisadadospc.py

Id          Material_PC  Padrao_PC  Posicao_RFID
-----
1           N1204       2          1
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/BD $

```

Figura 3.5 - Tabela relativa aos dados obtidos pelo PC e pelo Leitor RFID



```

pi@raspberrypi: ~/Continental_Mabor/BD
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Continental_Mabor
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor $ cd BD
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/BD $ sudo python pesquisadb.py

Material      Padrao      Posicao      Largura
-----
N1204         1           1           120
N1204         1           2           120
N1204         1           3           120
N1204         1           4           120
N1204         1           5           120
N1204         1           6           120
N1204         1           7           120
N1204         1           8           120
N1204         1           9           120
N1204         1           10          120
N1204         1           11          120
N1204         1           12          120
N1204         2           1           120
N1204         2           2           80
N1204         2           3           120
N1204         2           4           120
N1204         2           5           120
N1204         2           6           120
N1204         2           7           120
N1204         2           8           120
N1204         2           9           120
N1204         2           10          120
N1204         2           11          120
N1204         2           12          120
N3201         1           1           120
N3201         1           2           120
N3201         1           3           120

```

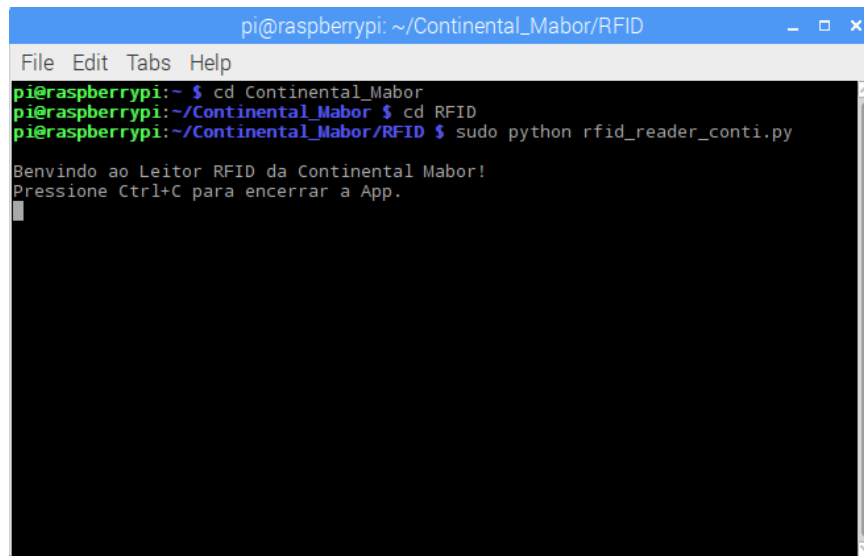
Figura 3.6 - Tabela relativa aos casos possíveis do sistema

Comparando o tipo de material, o padrão de corte e a posição do carrinho da tabela dados_pc com os mesmos parâmetros da tabela largdat pode-se concluir qual a largura entre lâminas a ser projetada em cada posição do carrinho, tendo em conta o material a ser cortado bem como o padrão de corte.

3.1.2 - Aquisição da Posição

Este processo de identificação da posição do carrinho na calha é definido por um leitor RFID e pelos variadíssimos cartões MIFARE distribuídos pela calha. Como referido anteriormente, numa fase inicial, foi lido o número de cada cartão e colocado, posteriormente, numa posição da calha, sendo deste modo atribuída uma posição fixa para cada cartão. Esta posição física não pode ser alterada sem que seja alterada no código também.

Para validação do sistema de deteção da posição do carrinho foram, numa primeira fase, realizadas duas leituras. A primeira consistiu na leitura de um cartão que correspondia à posição número 1 e a segunda leitura traduz-se na validação da posição 2 através de uma tag (Figuras 3.7 e 3.8).



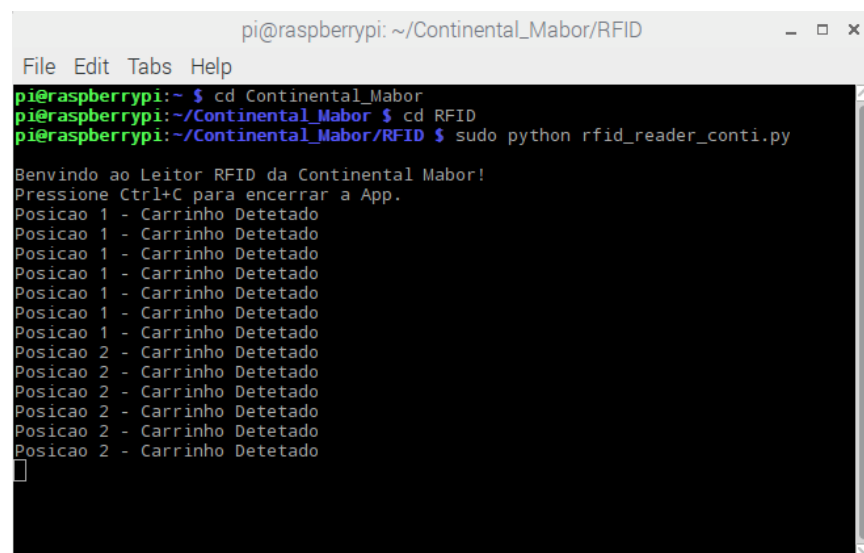
```

pi@raspberrypi: ~/Continental_Mabor/RFID
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Continental_Mabor
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor $ cd RFID
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/RFID $ sudo python rfid_reader_conti.py

Benvindo ao Leitor RFID da Continental Mabor!
Pressione Ctrl+C para encerrar a App.

```

Figura 3.7 - Front-End do leitor RFID



```

pi@raspberrypi: ~/Continental_Mabor/RFID
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Continental_Mabor
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor $ cd RFID
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/RFID $ sudo python rfid_reader_conti.py

Benvindo ao Leitor RFID da Continental Mabor!
Pressione Ctrl+C para encerrar a App.
Posicao 1 - Carrinho Detetado
Posicao 1 - Carrinho Detetado
Posicao 1 - Carrinho Detetado
Posicao 1 - Carrinho Detetado
Posicao 1 - Carrinho Detetado
Posicao 1 - Carrinho Detetado
Posicao 1 - Carrinho Detetado
Posicao 2 - Carrinho Detetado
Posicao 2 - Carrinho Detetado
Posicao 2 - Carrinho Detetado
Posicao 2 - Carrinho Detetado
Posicao 2 - Carrinho Detetado

```

Figura 3.8 - Validação das leituras do cartão, da tag e respectivas posições

3.1.3 - Projeção, Aquisição e Análise de Imagem

Numa fase muito precoce do projeto e tendo em conta apenas a validação da função relativa à deteção de linhas foram desenhadas, numa folha branca, umas linhas a preto. A folha foi colocada numa parede e através da câmara do *Raspberry Pi* obteve-se a seguinte figura (Figura 3.9).

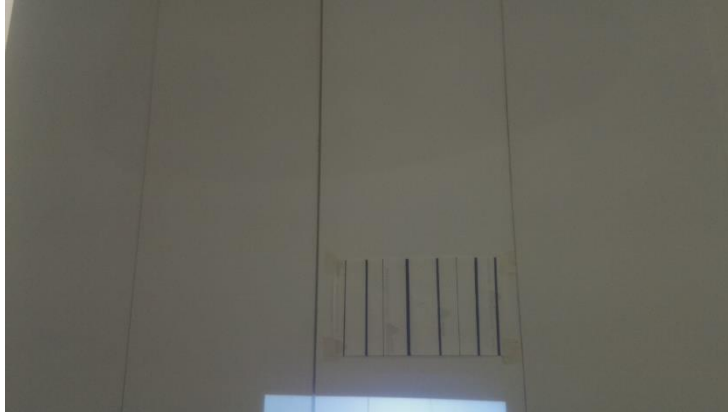


Figura 3.9 - Imagem que contém a folha branca com linhas a preto

Como se pode verificar a imagem adquirida não é a mais indicada para análise, pois abrange informação desnecessária, tendo sido essencial cortar a mesma, obtendo-se a Figura 3.10.



Figura 3.10 - Imagem cortada e em tons de cinza

Com a imagem acima representada foi possível realizar todas as operações necessárias, indicadas no ponto 2.3.4, para se conseguir detetar as linhas. Não se pode deixar de frisar que foi fundamental realizar algumas alterações referentes aos valores mínimos do corte da função do *threshold*, sendo que o valor mínimo é sempre igual a 0, que representa a cor preta das linhas. Os valores máximos variaram desde 255, valor inicial que representa a cor branca, até ao nível 63, ficando estipulado que o melhor seria optar por valor mínimo igual a 49. De seguida pode-se ver algumas imagens alusivas a esses ajustes (Figura 3.11).

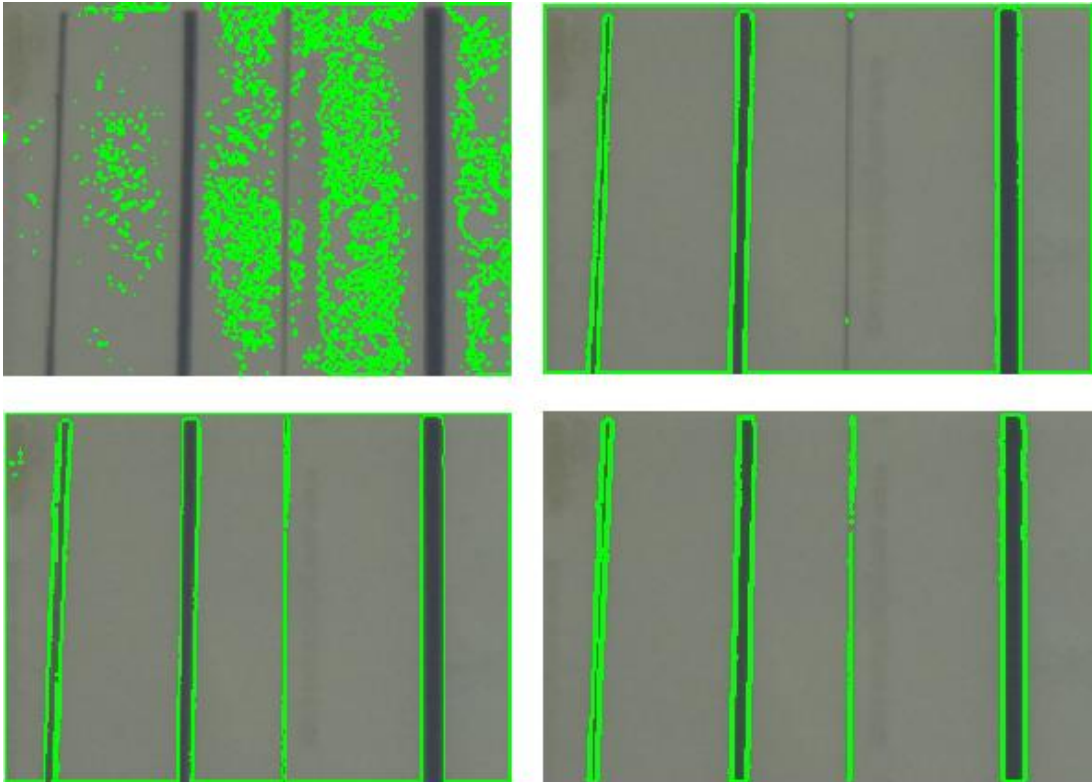


Figura 3.11 - Ajuste de valores para deteção das linhas

Como se pode verificar pelas imagens, comparando as duas últimas, foi imprescindível inverter-se a parte binária do *threshold* para se detetar as linhas e não o fundo da imagem. As duas imagens superiores dizem respeito ao ajuste dos valores de intensidade do *threshold*.

Por último, cumpriu-se esta etapa detetando a orientação exata das linhas (Figura 3.12).

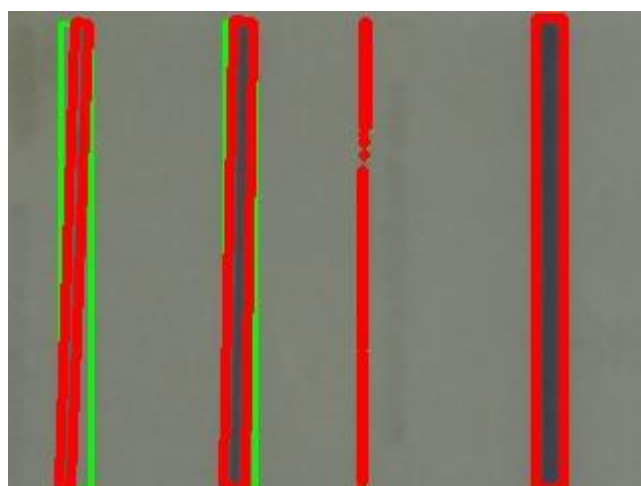


Figura 3.12 - Validação da deteção das linhas e sua orientação

Posteriormente, a ser desenvolvido todo o algoritmo relativo à projeção das linhas quer na vertical que na horizontal, à aquisição da imagem com os devidos cortes e à análise da imagem, demonstrado anteriormente, procedeu-se aos primeiros testes do sistema no ambiente industrial (Figura 3.13).

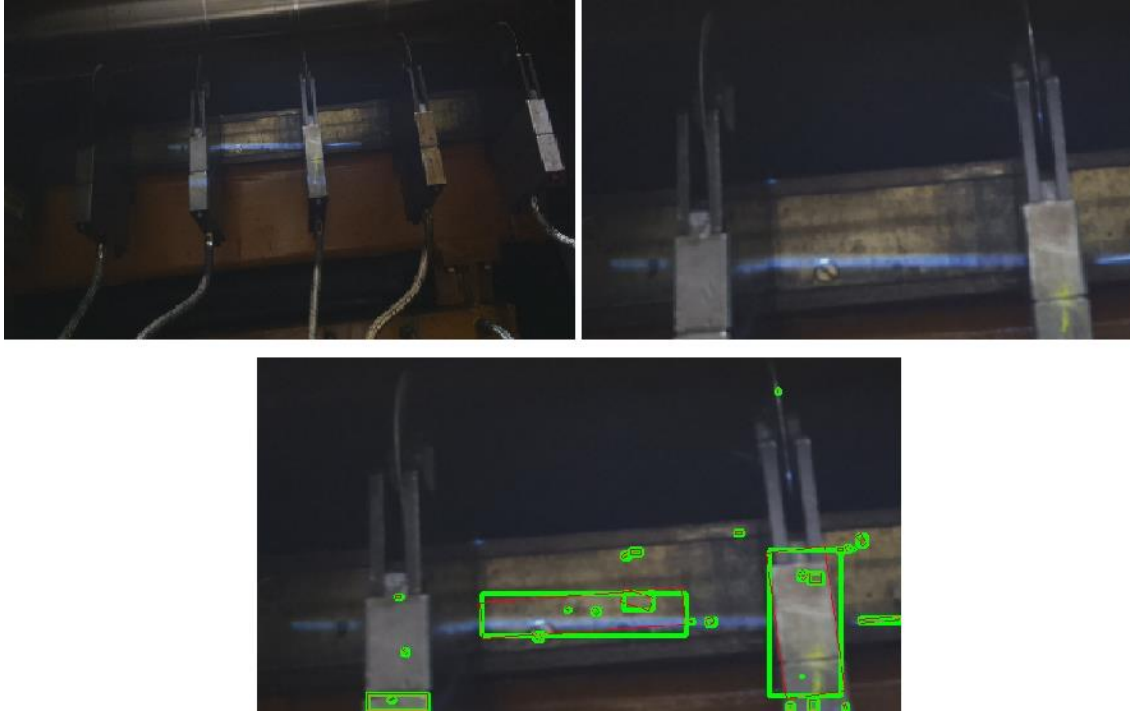


Figura 3.13 - Primeiro teste do sistema em ambiente industrial

Observando as figuras pode-se constatar que o projetor não estava na melhor posição, contudo o objetivo, nesta fase do projeto, seria validar a projeção, a aquisição e a deteção das linhas projetadas. Para uma melhor análise da imagem foi essencial modificar-se o algoritmo, principalmente os valores do *threshold*. Estes valores são praticamente o inverso dos valores vistos anteriormente para a validação da deteção das linhas, porque a cor das linhas, neste caso, é branca ao invés do caso anterior. Por isso o valor máximo do *threshold* é igual a 255 e valor mínimo variou entre 0 e 120, estabilizando-se num valor igual a 109.

Após alguns testes conseguiu-se alcançar as seguintes imagens (Figura 3.14).

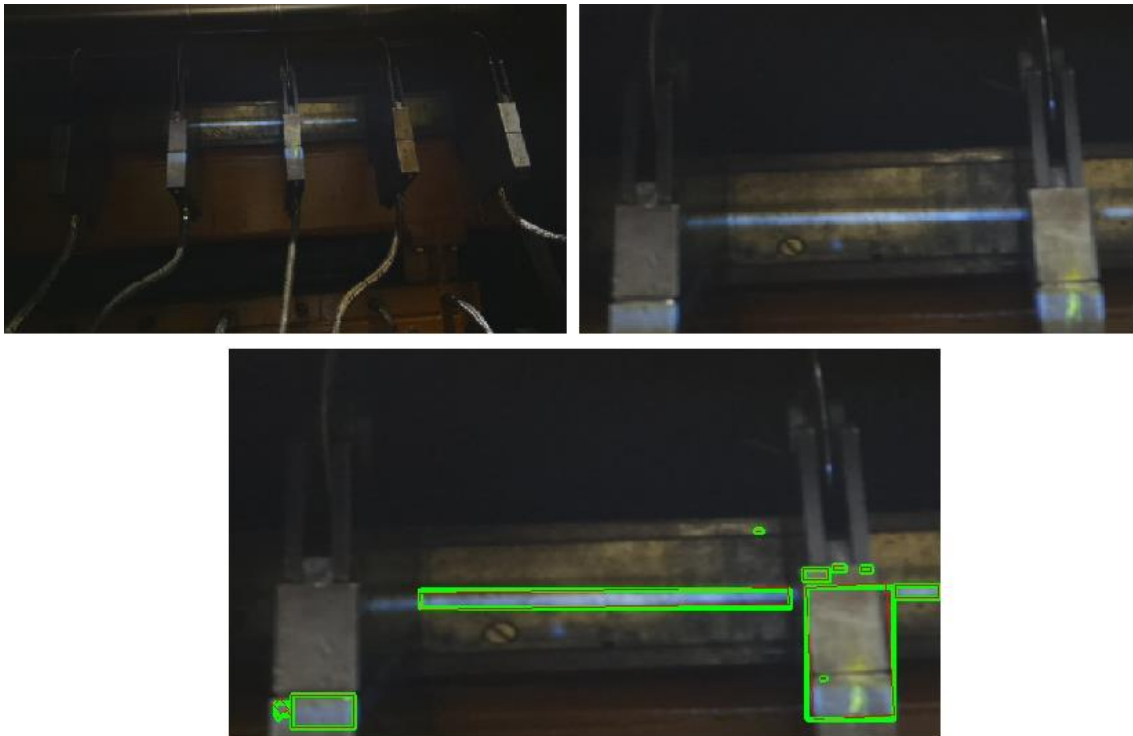


Figura 3.14 - Teste em ambiente industrial após alguns ajustes do algoritmo

Comparativamente aos primeiros testes verifica-se que a maioria dos pontos detetados, na Figura 3.13, foram eliminados, originando uma imagem de melhor qualidade para se determinar a largura entre as lâminas.

Com o sistema de visão do projeto aprovado, optou-se por se realizar outro teste com a finalidade de se verificar qual a melhor cor para a projeção das linhas. As cores seleccionadas foram o vermelho, o verde e o azul (Figuras 3.15, 3.16, 3.17). Optou-se por estas cores pois são as que representam o sistema de cores aditivas *RGB*.



Figura 3.15 - Teste do sistema com projeção a vermelho



Figura 3.16 - Teste do sistema com projeção a azul



Figura 3.17 - Teste do sistema com projeção a verde

Como se pode visualizar a projeção vermelha e a projeção verde estão pouco nítidas impossibilitando uma análise correta das linhas, contudo a cor azul poderá ser uma alternativa futura à projeção da cor branca.

Na última fase do projeto, para que fosse possível concluir-se todo sistema tendo em conta todos os objetivos propostos, foi crucial acrescentar ao algoritmo o código relativo ao cálculo da largura entre as lâminas. Para se comprovar este último ponto realizou-se apenas um teste, Figura 3.18, pois a máquina encontrava-se numa fase crítica de produção e não foi possível realizar-se todos os testes desejados com o intuito de se diminuir o erro de precisão da medição da largura.

Para a realização deste último teste colocaram-se as lâminas com uma distância de 120 mm, obtendo-se os resultados presentes na Figura 3.19. Contudo é importante referir que para se calibrar o sistema de uma forma correta e mais precisa seriam necessários realizar muitos mais testes e com diferentes valores de larguras, mas não foram possíveis pois a máquina em causa não podia parar de produzir material *Capply*.

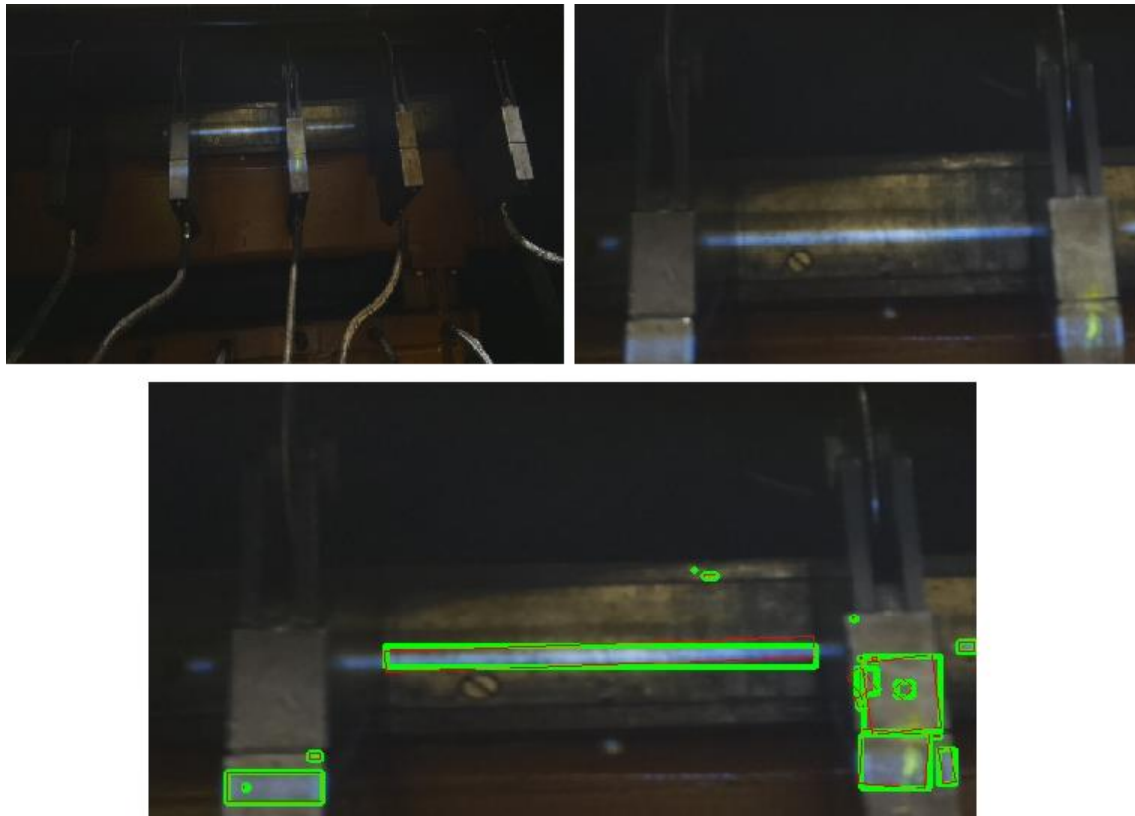


Figura 3.18 - Teste final de validação de todo o processo de aquisição e análise de imagem

```

pi@raspberrypi: ~/Continental_Mabor/Teste2
File Edit Tabs Help
pi@raspberrypi:~ $ cd Continental_Mabor
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor $ cd Teste2
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/Teste2 $ sudo python Aquisicao_Imagem_Test2.py
0 valor da distancia entre suportes em pixels e de: 330
0 valor do suporte em pixels e de: 73
0 valor da constante e de: 0.954704944179
0 valor da distancia entre suportes em mm e de:82.0000000000000000
0 valor da distancia entre laminas em mm e de:120.0000000000000000
Terminou a analise de imagem
pi@raspberrypi:~/Continental_Mabor/Teste2 $ █
    
```

Figura 3.19 - Validação da largura entre lâminas

Capítulo 4

4.1 - Conclusões

Do ponto de vista global e sob uma análise funcional o sistema desenvolvido para a projeção e validação da largura entre lâminas da máquina Máxi-Slitter 2 é constituído por:

- Interface Máquina - Raspberry Pi
- Interface Leitor RFID - Raspberry Pi
- Interface Raspberry Pi - Projetor LED
- Interface Câmara Pi - Raspberry Pi
- Armazenamento de informação através de uma Base de Dados (tipo de material a cortar, padrão de corte, posição do carrinho e largura a ser projetada)

Edificou-se, testou-se e validou-se o módulo de aquisição dos dados da etiqueta de identificação do material através de um algoritmo desenvolvido em *Python* para a inserção dos dados (tipo de material a cortar e padrão de corte) através da linha de comandos do Windows. Esta informação é armazenada numa base de dados, sendo posteriormente analisada.

Numa fase inicial, testou-se e validou-se a aquisição da posição do carrinho na calha através de radiofrequência. Este módulo de identificação e armazenamento da posição do carrinho permite saber qual a posição exata do mesmo na calha, bem como, a largura a ser projetada em cada posição.

Sobre os testes realizados à projeção das imagens constituídas pela largura entre as lâminas, conclui-se que este sistema de projeção utiliza uma técnica de comparação entre as duas tabelas que constituem a base de dados, ou seja, este compara os dados adquiridos quer pelo PC quer pelo leitor RFID com os dados inseridos previamente numa outra tabela. Os dados comparados são o tipo de material, o padrão de corte e a posição do carrinho, originando na aquisição da largura de projeção para aquela posição do carrinho. A imagem de projeção é constituída por um fundo preto e duas linhas brancas na vertical em que o espaçamento entre ambas representa a largura desejada.

Por último, testou-se e validou-se o conceito do sistema, ou seja, a verificação da largura efetiva entre lâminas através da projeção de uma imagem constituída por uma linha branca na horizontal, nas lâminas a serem analisadas. Esta análise é realizada tendo em conta a imagem adquirida pela câmara no momento em que esta linha está a incidir nas lâminas.

Com o presente projeto pode-se afirmar que é possível validar a largura entre lâminas da máquina *Máxi-Slitter 2* através de um sistema de visão de baixo custo.

Ficou demonstrado que o sistema consegue projetar umas linhas que auxiliam o posicionamento das lâminas e de seguida verificar a real distância entre as lâminas de corte.

No entanto, é importante frisar que com estes componentes de *hardware* (Câmara Pi e Projetor LED) não se conseguiu validar a precisão do sistema pretendida pela empresa, que teria de ser, no máximo, de 1mm de tolerância.

Apesar dos objetivos propostos terem sido cumpridos, o sistema deverá ser submetido a algumas alterações no futuro com vista a melhoramentos no que diz respeito à precisão do mesmo. Para a precisão pretendida é necessário um projetor com maior qualidade e maior resolução.

4.2 - Trabalho Futuro

No seguimento de todo o trabalho desenvolvido sugere-se como trabalho futuro a aquisição autónoma dos dados relativos ao material através da base de dados interna da empresa (*CBDAS*). Este procedimento evitará que o operador escreva incorretamente os dados essenciais para a análise do sistema.

Outro ponto a ter em conta será o melhoramento do erro de precisão na leitura e validação da largura entre as lâminas. Este erro pode ser minimizado melhorando a resolução tanto da câmara como do projetor. Com base nesta diminuição do erro poder-se-á acrescentar um sistema de iluminação de forma a melhorar a qualidade da imagem obtida através da câmara.

A alteração do algoritmo de deteção das lâminas pode revelar-se essencial para a precisão do sistema, em vez de se detetarem as linhas na imagem, podem-se detetar os pontos de interseção entre as mesmas, como ilustra a Figura 4.1. Neste caso a largura seria determinada tendo em conta as coordenadas dos dois pontos de interseção das linhas.



Figura 4.1 - Ilustração da interseção das linhas nos suportes das lâminas

Anexo A

Apresentação da empresa

Introdução

O ramo da indústria automóvel está em constante evolução e inovação dada a exigência cada vez maior do consumidor final. O avanço tecnológico aliado à competitividade no mercado faz com que as empresas do setor automóvel se esforcem para alcançar a liderança em relação aos concorrentes



diretos.

Figura 4.2 - Logótipo Continental [9]

O grupo Continental possui valores que são praticados diariamente como a confiança, paixão por vencer, liberdade para agir e uns pelos outros. A Continental é reconhecida como uma empresa que cria valor através de programas de melhoria contínua e de uma gestão orientada para um crescimento rentável e sustentado.

Neste capítulo é apresentada a história da Continental Mabor, assim como uma descrição geral do sistema de produção do produto final, o pneu.

Continental AG

Em outubro de 1871, em Hannover (Alemanha), foi fundado o grupo Continental AG. Inicialmente, o grupo tinha como produção principal artefactos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas.

No ano de 1898, iniciou o fabrico de pneus lisos para automóveis e desde então, distingue-se pelo crescimento da indústria automóvel através do estudo e aplicação de técnicas, produtos e equipamentos com o intuito da melhoria de pneumáticos.

Esta evolução permanente por parte da empresa no ramo automóvel permite, nos dias de hoje, que a Continental seja especialista na produção de sistemas de travagem, controlos dinâmicos para viaturas, tecnologias de transmissão de potência, sistemas eletrónicos e sensores.

O Grupo Continental, neste momento, conta com 170 000 colaboradores distribuídos pelos 5 continentes, em 46 países.

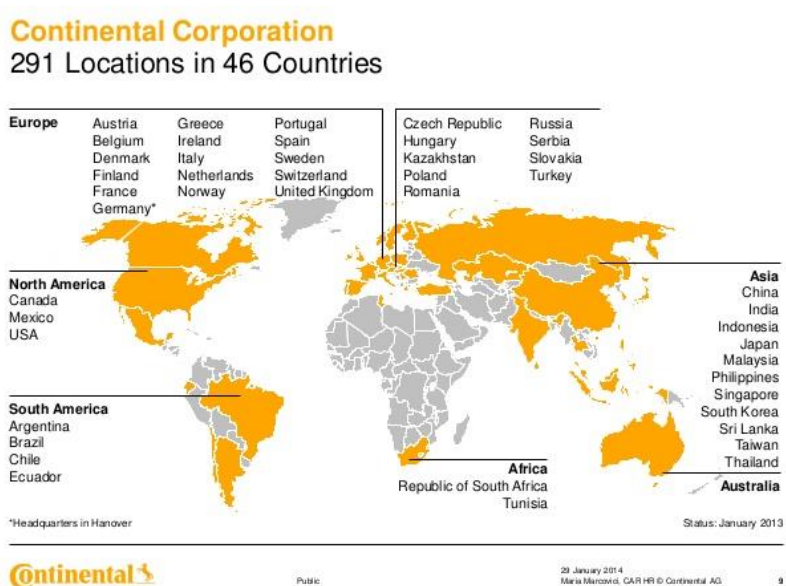


Figura 4.3 - Países em que está presente [11]

A Continental é constituída por 6 divisões: Chassis e Segurança, “Powertrain”, Interior, Pneus para Viaturas de Passageiros e Comerciais Ligeiras, Pneus Pesados e ContiTech.

Continental Mabor

A dezembro de 1989, nasceu a Continental Mabor, empresa ligada à indústria de pneus. O nome resulta da união de duas empresas de renome, a Mabor - Manufatura de Borracha, S.A., considerada a primeira fábrica de pneumáticos em Portugal, e a Continental AG de dimensão mundial. [9]



Figura 4.4 - Antiga Continental Mabor [9]

No início dos anos 90, iniciou-se o grande programa de reestruturação que transformou as instalações antigas da Mabor na mais moderna das 21 unidades da Continental. Inicialmente produzia-se apenas pneus da marca Mabor, hoje em dia a gama da empresa é variada quer em medidas, em tipos e em marcas.

Entre o ano de 1990 e 1996, a produção quadruplicou, passando de uma produção média diária de 5.000 pneus/dia para 21.000 pneus/dia. Hoje em dia, a Continental Mabor produz em média cerca de 56.000 pneus/dia, tornando-se assim uma das fábricas da Continental com melhores índices de produtividade. Nos últimos quatro anos, a Continental Mabor ganhou o “Quality Award”, prémio que distingue a melhor empresa no seio do grupo.

A Continental Mabor é a maior e mais lucrativa empresa entre as 5 que o grupo tem implementado em Portugal. É de se referir que mais de 98% da produção destina-se à exportação, nomeadamente para o “mercado de substituição” e para as linhas de montagem dos mais prestigiados construtores da indústria automóvel.



Figura 4.5 - Novas instalações da Continental Mabor [9]

Estrutura Organizacional da Continental Mabor

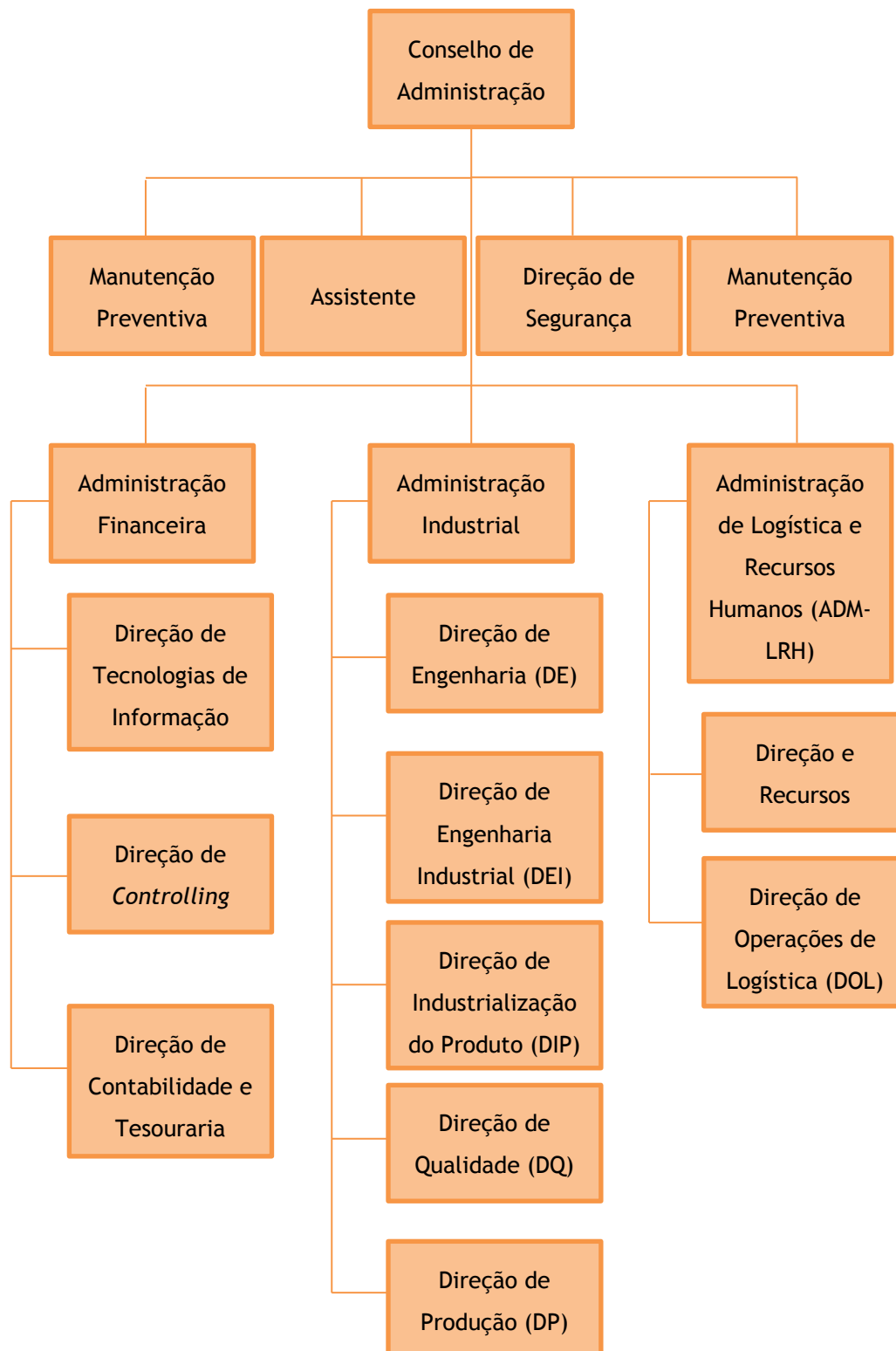


Figura 4.6 - Estrutura da Continental Mabor

Visão e Missão

A visão da Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A (CMIP) é ser Líder.

Esta responsabilidade passa por tornar a empresa eficiente, inovadora, passando também por uma crescente procura na antecipação das necessidades dos clientes, desenvolvendo assim produtos de alta tecnologia. Uma vez que oferece as melhores soluções a cada cliente em cada mercado, sendo esta excelente no conhecimento e nos processos, a Continental é reconhecida como uma empresa que cria valor.

A missão da Continental tem como principais pilares:

- Crescer e criar valor tornando-se assim rentável de forma sustentável, trabalhando Uns Pelos Outros;
- Ganhar a Confiança do cliente, apresentando sempre produtos de tecnologia avançada;
- Ser reconhecida pela eficiência, qualidade, flexibilidade, inovação e Paixão Por Vencer;
- Promover a excelência de colaboradores qualificados, motivados e com Liberdade Para Agir. [9]

Constituição do Pneu

O Continental Mabor tem como produto final o pneu onde este varia em diversas características, tais como medidas e marca, tendo em conta o mercado alvo. No que diz respeito às medidas, a Continental Mabor produz pneus desde jante 14 até 21. Para além da sua marca própria, marca Continental, a empresa apresenta pneus de outras marcas como a Mabor, a Barum, a Uniroyal, entre outras.

O pneu é composto por diversos elementos que variam em conformidade com o produto final desejado.

O pneu é composto por nove elementos: o piso, a cinta têxtil e metálica, a tela têxtil, a camada, a parede, a cunha de talão, o núcleo do talão e o reforço do talão.

O piso é a parte do pneu que entra em contacto com o solo e tem como função fornecer aderência, resistência ao desgaste e estabilidade direcional.

A cinta têxtil e metálica contém fios (têxteis e metálicos, respetivamente) impregnados em borracha. Enquanto a cinta têxtil promove a adaptabilidade para altas velocidades e precisão de fabrico, a cinta metálica tem como função reter a forma e estabilidade direcional, reduzir a resistência ao rolamento e aumentar a longevidade do pneu.

A tela têxtil é responsável por fornecer consistência ao pneu e mantê-lo sob elevadas pressões internas.

A camada de estanque funciona como câmara-de-ar nos pneus que tem como função reter o ar dentro do pneu.

No que diz respeito à parede, este componente protege a carcaça contra choques laterais e contra a degradação atmosférica.

A parede fornece uma área de borracha grossa na qual será realizada a identificação e gravação do pneu.

A cunha de talão e o reforço de talão fornecem estabilidade direcional, precisão na condução e melhora o conforto.

Por último, o núcleo do talão assegura que o talão assenta com firmeza na jante.

Processo de Fabrico do Pneu - 5 fases

Na Continental Mabor existem três etapas que constituem o processo de fabrico do pneu. A primeira etapa diz respeito à receção das matérias-primas essenciais ao processo de fabrico do produto, a segunda corresponde ao processo de produção do pneu e por último, a etapa do processo de armazenamento e expedição do produto acabado. As matérias-primas estão arrecadadas em dois armazéns existentes para o efeito e o produto acabado está armazenado num outro armazém. No que diz respeito ao processo de fabrico do pneu, este encontra-se dividido em cinco fases essenciais, asseguradas por cinco departamentos de produção. A Figura 4.7 apresenta as principais fases do processo produtivo do pneu assim como, os departamentos correspondentes a cada fase.



Figura 4.7 - Departamentos de Produção da Continental Mabor

Departamento I - Misturação

Neste departamento inicia-se o processo produtivo, é aqui que são misturadas as matérias-primas (borracha, pigmentos, óleo mineral, sílica, negro de fumo entre outros) para que, após a passagem pelos “masters” (misturadoras para produção de borracha intermédia) e “finais” (misturadoras para produção de borracha final), a borracha possa avançar para a fase seguinte.

Departamento II - Preparação

É responsável pela produção de todos os componentes que compõem o pneu. Este departamento é subdividido em DP II Quente (Preparação a Quente) e em DP II Frio (Preparação a Frio), sendo o primeiro responsável pela produção dos pisos, das paredes e dos talões enquanto o segundo produz o espiral, a tela metálica, a tela têxtil e a camada. As extrusoras, as calandras e as máquinas de corte (*Fishers* e *Slitters*) são responsáveis pela preparação destes materiais que em seguida são armazenados em diferentes tipos de carros e posteriormente serão encaminhados para a área de construção.

Departamento III - Construção

Nesta fase da produção realiza-se a montagem de todos os componentes produzidos nos departamentos anteriores. Existem 46 módulos de construção, onde cada módulo está dividido em duas máquinas: a KM e a PU. A KM constrói a carcaça do pneu e a PU incorpora à carcaça a tela metálica, a tela têxtil e o piso, resultando o chamado “pneu verde” ou “pneu em cru”.



Figura 4.8 - Construção [9]

Departamento IV - Vulcanização

Após o processo de construção, alguns “pneu verde” são transportados para as cabines de pintura para levarem com um banho interior, onde o principal objetivo é que o pneu não adira ao diafragma da prensa, máquina que realiza a vulcanização, na sua remoção. De seguida, os pneus são armazenados em carros e levados para as prensas, onde decorrerá o processo de vulcanização dos pneus.

É nesta fase que o pneu é submetido a altas temperaturas nas prensas, onde os moldes dão o aspeto final pretendido do pneu.

Este departamento é constituído por 246 prensas, cada uma com duas concavidades, o que permite vulcanizar 492 pneus em simultâneo.



Figura 4.9 - Vulcanização [9]

Departamento V - Inspeção Final

Aqui dá-se a última etapa do processo produtivo. Os pneus chegam a este departamento através de transportadores automáticos e de seguida, são realizadas todo o tipo de verificações e testes necessários para se garantir que o pneu tem a qualidade exigida e que são cumpridos todos os requisitos do pneu. Esta tarefa é executada por colaboradores devidamente formados e instruídos, assegurando deste modo toda a qualidade do processo de produção.

No final, os pneus que cumprem os requisitos seguem para o armazém de produto acabado para posteriormente ser comercializado. Este transporte efetua-se em paletes metálicas assegurando que o produto não sofre qualquer mancha.



Figura 4.10 - Inspeção Final [9]

Anexo B

Análise de Custos

A análise de custos deste projeto tem o objetivo de estimar o valor dos custos reais associados a um projeto hipoteticamente idêntico a este.

Esta análise é bastante importante e deve ser rigorosa para que não se verifiquem grandes diferenças entre o que era previsto e o que se realizou. É também bastante útil este planeamento orçamental para eventual controlo da execução do projeto pelo controlo de execução orçamental. A equipa não adotou esse mecanismo pois o controlo da execução do projeto foi feita pelo agendamento de tarefas e pela gestão do tempo disponibilizado, contudo elaborou-se um orçamento dos consumíveis necessários para que se encomendasse o material necessário atempadamente e aqui apresenta-se também um orçamento total do projeto.

O orçamento deve ter em consideração os seguintes pontos:

- Recursos humanos e planeamento temporal
- Consumíveis
- Deslocações
- Serviços Externos
- Bens de Investimento
- Outras despesas

Recursos humanos e planeamento temporal

Os custos associados aos recursos humanos dependem do custo por hora de cada Engenheiro bem como o seu número de horas de trabalho.

- 4 Eng. Consultor Sénior: $4M \times 4P \times 3000\text{€} = 48000\text{€}$
- 1 Eng. Júnior: $4M \times 1P \times 1500\text{€} = 6000\text{€}$

Consumíveis

Os custos associados aos consumíveis estão presentes na Tabela 4.1 **Error! Reference source not found.** A encomenda do material necessário para o projeto foi listada pela equipa e entregue aos órgãos competentes da FEUP para que contactassem os fornecedores. Alguns componentes não têm um custo associado pois foram utilizados os que estavam disponíveis no laboratório de Robótica da FEUP tais como a calha *Igus* e o projetor *LED*. Em relação ao microcontrolador *Raspberry Pi*, à Camara *Pi V2* e ao Leitor *RFID MFRC522* foi encomendado uma unidade de cada. Os suportes da calha bem como o sistema de fixação do carrinho foram produzidos por uma empresa parceira da Continental Mabor, a Moldamirco. O suporte para o projetor e para a camara foram desenvolvidos com a parceria do INESC.

Tabela 4.1 - Listagem de material adquirido

Componente	Quantidade	Preço por unidade	Preço total
Fios Jumper	10	0.36€	3.60€
Cartão Micro SD 16Gb	1	8.16€	8.16€
Adaptador VGA/DVI	1	9.99€	9.99€
Adaptador DVI-D/HDMI	1	9.99€	9.99€
Cabo HDMI/HDMI	1	Disponível no laboratório da FEUP	0€
Cabo Ethernet	1	Disponível no laboratório da FEUP	0€
Calha IGUS 1500mm	1	Disponível no laboratório da FEUP	0€
<i>Raspberry Pi 3 model B</i>	1	Disponível no laboratório da FEUP	0€
Projetor LED	1	Disponível no laboratório da FEUP	0€
Camara Pi V2	1	Disponível no laboratório da FEUP	0€
Leitor RFID MFRC522	1	Disponível no laboratório da FEUP	0€
Total			31.74€

Deslocações

Normalmente, neste campo consideram-se as deslocações ao local onde se aplicará o produto assim como todas as despesas associadas à viagem tais como refeições, estadia e combustível, deslocações para divulgação do produto, despesas de inscrição em conferências ou outras necessárias para o desenvolvimento do projeto. Neste orçamento apenas será contabilizada a bolsa relativa às deslocações para a Continental Mabor, tendo sido esta garantida pela própria empresa. O projeto foi desenvolvido na FEUP e na Continental Mabor. Pelo que, a aplicação do produto no local não acarreta quaisquer despesas.

- 1 Meio de Transporte: 6M x 1MT x 150€ = 900€

Serviços Externos

Dos serviços externos fazem parte os suportes para a calha, o sistema de fixação do carrinho e o suporte para o projetor e para a câmara. Estas peças foram desenvolvidas para agregarem os componentes integrantes do sistema de visão do projeto.

Tabela 4.2 - Listagem de peças adquiridas.

Componente	Quantidade	Preço por unidade	Preço total
Suportes Calha <i>IGUS</i> - Moldamirco	2	170€	240€
Sistema Fixação Carrinho - Moldamirco	1	100€	100€
Suporte Projetor e Camara - <i>INESC</i>	1	Desenvolvido no laboratório da FEUP	0€
Total			340€

Bens de Investimento

Os bens de investimento incluem o eventual uso de computadores, máquinas, despesas associadas ao funcionamento do edifício onde é desenvolvido o projeto e licenças de *software*. Neste caso, o projeto foi desenvolvido utilizando os computadores e equipamentos presentes no laboratório, na FEUP, os computadores e máquinas de impressão, na Continental Mabor ou os computadores pessoais utilizados em ambas as entidades, pelo que se considerou um custo que equivale a 20% do custo do projeto. No que respeita às licenças de *software*,

não são contabilizados quaisquer custos pois algumas são gratuitas para os alunos da FEUP e outras são *open source*.

- 20% de 54.371,74€ = 11054.35€

Outras despesas

Estas despesas correspondem a uma margem de manobra, alheia ao cliente, que garante a cobertura de despesas imprevistas sem necessidade de ultrapassar o valor do orçamentado. Normalmente é considerado 10% do custo do projeto.

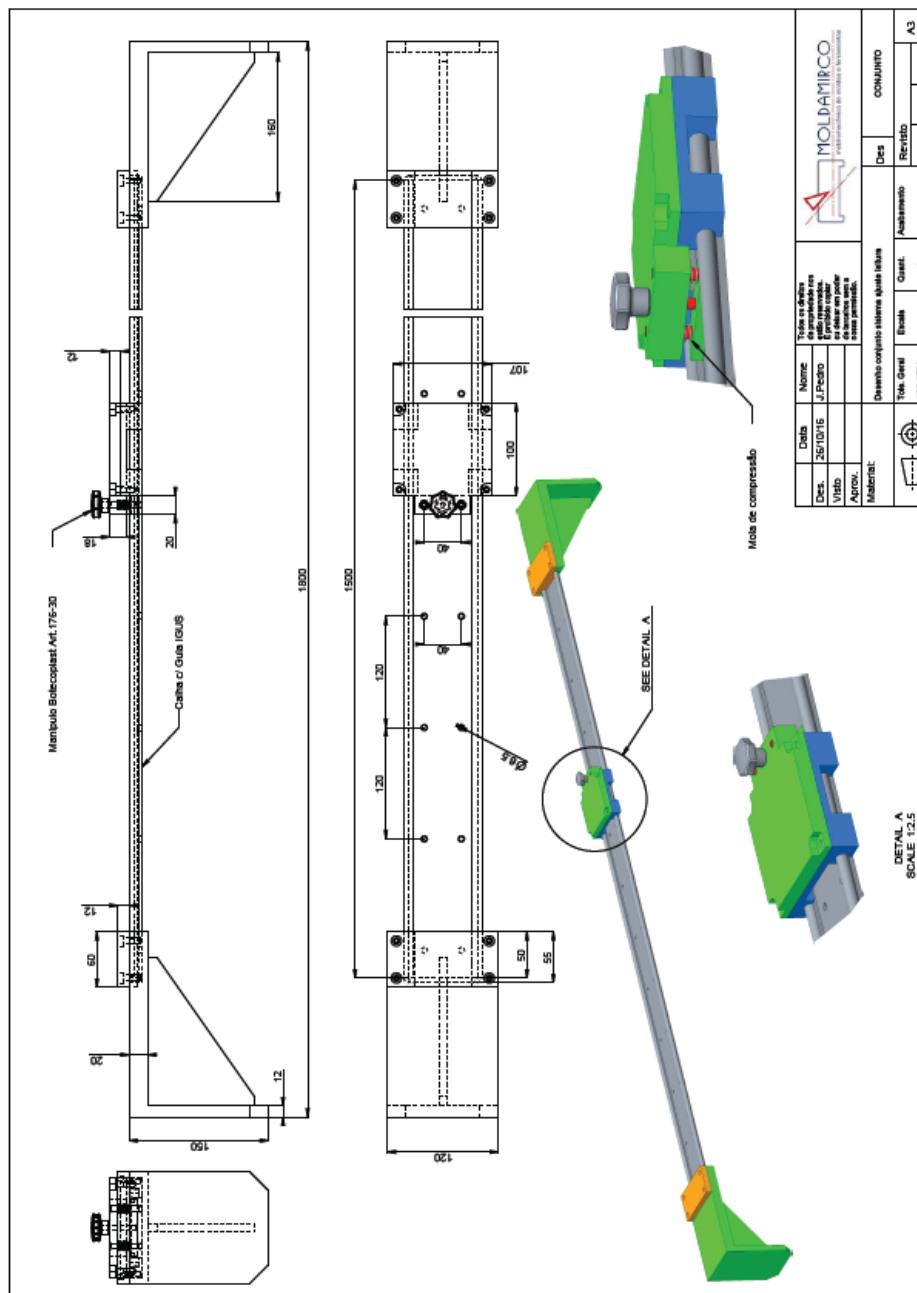
- 10% de 65.246,088€ = 6632.61€

Custo total

Estimou-se então um custo total de 72958.70€

Anexo C

Maquete



Referências

- [1] Oliveira, Fábio A.R. “Análise e Desenvolvimento de um Sistema de Informação de Gestão de Produtos Intermédios”, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Major Automação, Universidade do Porto, Porto: FEUP, 2003.
- [2] Poling, Bryan. "A Tutorial On Camera Models."
- [3] Frank, Barbara, et al. "Robotics 2 Camera Calibration."
- [4] Bimber, Oliver, and Ramesh Raskar. *Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds*. CRC press, 2005.
- [5] Markelic, Irene. "Tutorial on Homographies." *Markelic. De*: 1-11.
- [6] Hartley, Richard, and Andrew Zisserman. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge university press, 2003.
- [7] Costa, Hugo J.M. “Sistema *Projection mapping* Adequado a Robótica Móvel e Cenas Complexas”, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto: FEUP, 2015.
- [8] *Projection mapping*. Disponível em <http://projection-mapping.org/software/>. Acesso em 7/Junho/2016.
- [9] Continental - *Continental Mabor*. Disponível em Intranet da Continental Mabor (acessível apenas para os colaboradores da empresa). Acesso em 18/Maio/2016.
- [10] Goodrich, Michael A., and Alan C. Schultz. "Human-robot interaction: a survey." *Foundations and trends in human-computer interaction* 1.3 (2007): 203-275.
- [11] *Continental Automotive Student Presentation*. Disponível em <http://goo.gl/Qyw92t>. Acesso em 15/Junho/2016.
- [12] Rei, Jorge - “*RFID Versus Código de Barras da Produção à Grande Distribuição*”, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Major Telecomunicações, Universidade do Porto, Porto: FEUP, 2010.
- [13] *Guidelines for Securing Radio Frequency Identification (RFID) Systems*. Disponível em <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-98.pdf>. Acesso em 22/Outubro/2016

- [14] Neiva, Jorge P. B. - “Localização e Orientação “Indoor” com Recurso à Tecnologia *RFID*”, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores - Major Automação, Universidade do Porto, Porto: FEUP, 2012.
- [15] SEQUEIRA, Ricardo C. F. S. - “Automatismo no Processo de Identificação do Produto: *RFID* vs Código de Barras”. Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto: FEUP, 2010.
- [16] *Active RFID vs Passive RFID*. Disponível em <http://www.atlasRFID.com/jovix-education/auto-id-basics/active-RFID-vs-passive-RFID/>. Acesso em 24/Outubro/2016.
- [17] *RFID vs Barcode*. Disponível em <http://www.atlasRFID.com/jovix-education/auto-id-basics/RFID-vs-barcode/>. Acesso em 24/Outubro/2016.
- [18] *MFRC522*. Disponível em <https://goo.gl/uuoXl0>. Acesso em 24/Outubro/2016.
- [19] *Linear Motion Technology Handbook*. Disponível em <https://goo.gl/Vg075b>. Acesso em 15/Setembro/2016.
- [20] *NXP Semiconductors*. Introduction to using I2C. Disponível em <https://goo.gl/zi9vZl>. Acesso em 12/Dezembro/2016.
- [21] Embedded Systems Academy. I2C (Inter-Integrated Circuit) Bus Technical Overview. Disponível em <https://goo.gl/FuDKXU>. Acesso em 12/Dezembro/2016.
- [22] *NXP Semiconductors*. I2C-bus specification and user manual, June 2007. Version 3.0. Disponível em <https://goo.gl/t99tny>. Acesso em 14/Dezembro/2016.
- [23] *Philips Semiconductors*. *I2C bus specification, version 2.1, 2000*. Disponível em <https://goo.gl/vfFxHv>. Acesso em 12/Dezembro/2016.
- [24] *Planet Analog*. *The I2C Bus*, 2010. Disponível em <https://goo.gl/qi3sf0>. Acesso em 17/Dezembro/2016.
- [25] Gama, Rafael. “*Estudo e Desenvolvimento da Eletrônica de Comunicação e Controle no Projeto Neutrinos Angra*”. Disponível em <http://slideplayer.com.br/slide/52674/>. Acesso em 5/Janeiro/2017.
- [26] *Serial Peripheral Interface Bus*. Disponível em <https://goo.gl/drHPGs>. Acesso em 5/Janeiro/2017.
- [27] *Projeção em Foco*. Disponível em <https://goo.gl/uoRoYN>. Acesso em 12/Janeiro/2017.
- [28] Caetano, Miguel José Chaves - “*I²C Verification Suite*”, Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Universidade do Porto, Porto: FEUP, 2010.
- [29] *Beckhoff*. “*New Automation Technology 2017*” - “*Industrial PC, PC Control for all applications*”. Disponível em <https://goo.gl/qkx9Jt>. Acesso em 12/Janeiro/2017.
- [30] *MIFARE*. “*The leading brand of contactless IC products*”. Disponível em <https://www.mifare.net/en/>. Acesso em 6/Janeiro/2017.

