

Análise comparativa de tecnologias de baixo custo para reconhecimento de padrões em sistemas automáticos

Carlos Alberto Gonçalves de Sousa

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos exigidos para a obtenção de grau de mestre no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, opção de Automação

Orientador: Prof. Dr. António José Pessoa de Magalhães

31 de Julho de 2011



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Opção de Automação

Resumo

A automatização das indústrias surgiu naturalmente com o aumento da competitividade dos mercados. O desenvolvimento de mecanismos que substituem o Homem em tarefas perigosas ou monótonas e que permitem o aumento da produtividade e qualidade, leva a que a automação alcance cada vez mais relevância no ambiente industrial. É neste contexto que surge a evolução de sistemas de reconhecimento de padrões com o intuito de controlar e monitorizar processos industriais.

Este projecto surge em continuação de um outro, conduzido no ano 2009/2010, onde foi avaliado experimentalmente um sistema de reconhecimento de padrões baseado num conjunto de sensores ópticos por reflexão difusa. Pretende-se com este trabalho, comparar as potencialidades do sistema de inspecção analisado na dissertação anterior, com um novo sistema de reconhecimento de padrões de baixo custo, onde a sensorização é efectuada por uma cortina de luz e o controlo é executado por um controlador lógico programável.

Este trabalho começa por fazer uma breve descrição de alguns dos sistemas de inspecção de baixo custo existentes no mercado e, em particular, do sistema utilizado, seguindo-se um levantamento de possíveis aplicações industriais onde este possa ser implementado. De seguida, são apresentadas diferentes abordagens empregadas no reconhecimento de padrões e as metodologias utilizadas na aquisição e tratamento de dados, tendo em conta os requisitos das aplicações. Posteriormente, são especificados os modelos de hardware e software pretendidos e os procedimentos utilizados para a sua implementação. Por último, procede-se à investigação experimental, onde são realizados alguns testes com o intuito de comparar os resultados obtidos com os da dissertação anterior e avaliar as capacidades do novo sistema utilizado.

Os resultados obtidos com este sistema foram muito positivos, provando que possui mais potencialidades que o utilizado na dissertação anterior e podendo inclusive, rivalizar com os sistemas de visão em algumas aplicações.

Abstract

The automation of industries rose naturally with the growth of competition in the market. The development of mechanisms that replace men in dangerous or monotonous tasks, and that boost productivity and quality, makes automation increasingly more relevant in industry. As a result, pattern recognizing systems emerged with the aim of controlling and monitoring industrial processes.

This project appeared following another one, carried out in 2009/2010, where a pattern recognizing system based on a group of optic sensors by diffuse reflection was evaluated in a trial. The purpose of this project is to compare the potential of the inspection system analysed in the previous dissertation, with a new and low-priced pattern recognizing system, where the sensing is made by a light curtain and the control is exerted by a programmable logic controller.

This project begins with a brief description of some of the low-priced systems of inspection that exist in the market and, in particular, of the used system, followed by a survey of the possible industrial applications where it may be implemented. Furthermore, different approaches in the recognition of patterns will be presented as well as the methodologies used in the acquisition and treatment of data, taking into account the requirements of the problem. Subsequently, the intended models of hardware and software will be specified in addition to the procedures used in order to obtain them. Finally, follows the experimental investigation, implementing the developed way of programming and presenting some tests with the goal of comparing with the results obtained in the previous dissertation and evaluating the capacities of the new utilised system.

The results obtained with this system were very encouraging, proving that it detains more potential than the one used in the previous dissertation and that it may even rival the vision systems in some of its usages.

Agradecimentos

Esta tese certamente não é resultado apenas de um esforço individual, mas é resultado de uma ampla rede de colaboração e apoio. Mesmo sabendo que não será possível nomear aqui todas, gostaria de mencionar e agradecer algumas pessoas que colaboraram com este trabalho.

Os meus sinceros agradecimentos,

Ao meu orientador, Professor António Pessoa de Magalhães, pela sua motivação, apoio e pela sua constante disponibilidade que prestou nas frequentes reuniões de auxílio à elaboração desta dissertação.

Ao Professor Francisco Freitas, pelo seu acompanhamento ao longo de todo este processo e entusiasmo no seu desenvolvimento.

Ao engenheiro Carlos Moreira da Silva, engenheiro Jorge Matos Reis e ao Sr. Joaquim Silva, pelo tempo despendido, disponibilidade e simpatia.

Aos meus amigos (com especial destaque para a Carla Andrade, João Tinoco, Carlos Pinto e Natália Noronha), que me apoiaram de forma incondicional, durante todo o desenvolvimento da dissertação.

Ao meu pai José de Sousa, à minha mãe Maria Pestana e à minha irmã Susana de Sousa, por todo o apoio demonstrado, não só durante esta dissertação, mas também durante toda a minha vida.

Por último, agradeço a Deus por todas as alegrias, pela saúde e pela força que me concedeu, para que conseguisse chegar até aqui.

Índice de Conteúdos

Resumo	iii
Abstract	v
Agradecimentos	vii
1. Introdução	1
1.1 Contexto	1
1.2 Objectivos	6
1.3 Organização da tese	7
2. Definição do problema	9
2.1 Origens e exposição do problema	9
2.2 Estado da arte	12
2.2.1 Sistemas de visão	14
2.2.2 Sensores laser	16
2.2.3 Cortinas de luz por LEDs	19
2.2.4 Conjunto de sensores ópticos do tipo difuso	24
2.3 Linhas de investigação	25
3. Especificação da plataforma experimental	31
3.1 Requisitos da solução	31
3.1.1 Requisitos do controlador	32
3.1.2 Requisitos da Interface Humano-Máquina (HMI)	33
3.1.3 Requisitos da mesa de testes	34
3.1.4 Requisitos da programação	34
3.2 Arquitectura da solução	35
3.2.1 Modelo de Hardware	36
3.2.1.1 Cortina de luz	38
3.2.1.2 PLC	41
3.2.1.3 HMI	43
3.2.2 Modelo de Software	45
3.2.2.1 Software do PLC	46
3.2.2.2 Software da HMI	51
3.2.3 Aspectos mecânicos da mesa de testes	53

4. Desenvolvimento da plataforma experimental	55
4.1 Linguagem de programação.....	55
4.2 Funções JUMP	56
4.3 Programação desenvolvida	57
4.3.1 Aspectos da programação do PLC.....	58
4.3.1.1 Aquisição de dados.....	59
4.3.1.2 Tratamento de dados.....	62
4.3.1.3 Scroll.....	66
4.3.2 Aspectos da programação da HMI	67
4.4 Construção da mesa de testes.....	72
5. Investigação Experimental	75
5.1 Comparação com sensores ópticos difusos	77
5.1.1 Caso 1 - Identificação da altura de objectos com forma quadrangular.	78
5.1.2 Caso 2 - Identificação de furo de um objecto com forma quadrangular.	80
5.1.3 Caso 3 - Identificação de corte ou saliência na aresta de um objecto.	82
5.1.4 Caso 4 - Identificação de furo na aresta de um triângulo	84
5.1.5 Caso 5 - Identificação da posição de triângulo.....	86
5.2 Teste às capacidades da cortina de luz.....	87
5.2.1 Caso 6 - Identificação de posição de furos	88
5.2.2 Caso 7 - Identificação do diâmetro de um furo.	90
5.2.3 Caso 8 – Identificação de líquidos.....	93
5.2.4 Caso 9 – Peças complexas	95
6. Conclusão	99
6.1 Trabalhos futuros	102
6.2 Balanço Pessoal.....	103
Referências bibliográficas	105
ANEXO A: Plataforma de testes	109

Índice de Figuras

Fig.1.1 - Aplicação de sistemas informatizados e automatizados nos sistemas de produção.	3
Fig.1.2 - Elementos de um sistema automático.....	3
Fig.1.3 - Exemplos de métodos de inspecção não destrutivos não ópticos (em cima) e ópticos (em baixo).	5
Fig.2.1 - Conjunto de sensores ópticos difuso reflectores, equipado na esteira transportadora utilizada.	10
Fig.2.2 - Cortina de luz equipada na esteira transportadora utilizada.	11
Fig.2.3 - Modelo simples de instrumentação.	13
Fig.2.4 - Exemplo de aquisição de imagem e matriz CCD.	14
Fig.2.5 - Representação matricial de uma região da imagem.	15
Fig.2.6 - Imagem de garrafas de plástico obtidas por um sistema multiespectral que permite diferenciar a sua composição química.....	16
Fig.2.7 - Representação do funcionamento de um sensor laser	17
Fig.2.8 - Ilustração de um sistema laser baseado no princípio de triangulação óptica. .	18
Fig.2.9 - Solução para reconhecimento de um código de barras utilizando um sensor laser.....	18
Fig.2.10 - Comparação entre o LED visível e invisível relativamente à sua eficiência. 20	
Fig.2.11 - Funções de um transmissor e receptor de luz de um sensor óptico simples.. 20	
Fig.2.12 - Avaliação do diâmetro de uma tubagem (lado esquerdo) e avaliação de volumes de caixas (lado direito).....	22
Fig.2.13 - Reconhecimento de furos em chapas (lado esquerdo) e inspecção de nível de enchimento em garrafas (lado direito).....	22
Fig.2.14 - Triagem de objectos caídos (lado esquerdo) e inspecção a uma palete (lado direito).	23
Fig.2.15 - Cálculo de dimensões de automóvel para estacionamento (esquerda) e verificação de folga em correias (direita).	24
Fig.2.16 - Conjunto de seis sensores ópticos de tipo difuso estudados no projecto anterior.....	25
Fig.2.17 - Reconhecimento de padrões na indústria.	26

Fig.2.18 - Fases existentes na classificação de um sistema.....	27
Fig.2.19 - Distinção em classes após análise de amostragens para um caso geral.....	28
Fig.3.1 - Constituintes utilizados no decorrer da dissertação.....	36
Fig.3.2 - Ligações entre o computador, PLC, HMI e cortina de luz.	38
Fig.3.3 - Disposição de cada feixe de luz pelo número de bytes existentes.....	40
Fig.3.4 - Representação esquemática do modelo digital com resposta a comando.....	41
Fig.3.5 - Ambiente de trabalho do programa CX-Programmer.	43
Fig.3.6 - Protocolo utilizado no sistema de inspecção.	45
Fig.3.7 - Modelo geral do software do PLC.....	46
Fig.3.8 - Aquisição de dados de um objecto por Time Trigger (esquerda) e Event Trigger (direita).	47
Fig.3.9 - Selecção e extracção da característica.	49
Fig.3.10 - Critérios de avaliação para um objecto com furo.	49
Fig.3.11 - Modelo do software utilizado na HMI.....	51
Fig.3.12 - Esteira transportadora para estudo sobre reconhecimento de padrões.	53
Fig.4.1 - Exemplo de varrimento de um programa em diagrama de escada.	56
Fig.4.2 - Interferência da função JUMP no tempo de ciclo.	57
Fig.4.3 - Modelo funcional do PLC e variáveis definidas através da HMI.....	58
Fig.4.4 - Grafcet da aquisição de dados.	59
Fig.4.5 - Apresentação de dados na leitura de objectos.	60
Fig.4.6 - Armazenamento de dados com ΔT definido (Período).	61
Fig.4.7 - GRAFCET do tratamento de dados.....	62
Fig.4.8 - Selecção e extracção de uma característica.	63
Fig.4.9 - Função RLNL e Carry Flag (CY).....	65
Fig.4.10 - Exemplo de leitura de parte dos dados guardados.....	66
Fig.4.11 - Gráfico funcional da programação na HMI (Parte 1).....	68
Fig.4.12 - Gráfico funcional da programação na HMI (Parte 2).....	69
Fig.4.13 - Telas utilizadas na HMI: a) Apresentação; b) Menu de sistemas; c) Menu de selecção de leitura.....	70
Fig.4.14 - Telas utilizadas na HMI: a) Configurações; b) Menu de selecção de tipo de teste; c) Testes pré-configurados; d) Resultado de leituras.	71
Fig.4.15 - Telas utilizadas na HMI: a) Selecção de máscara; b) e c) Selecção de coordenadas da máscara; d) Selecção de limites para critérios de validação; e) Teste aos critérios de validação.	72

Fig.5.1 - Alguns dos objectos utilizados para a realização de testes.....	76
Fig.5.2 - Exemplo de teste realizado na dissertação anterior, sobre um conjunto de sensores ópticos do tipo difuso, para um objecto triangular.....	77
Fig.5.3 - Comparação entre exemplos de leituras realizadas para as peças A, B e C.	78
Fig.5.4 - Diferenças entre objectos com diferentes alturas..	78
Fig.5.5 - Exemplo de uma amostra de um objecto com furo, utilizando a máscara e contagem das respectivas transições.....	81
Fig.5.6 - Diferenças entre objectos com furo e objectos sem furo.....	81
Fig.5.7 - Comparação entre exemplos de leituras realizadas para as peças A, B e C e respectivas máscaras.....	83
Fig.5.8 - Diferenças entre objectos com diferentes arestas.	83
Fig.5.9 - Comparação entre exemplos de leituras realizadas para triângulos com e sem furo, com respectiva máscara.	85
Fig.5.10 - Diferenças entre triângulos com diferentes hipotenusas.	85
Fig.5.11 - Métodos utilizados na identificação de posições de um triângulo.	87
Fig.5.12 - Dimensões das três peças analisadas.	88
Fig.5.13 - Comparação entre os três furos sujeitos a análise.	89
Fig.5.14 - Percentagem de bits a “1” em cada ponto da zona mascarada.	90
Fig.5.15 - Comparação dos dois tipos de furo sujeitos a análise.	91
Fig.5.16 - Percentagem de bits a “1” em cada ponto da zona mascarada.	92
Fig.5.17 - Líquidos utilizados para o estudo (em cima) e exemplo de imagem adquirida pelo sensor para cada um deles (em baixo).	94
Fig.5.18 - Recipiente utilizado para estudo (lado esquerdo) e exemplo de imagem adquirida pelo sensor (lado direito).	95
Fig.5.19 - Objecto criado com cinco características distintas.	96
Fig.5.20 - Representação das máscaras criadas sobre a peça.	96

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Exemplos de entradas e saídas para problemas de reconhecimento de padrões.	13
Tabela 2 - Comparação entre díodos laser e LEDs.	19
Tabela 3 - Algumas especificações da cortina de luz F3EM-005-150-D2.....	39
Tabela 4 - Exemplo de imposição de limites num determinado objecto.....	50
Tabela 5 - Exemplo de leitura de dois objectos, classificados segundo três critérios... ..	51
Tabela 6 - Limites para o reconhecimento de peças com diferentes dimensões.	80
Tabela 7 - Máscara para identificação de furo.....	80
Tabela 8 - Limites para o reconhecimento das peças com e sem furo.	82
Tabela 9 - Máscara para reconhecimento de reentrância e saliência.....	82
Tabela 10 - Limites para o reconhecimento de peças com diferentes arestas.	84
Tabela 11 - Máscara utilizada no reconhecimento de furo na hipotenusa do triângulo. 84	
Tabela 12 - Limites de triângulos com diferentes hipotenusas.....	86
Tabela 13 - Máscara e limites utilizados para o reconhecimento de furos com diâmetros diferentes.	91

1. Introdução

Neste capítulo é feita a contextualização do assunto abordado nesta dissertação. São referidos os problemas e os objectivos do projecto. Conclui-se o capítulo com a apresentação da organização do presente documento.

1.1 Contexto

Desde os primeiros sinais de inteligência no Homem, que este objectivou desenvolver mecanismos que reduzissem o seu esforço físico. A invenção da roda ou dos moinhos movidos por vento são bons exemplos de métodos utilizados para simplificar o esforço humano, podendo assim diminuir o tempo despendido nestas tarefas e aproveitando-o noutros afazeres. No entanto, a automação apenas alcançou grande destaque na sociedade com a transformação dos sistemas de produção artesanal e agrário em industrial, por volta do século XVIII com a intitulada revolução industrial. No virar do século XX começaram a surgir os primeiros sistemas inteiramente automáticos e um desenvolvimento em grande escala deste sector.

A automação pode ser definida como um sistema de equipamentos, softwares e/ou técnicas aplicadas numa determinada máquina ou processo industrial, que permitem o seu funcionamento com pouca intervenção do Homem. Para a execução de cada tarefa é necessário defini-la previamente, programando-a no mecanismo que executará a ordem efectivada. Com a aplicação destes sistemas automáticos, é possível reduzir o consumo energético e de matérias-primas, maximizar a produção e a sua eficiência. A automação também permite melhorar as condições de segurança dos operadores, dos materiais utilizados e das informações referentes a esse processo. [1]

É possível afirmar então que a automatização das indústrias traz grandes transformações sócio-económicas numa empresa. Algumas das razões para justificar a automação são:

- 1. Aumentar a produtividade do trabalho** – Automatizando uma operação de produção geralmente aumenta a taxa de produção e produtividade do trabalho, resultando numa maior produção de bens por hora.
- 2. Reduzir o tempo de produção** – A automação permite uma redução do tempo requerido entre o pedido do cliente e a entrega do produto. Isto permite uma maior competitividade da empresa para futuros negócios.
- 3. Cumprir processos que não podem ser realizados manualmente** – Algumas operações não podem ser realizadas sem a ajuda de uma máquina. Estes processos exigem grande precisão, miniaturização e/ou grande complexidade geométrica que não podem ser conseguidas por um ser humano.
- 4. Reduzir os custos laborais** – O aumento dos custos laborais tem sido uma constante tendência nas sociedades industrializadas. Com o investimento na automação é possível reduzir a folha salarial e, conseqüentemente, reduzir os custos de produção.
- 5. Aumento da segurança** – Com a automatização o humano passou a realizar processos de supervisão, por troca com a participação activa que realizava anteriormente. Com o afastamento das zonas de maior perigo, a probabilidade de ocorrência de acidentes físicos diminui.
- 6. Reduções de trabalhos monótonos** – Os trabalhos numa empresa tornavam-se por vezes rotineiros, o que aumentava a fadiga e a desmotivação dos operários. Automatizando essas tarefas melhora as condições de trabalho do operador e este fica liberto para outras tarefas.

Muitos elementos de um sistema de produção de uma empresa são passíveis de ser automatizados, enquanto outros são obrigatoriamente operados manualmente. Os elementos automatizados de um sistema de produção podem ser separados em duas

categorias: Automatização dos sistemas de produção numa empresa e informatização de um sistema de suporte à produção. Num sistema de produção moderno, as duas categorias tendem a se sobrepôr, porque os sistemas de produção automatizados presentes numa empresa são normalmente implementados por sistemas computacionais e interligados a sistemas informatizados de suporte à produção. Os sistemas de produção integrada por computador (CIM) representam a utilização extensiva de computadores nos sistemas de produção (ver **Fig. 1.1**). [2]

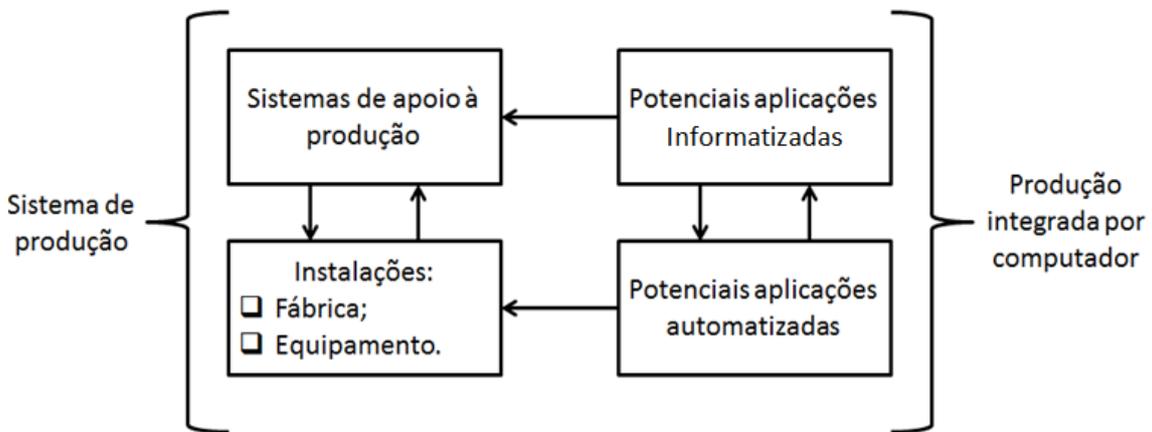


Fig. 1.1 - Aplicação de sistemas informatizados e automatizados nos sistemas de produção. [2]

Um sistema automático consiste em três elementos básicos: Fonte de energia para energizar o sistema, um programa informático para orientar o processo e um controlador para accionar as instruções. A relação entre estes elementos é ilustrada na **Fig. 1.2**. [2]

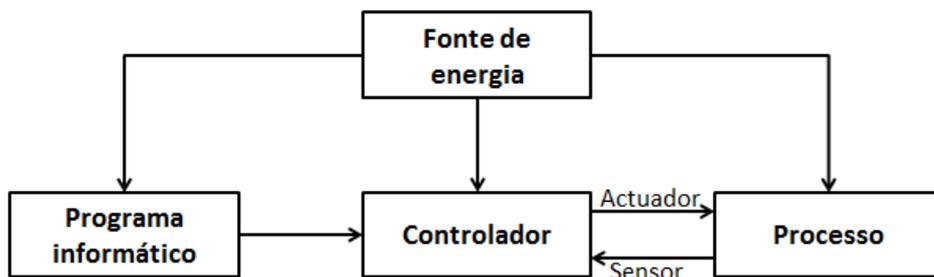


Fig. 1.2 - Elementos de um sistema automático. [2]

Para um sistema automatizado, o controlador executa o programa informático, permitindo que seja realizado o processo para o qual foi determinado. No entanto, para que seja concretizada a relação entre o controlador e o processo, é necessária que seja cumprida inicialmente uma recolha de dados e, após a execução do programa

informático, uma transmissão de sinais. A aplicação de sensores e actuadores torna-se então fundamental para o bom funcionamento de um sistema automatizado.

Um elemento sensor é o responsável pela leitura do estado em que se encontra o processo e pode ser definido amplamente como um dispositivo que responde com um sinal eléctrico a um estímulo. Os estímulos são propriedades físicas, quantidades ou condições de natureza acústica, biológica, química, electromagnética, óptica, mecânica, radiação ou térmica. Relativamente aos actuadores, são os elementos responsáveis pela execução das acções na parte operativa do automatismo e podem ser eléctricos, pneumáticos ou hidráulicos. [3]

Os sensores e os controladores são ferramentas importantes para a implementação da produção integrada por computador (CIM), pois permite aos fabricantes a habilidade de reagir mais rapidamente às necessidades de mercado e atingir níveis de produtividade antes inalcançáveis. Num modelo CIM, estes sistemas têm um papel predominante nas operações de produção de uma empresa, tanto na identificação de componentes para posterior encaminhamento, como na inspecção e detecção de erros de construção ou montagem. Para tal é necessário que se realize uma leitura do objecto com grande precisão, que poderá ser realizada por técnicas com ou sem contacto.

Nas técnicas com contacto, é necessária a utilização de sondas ou outros dispositivos que fazem o contacto com o objecto a ser analisado. O objectivo da sonda é medir ou calibrar o objecto e é amplamente utilizada na produção de peças em metal. As tecnologias principais por este método são: Instrumentos convencionais de medição e calibração, manuais ou automáticos; Máquinas de medição por coordenadas (CMM) e as máquinas de medição de textura da superfície. Estes métodos são muito importantes no mundo industrial devido à sua fiabilidade e precisão e também por, em alguns casos, não existirem outras alternativas. [2]

Nas técnicas sem contacto, o sensor é posicionado a uma certa distância do objecto a analisar e pode ser classificado em duas categorias: Ópticos e não ópticos. Os primeiros, fazem uso da luz para realizar a medição, entre os quais é possível salientar os sistemas de visão, sistemas laser ou cortina de luz. Os sistemas não ópticos utilizam outras formas energéticas para realizar a inspecção, como a radiação, campos eléctricos

ou o ultra-som. [2] Na **Fig. 1.3** são visíveis alguns exemplos de métodos não destrutivos existentes no meio industrial.



Fig. 1.3 - Exemplos de métodos de inspeção não destrutivos não ópticos (em cima) e ópticos (em baixo).

As técnicas sem contacto oferecem certas vantagens em relação aos sistemas em que o toque é obrigatório, tais como:

- Evitam danos à superfície que possam resultar do contacto.
- Tempos de inspecção muito mais curtos. Os procedimentos com contacto requerem um reposicionamento da sonda a cada parte analisada, o que resulta num maior tempo requerido. Pelo contrário, nos sistemas sem contacto, o sensor encontra-se sempre na mesma posição.
- Os métodos sem contacto podem ser realizados sem que seja necessário um posicionamento adicional na linha de montagem, ao passo que os sistemas com contacto normalmente o exigem.
- Possibilitam que a inspecção possa ser totalmente automatizada.

Nesta dissertação, será então realizada uma pequena incursão sobre o mundo tecnológico sensorial sem que o contacto seja necessário, atendendo à relevância que já possui no meio industrial e às suas características. Neste particular, será dada total atenção aos sensores do tipo óptico e, mais especificamente, à inspecção por cortina de luz.

1.2 Objectivos

Os sensores possuem um papel fundamental na área de operações de fábrica, essencialmente no reconhecimento de objectos para posterior distribuição e inspecção para identificação de defeitos. É então objectivo deste trabalho, criar um sistema que possa cumprir os principais requisitos inerentes a essas funções e que possua características idênticas às encontradas em ambientes industriais reais.

Numa primeira fase, o objectivo do trabalho passa pela compreensão da importância das cortinas de luz no mundo industrial e identificação de algumas das vantagens que estes sensores possuem no reconhecimento de formas ou padrões, por comparação com outros sistemas de inspecção de baixo custo. É então pretendido conhecer o modo de funcionamento dos principais sistemas de inspecção ópticos, tal como algumas das aplicações destes, no meio industrial. Pretende-se também com este trabalho, identificar a relevância do reconhecimento de padrões na indústria e também,

conhecer as diferentes fases e métodos existentes para o conseguir. Posteriormente objectiva-se criar um programa informático baseado num dos métodos de reconhecimento de padrões estudado que, ao ser implementado no controlador, permitirá a realização de alguns testes com o intuito de avaliar as capacidades do sistema de inspecção.

Com a realização de testes ambiciona-se comparar e analisar os resultados obtidos face a uma dissertação realizada no ano lectivo 2009/2010, baseada num conjunto de sensores ópticos difuso-reflectidos. Assim, será possível identificar as vantagens e/ou desvantagens que esta nova tecnologia traz comparativamente à utilizada no passado e também, saber em que situações a relação custo/benefício da cortina de luz se superioriza à verificada pelo sistema de inspecção estudado anteriormente. Com esse intuito, será necessário recriar as condições a que o projecto anterior se encontrava sujeito, desde a montagem do sensor na mesma esteira transportadora até à construção de objectos com padrões semelhantes para a análise.

Com este trabalho pretende-se também identificar as diferenças que este sistema possui relativamente a outros sistemas de reconhecimento de padrões, nomeadamente os sistemas de visão e os sensores laser. Ambiciona-se reconhecer algumas das situações em que se torna propícia a aplicação das cortinas de luz e que vantagens trazem, comparativamente aos outros sistemas de inspecção profissionais. Serão então realizados alguns testes, de forma a verificar algumas vantagens apontadas a estes sensores, em catálogos deste produto.

Para finalizar, será realizado o modelo de uma nova plataforma de testes, com o objectivo de uma futura comparação entre todos os dispositivos existentes no laboratório de sistemas lógicos. O projecto desta nova plataforma será feito de forma que cada objecto possa ser analisado por todos os sistemas de inspecção simultaneamente, garantindo que a comparação seja realizada nas mesmas condições.

1.3 Organização da tese

Esta dissertação será organizada em seis capítulos, de forma a apresentar detalhadamente o problema a ser analisado, a linha de investigação e desenvolvimento que será utilizada e apresentar alguns testes realizados.

Assim, no Capítulo 1 é apresentada a introdução ao projecto, onde se declara a motivação e o contexto do presente trabalho. São ainda indicados os objectivos propostos para o projecto.

No Capítulo 2, é realizada uma descrição mais detalhada do problema. São apresentados alguns dos sistemas ópticos de inspecção de baixo custo encontrados no mercado e também referidas as diferentes abordagens existentes para o reconhecimento de padrões

No Capítulo 3, é especificada a solução seguida. São apresentados os requisitos que o sistema possui e, posteriormente, os modelos de hardware e software que os conseguem cumprir.

No Capítulo 4, é especificada a programação desenvolvida neste trabalho para o controlador e HMI, como também algumas das funções úteis para o seu desenvolvimento.

No Capítulo 5, são indicados os testes realizados e os resultados que foram sendo alcançados ao longo do projecto. É feita uma validação do sistema obtido de modo a se perceber se o sistema satisfaz o anteriormente previsto.

Por fim, no capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões do projecto através de comentários aos resultados obtidos e propostas para trabalhos futuros. Termina ainda, com um balanço pessoal.

2. Definição do problema

Neste capítulo é apresentada a estruturação do problema sujeito a análise nesta dissertação, desde a sua origem até às perspectivas de resolução.

Inicialmente será exposta a relevância do problema nos meios industriais, revelando a contextualização da solução que se pretende encontrar.

Posteriormente será feita uma breve incursão pelos sistemas de inspeção ópticos comumente existentes no mercado, expondo os seus modos de funcionamento, algumas das suas características interessantes no reconhecimento de padrões, aplicações na indústria e, quando possível, uma comparação entre eles.

Finalmente, será definida a perspectiva de resolução pretendida neste trabalho, através da exploração dos métodos de reconhecimento de padrões existentes.

2.1 Origens e exposição do problema

Com a evolução da tecnologia nos últimos anos, a procura de sistemas de inspeção altamente sofisticados tem crescido consideravelmente. No entanto, não raras vezes, os sistemas implementados surgem como excessivos para a resolução do problema, ultrapassando largamente as especificidades necessárias. Assim, são pagos valores elevados por tecnologias complexas, com características irrelevantes para o processo e que, por vezes, poderão dificultar a programação do sistema. Deste modo, a aplicação de meios de inspeção relativamente simples é muitas vezes uma solução a ter em conta, pois além do seu atraente custo, são de ajuste simples e de fácil integração com os sistemas de comando da maquinaria que manipula os objectos a inspeccionar.

Nesse contexto, foi estudado no ano lectivo 2009/2010, um sistema de inspecção muito simples, baseado num conjunto de sensores ópticos por reflexão difusa, com o propósito de verificar o seu comportamento perante algumas necessidades industriais de reconhecimento de padrões (Ver **Fig. 2.1**). Com esse objectivo, foi desenvolvido um sistema capaz de reconhecer determinadas orientações e formas simples, posteriormente testado com objectos que reuniam as condições determinadas. De facto, os resultados apresentados nesse projecto sugerem que os sistemas de inspecção pouco sofisticados e de baixo custo podem cobrir várias aplicações importantes na indústria. Porém, devido à sua construção rudimentar e à simplicidade do sistema, o ruído após a aquisição de dados era por vezes demasiado notório, influenciando negativamente a classificação dos objectos e limitando o tipo de itens passíveis de ser analisados. Por esses motivos, foi escolhido um novo sistema de inspecção óptico mais elaborado, fiável, com melhor resolução e, conseqüentemente, mais caro. Com este novo modo de inspecção pretende-se realizar alguns testes com o intuito de compará-lo com o sistema anterior, de modo a apurar quais os seus benefícios em relação ao anterior. Do mesmo modo, pretende-se também verificar em que condições poderão igualar, ou até se superiorizar, a outros sistemas de inspecção vulgarmente utilizados na indústria.

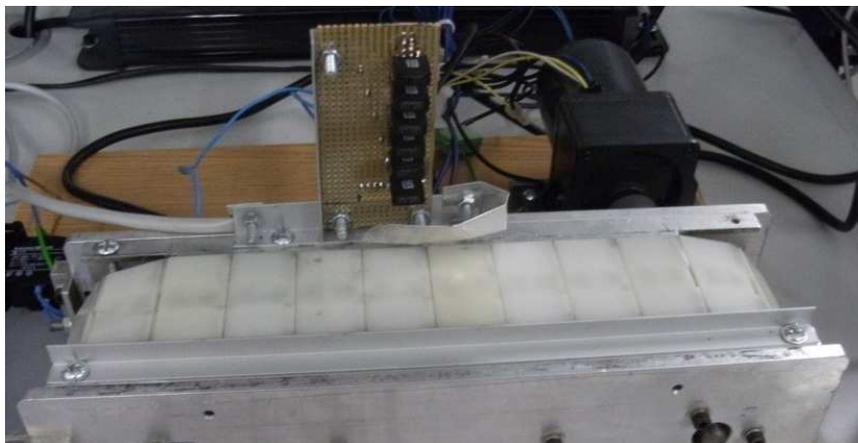


Fig. 2.1 - Conjunto de sensores ópticos difuso reflectores, equipado na esteira transportadora utilizada. [4]

O sistema de inspecção disponibilizado é baseado numa cortina (densa) de luz, com um princípio de funcionamento similar ao sistema de inspecção estudado anteriormente, onde ambos emitem e recebem (ou não), uma coluna de feixes de luz (ver **Fig. 2.2**). No entanto, pelas suas diferenças em termos construtivos, nível de complexidade dos equipamentos e método de aquisição de dados distintos, não é possível reutilizar a programação realizada no passado. A procura de outros trabalhos ou artigos, que possuíssem informações relevantes para a programação dos

componentes integrantes deste meio de inspecção, também se mostrou inconsequente, obrigando à criação de um novo software original.

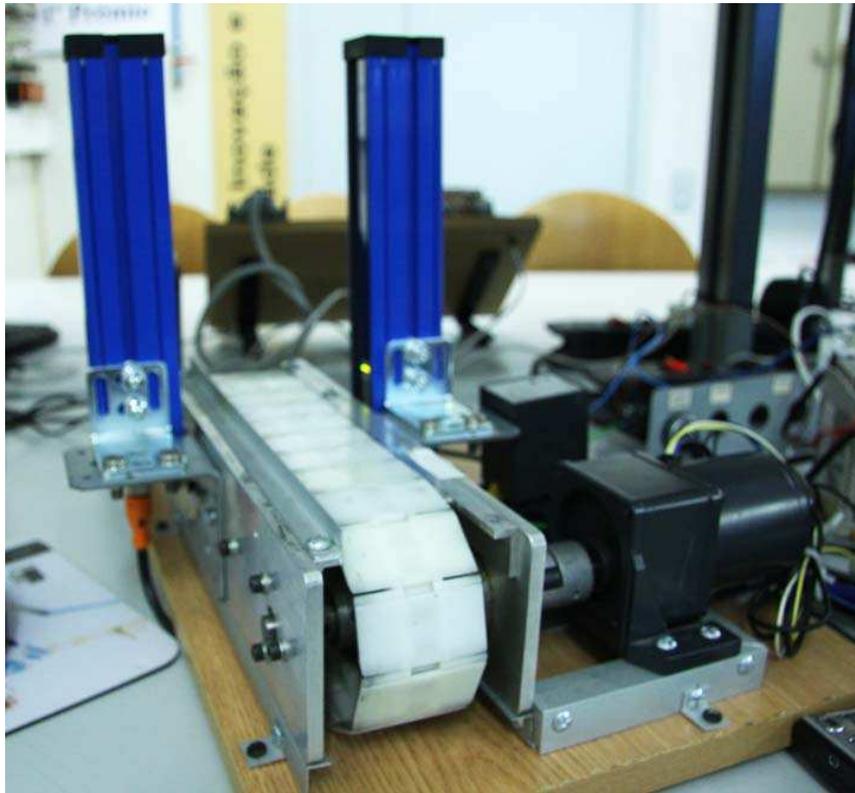


Fig. 2.2 – Cortina de luz equipada na esteira transportadora utilizada.

A escolha do modelo de software para o reconhecimento de padrões, terá que ser concretizada de maneira a cobrir todas as necessidades exigidas para o processo e a conter aplicações úteis para um meio industrial. Do mesmo modo, a escolha do hardware a ser utilizado terá que ter em conta as condições peculiares que o ambiente industrial normalmente possui (como a presença de poeiras, gases, ruído, vibrações, altas temperaturas, entre outros), como também, as necessidades de processamento exigidas, os modos de comunicação entre componentes e a facilidade para as suas montagens e programação.

Para finalizar, é pretendido pela secção de automação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a instalação de vários sistemas de inspecção numa única esteira transportadora, de forma a poder compará-los simultaneamente nas mesmas condições (velocidade do tapete, temperatura, luminosidade, etc). Contudo, a esteira transportadora já existente, não possui dimensões suficientes para a colocação dos meios de inspecção com um afastamento razoável entre si, o que poderá interferir

nas suas aquisições de dados. Consequentemente, pretende-se desenvolver uma nova esteira transportadora com dimensões superiores, mas a um custo razoável.

2.2 Estado da arte

Todos os seres vivos, desde os unicelulares aos pluricelulares, apenas podem sobreviver reagindo às condições que o rodeiam. Para isso, contam com a capacidade de receber estímulos do exterior através de sistemas sensoriais (audição, visão, tacto, olfacto e paladar), e posteriormente enviá-los para o sistema nervoso central e cérebro onde é efectuado o entendimento das estruturas de processamento e o armazenamento de informações. Assim, por exemplo no caso da visão, a luz incidida sobre as retinas é capturada e posteriormente transformada em impulsos nervosos que são enviados para o cérebro. Neste órgão é iniciado então o processo de análise dos dados recebidos e a interpretação dos resultados. O princípio de funcionamento de um sistema automatizado para reconhecimento de padrões é muito semelhante ao de um ser humano, sendo que no exemplo da visão, esta é desempenhada por um sensor óptico e o sistema nervoso central e o cérebro estarão alojados num controlador.

Deste modo podemos definir um sensor como um mecanismo que responde a algum tipo de propriedade física na entrada (estímulo) e converte-o num sinal eléctrico compatível com circuitos eléctricos. E definir o controlador como um dispositivo de hardware que recebe os sinais exteriores ou dados, actualizando posteriormente os dispositivos de saída de acordo com o seu programa de controlo. [5]

Na **Fig. 2.3** é possível visualizar o modelo de funcionamento de um sensor, sendo que na entrada deste encontramos uma variável física (Por exemplo: força, comprimento, temperatura, aceleração, velocidade, frequência, tempo) e na saída um sinal (Por exemplo: tensão, corrente). [5]

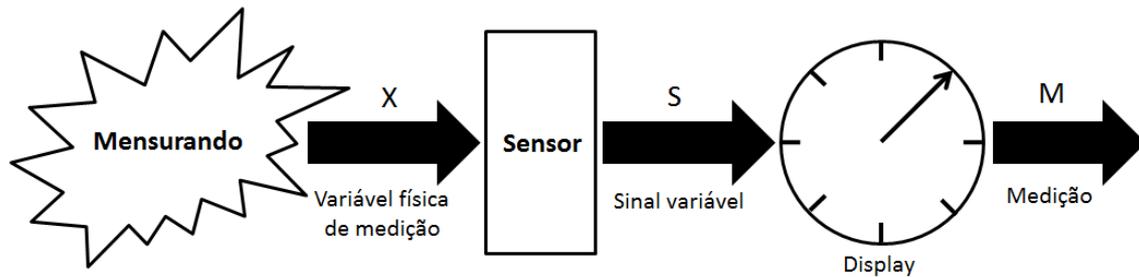


Fig. 2.3 - Modelo simples de instrumentação. [5]

No presente, os sensores ocupam um lugar privilegiado no amplo campo da automação industrial e noutras aplicações, existindo poucos problemas relacionados com aquisição de dados físicos que não possam ser solucionados com a sua aplicação. Estes possibilitam uma redução da componente humana de uma pequena parte da produção, onde é exigido que seja feita monitorização e inspecção, sendo que, em algumas situações, nem é possível efectuar os processos sem a sua aplicação. O reconhecimento de padrões por meio automático é um desses casos. [6]

Tabela 1 - Exemplos de entradas e saídas para problemas de reconhecimento de padrões. [6]

Problema	Entradas	Saídas
Reconhecimento de voz	Sinais de voz	Palavras, identidade do locutor
Reconhecimento de defeitos em objectos.	Ultra-sons, emissão de ondas acústicas, imagem	Presença/Ausência de anomalia.
Deteção/Diagnóstico de doenças	Electrocardiograma, electroencefalografia, ultra-sons	Tipos de condições cardíacas, classes de estados cerebrais, patologias.
Identificação de recursos naturais	Imagens multiespectrais	Formas de terrenos, vegetação
Reconhecimento aéreo	Infravermelhos, imagens de radar	Tanques, campos de cultivo, estradas, tráfego
Reconhecimento de caracteres (leitores de páginas, códigos de barras, matriculas)	Imagens de varrimento óptico	Caracteres alfanuméricos
Identificação e contagem de células	Slides de amostras de sangue, seccionamento de tecidos.	Tipos de células
Deteção de falhas (placas de computadores, circuitos integrados, texturas)	Imagens	Aceitação, rejeição

Como se pode verificar na **Tabela 1**, o reconhecimento de padrões é aplicado em variadíssimas áreas, como por exemplo na identificação de impressões digitais, de

doenças ou peças defeituosas. Isso implica ser necessária a utilização de variadíssimos sensores para mensurar diferentes variáveis físicas, dependentemente do que for pretendido analisar.

Para o reconhecimento de padrões para posterior encaminhamento de peças ou para detecção de objectos defeituosos, sem que o contacto entre o sensor e o item seja necessário, são normalmente utilizados os sistemas de visão, sensores laser ou cortinas de luz.

2.2.1 Sistemas de visão

Nos últimos anos os sistemas de visão têm sofrido uma rápida evolução, desde as primeiras câmaras equipadas com tubos *Vidicon*, até às mais recentes providas de sensores CCD (*Charge Coupled Devide*) e sensores especiais.

A aquisição de uma imagem consiste em transformar uma imagem obtida por uma câmara numa matriz de pontos posicionados numa memória. A conversão mais utilizada é obtida por CCD, onde cada ponto da célula representa um ponto da imagem projectada (ver **Fig. 2.4**). A informação é depois analisada como uma matriz, varrendo a imagem na forma de linhas e colunas. A cada célula de uma matriz CCD é denominada por *pixel*, que é a abreviatura de elemento de imagem (*Picture element*). A luz passa então por um conjunto de lentes que convergem a luz vinda do objecto analisado e a distribui pela área do CCD, num funcionamento semelhante ao de uma câmara fotográfica convencional. [7]

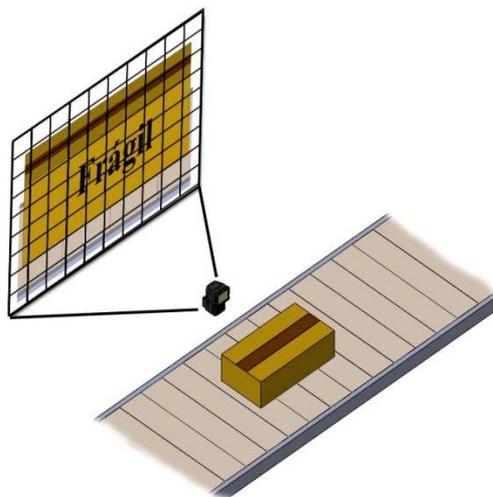


Fig. 2.4 - Exemplo de aquisição de imagem e matriz CCD.

Depois de a imagem ter sido adquirida, cada célula da matriz CCD é varrida e lida analogicamente, para depois ser limpa e dar lugar a um novo quadro de imagem. Após a representação da imagem projectada na matriz CCD num sinal analógico, é necessário convertê-lo num padrão manipulável numericamente. A partir deste ponto é que há uma diferenciação entre câmaras CCD, digitais e analógicas. A primeira, câmara CCD, entrega a imagem em formato analógico para depois ser convertido em formato digital, enquanto a câmara digital entrega já convertido em binário. Caso tenha a informação da imagem apenas em formato analógico, a conversão para formato digital é obrigatória (por um conversor A/D) para depois poder ser manipulada e armazenada num computador. [8][9]

As placas que permitem fazer a aquisição e conversão da imagem em dados digitais são conhecidas por *Frame Grabber* ou placa capturadora de vídeo. Cada *pixel* será armazenado num banco de memória RAM em forma de representação numérica, sendo o 0, o tom de cinza mais escuro e o 255 o mais claro, caso sejam representados por 8 bits. A **Fig. 2.5** mostra a representação de uma imagem convertida matricialmente na escala de cinzas.[8]

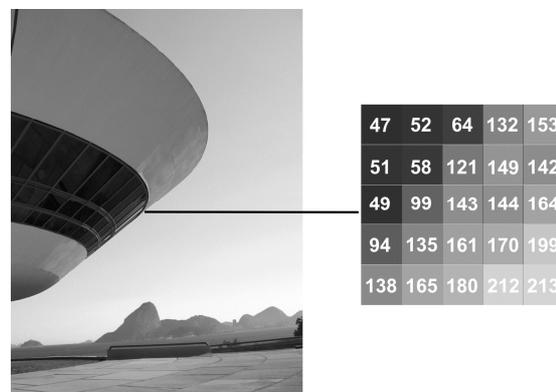


Fig. 2.5 - Representação matricial de uma região da imagem.[8]

É importante referir ainda, a necessidade de iluminar a cena que pretendemos analisar. A iluminação dependerá do ambiente e dos objectos a testar, pelo que será necessário efectuar um estudo de prévio, de forma que o processamento de imagem não seja afectado.

Entre as funcionalidades mais frequentes na indústria deste tipo de sensor, para além das tarefas mais simples como detecção de presença, temos que citar os seguintes:

- **Reconhecimento de formas** - reconhece os objectos pela diferença ou presença de um determinado padrão;

- **Reconhecimento de posição** – através de contagem de arestas, consegue verificar a posição do objecto;
- **Reconhecimento de caracteres** – Verifica a existência de caracteres e se se encontra na ordem correcta;
- **Reconhecimento de largura** – Analisa a largura da peça através da ferramenta de contagem de arestas;
- **Luminosidade** – Analisa os objectos através da sua densidade média e deflexão;
- **Contagem** – Conta o número de arestas de um objecto;
- **Tonalidade** – Caso o dispositivo seja policromático, verifica a diferença entre a cor de referência e a cor de medição;

Em geral as câmaras utilizadas em visão artificial são monocromáticas. No entanto as câmaras policromáticas são importantes quando a cor é variável e é uma característica relevante a analisar. Isto acontece em vários ambientes industriais, mas é possível destacar a indústria alimentar, têxtil e cerâmica. Noutros casos, nem as três bandas espectrais que determinam a cor na visão artificial são suficientes, sendo necessária a utilização de câmaras denominadas hiperespectrais ou multiespectrais. Estas câmaras permitem diferenciar várias faixas espectrais da peça a analisar. Um exemplo de utilidade deste tipo de máquinas é visível na **Fig. 2.6**, onde é possível distinguir o material que os objectos foram produzidos. [10]



Fig. 2.6 - Imagem de garrafas de plástico obtidas por um sistema multiespectral que permite diferenciar a sua composição química. [10]

2.2.2 Sensores laser

A palavra laser é um acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, ou em português, Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação, embora a utilização da palavra tenha sido aplicada ao léxico como um substantivo. Este

tipo de sensores são muito adequados para medições precisas a longas distâncias (superiores a 2 metros).

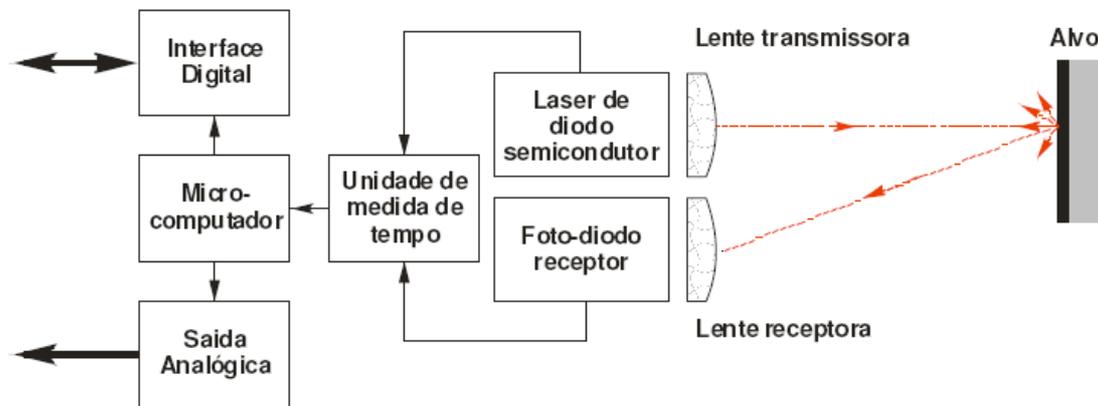


Fig. 2.7 - Representação do funcionamento de um sensor laser [11]

O seu funcionamento consiste na emissão de uma luz monocromática, constituída por um único comprimento de onda por um feixe de luz estreito, sobre uma determinada superfície. Ao entrar em contacto com esta, irá ocorrer uma reacção com os átomos da superfície, absorvendo parte dessa luz e transmitindo outra. Dessa luz transmitida, algumas partículas retornaram à fonte do laser. Para calcular medições exactas, o método do tempo de propagação da luz é efectuado, calculando o tempo entre o envio e a recepção das partículas de luz. Estes resultados são conseguidos visto que a velocidade da luz é um valor constante e conhecido. O laser de díodo emite pulsos de luz na ordem dos nanosegundos (10^{-9} segundo) e ao receber parte do sinal reflectido na superfície do objecto é gerado um sinal eléctrico. O tempo de propagação é calculado no sensor, convertido para tensão e posteriormente enviado para um microcomputador interno que processa os dados de medida e os prepara para as respectivas saídas. Na **Fig. 2.7** é possível verificar em forma esquemática o processo descrito. [5][12]

Uma das aplicações interessantes destes sistemas conjuntamente com os sistemas de visão, consiste na possibilidade de análise dos objectos em três dimensões. Estes sistemas são baseados no princípio da triangulação óptica, em que a radiação de um laser semiconductor é focada por uma lente para um objecto e a radiação reflectida pelo objecto é recolhida por uma câmara (ver **Fig. 2.8**). Ao conhecer o ângulo de deflexão e a medição da posição da imagem do laser permite, obter as coordenadas tri-dimensionais do objecto. [12]

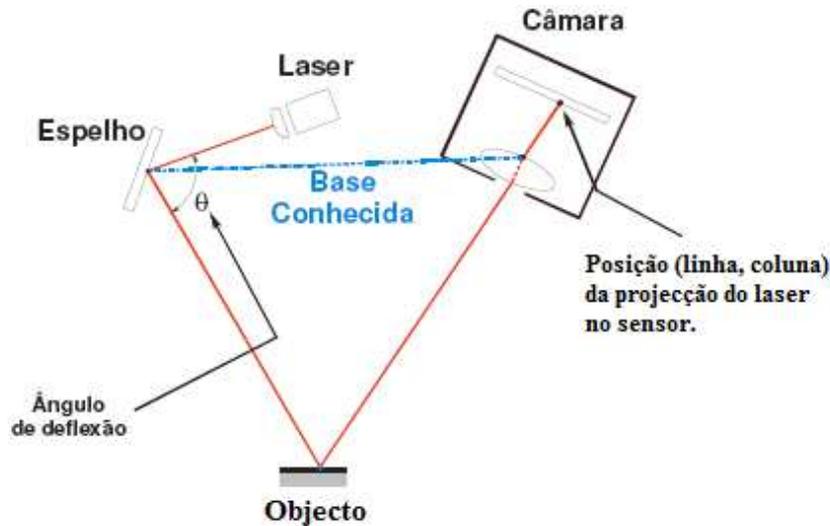


Fig. 2.8 - Ilustração de um sistema laser baseado no princípio de triangulação óptica. [12]

Os sensores laser podem também ser utilizados para medições precisas de objectos em movimento, até 1200 leituras por segundo. Quando dispostos num formato de cortina de luz, a medição de distâncias, áreas, diâmetros são processos que estes sensores efectuam com alguma facilidade. No entanto, uma das aplicações onde são mais utilizados estes sensores, é na leitura de código de barras. Na **Fig. 2.9** é visível esquematicamente o funcionamento de uma das soluções.[13]

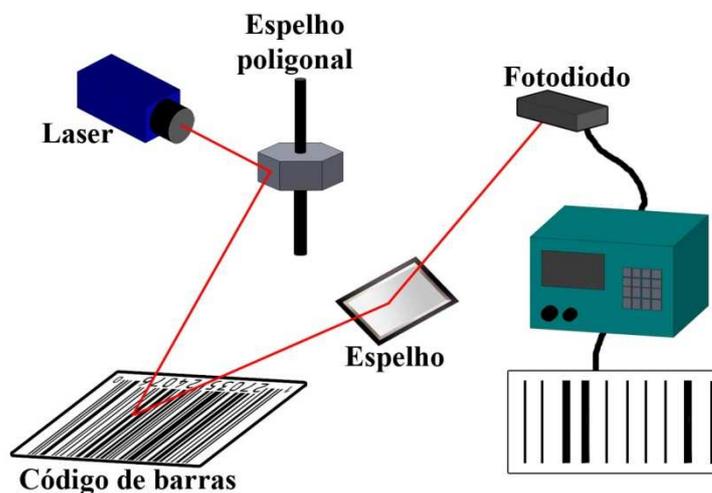


Fig. 2.9 - Solução para reconhecimento de um código de barras utilizando um sensor laser.[13]

O feixe emitido por um díodo laser é desviado por um espelho poligonal rotativo que permite o deslocamento entre o código de barras. O fotodíodo mede a intensidade da luz reflectida pelo código de barras e gera um sinal analógico. Posteriormente este sinal é convertido para um sinal digital através de um conversor Analógico/Digital para que as barras possam ser descritas com maior exactidão. Finalmente, as barras estreitas

e largas, bem como as lacunas são decodificadas de acordo com as regras aplicáveis e o resultado é visível numa interface. [13]

2.2.3 Cortinas de luz por LEDs

Ao contrário dos sensores laser, que utilizam combinações entre lentes e espelhos rotativos, os sensores ópticos por LEDs (*Light Emitting Diode*, ou díodo emissor de luz) não possuem partes móveis. Por esse motivo são considerados menos complexos, o que os torna mais baratos e possibilita terem um tempo de vida maior (até aproximadamente 10^8 horas). Como é possível ver na **Tabela 2**, os díodos laser permitem maior velocidade de processo, maior potência óptica e uma menor divergência de emissão, o que possibilita maiores resoluções. No entanto, o seu elevado custo e a sua menor longevidade devido à sua construção mais complexa, faz com que por vezes, seja mais benéfica a compra de cortinas de luz por LEDs.[14]

Tabela 2 - Comparação entre díodos laser e LEDs. [14]

Características	Díodo Laser	LEDs
Potência óptica	Alta	Baixa
Custo	Alto	Baixo
Utilização	Complexa	Simples
Largura de espectro	Estreita	Larga
Velocidade	Rápido	Lento
Divergência de emissão	Menor	Maior
Sensibilidade à temperatura	Maior	Menor

Nos sensores ópticos utilizam-se essencialmente como emissores, LEDs de luz infravermelha que enviam impulsos com alta potência e curta duração, de forma a evitar que o receptor confunda a luz emitida pelo transmissor com a iluminação ambiente. O LED é um díodo semiconductor de estado sólido que ao ser energizado emite luz. A sua elevada utilização em ambientes industriais deve-se essencialmente ao seu reduzido

tamanho, baixo custo, elevada resistência, elevada vida útil, suportam altas frequências de modulação e possuem baixa sensibilidade à temperatura, vibrações e choque. Os LED infravermelhos são os mais eficientes, pois produzem mais luz e o mínimo de aquecimento, comparativamente a qualquer outra cor existente para LED (ver **Fig. 2.10**). [15]

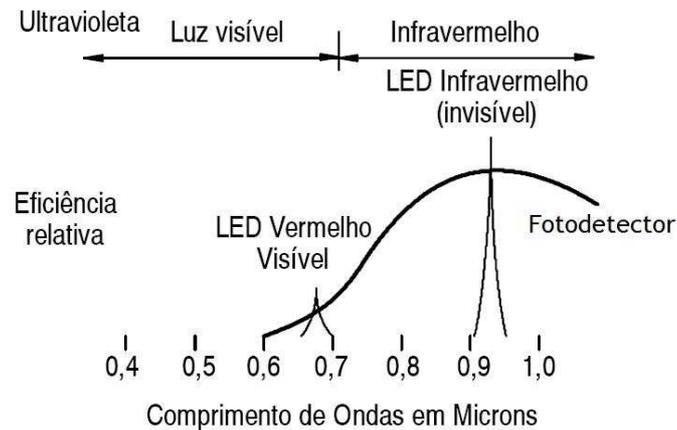


Fig. 2.10 - Comparação entre o LED visível e invisível relativamente à sua eficiência. [15]

O receptor é um componente de estado sólido robusto que fornece alteração na corrente condutiva, consoante a luz detectada. Pode ser um fotodiodo, fotoresistência ou um fototransistor, sendo este último o mais frequentemente utilizado em sensores ópticos por terem maior sensibilidade. Para melhor a eficiência da detecção, o LED e o fotodetector são sempre combinados espectralmente. Aos fototransistores é acoplado um filtro sintonizado com a mesma frequência de pulsação do transmissor, que faz com que o receptor atente para os pulsos de luz idênticos aos pulsos gerados pela fonte de luz e ignorando outros de sensores fotoelétricos próximos ou de outras fontes. Na **Fig. 2.11** é possível visualizar o funcionamento de um sensor óptico simples.[13]

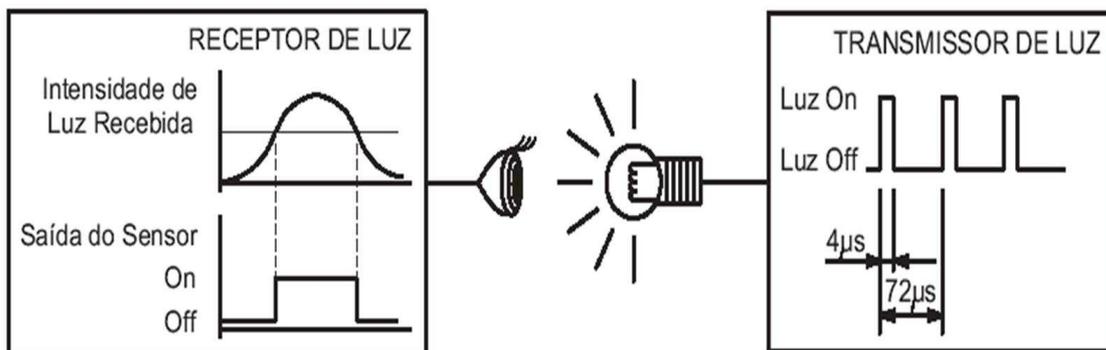


Fig. 2.11 - Funções de um transmissor e receptor de luz de um sensor óptico simples. [13]

Visto que os LED emitem luz sobre uma grande área e os fotodetectores recebem essa luz também numa grande área, há necessidade de aplicação de lentes na frente dos dois componentes de forma a estreitar essa região. À medida que essa área for estreitada, o alcance de funcionamento entre ambos aumenta. A utilização de lentes nas cortinas de luz ópticas é muito importante, para que o fotodetector não receba a luz de um LED ao qual não tenha sido destinado. O meio de propagação da luz em questão é o ar, que é transparente e em pequenas quantidades pode ser considerado homogéneo, pelo que os feixes de luz não sofrerão qualquer perturbação no seu trajecto até que um objecto opaco se posicione entre o emissor e receptor. [15]

As cortinas de luz podem ter variados tamanhos dependendo da sua aplicação. No mercado actual é possível encontrar cortinas desde os 12,7cm (5 Polegadas), para objectos de pequenas dimensões, até aproximadamente 3,2 metros para, por exemplo, detecção de transportes de grande porte. A resolução de uma cortina de luz corresponde à distância entre feixes de luz e o tamanho mínimo de um objecto a ser detectado deverá ter o dobro da sua resolução. Quanto menor for a resolução, maior é a “Zona morta” da cortina de luz, onde não é possível haver detecção de objectos. Devido à proximidade entre feixes de luz, estes são ligados sequencialmente (um depois do outro), influenciado directamente o tempo de varrimento para estes sistemas. Quanto mais feixes a cortina de luz tiver, maior será o tempo de varrimento, rondando este valor pelos 50 milisegundos. [16]

As cortinas de luz encontram várias aplicações no meio industrial, entre as quais é possível salientar:

Inspecção/controlo de dimensões de objectos

As cortinas de luz permitem a verificação de dimensões de objectos, como diâmetros, comprimentos, larguras ou até volumes (ver **Fig. 2.12**). Quando posicionadas duas cortinas de luz vertical e horizontalmente, é possível a análise de volume de um objecto, através do varrimento da totalidade do comprimento e largura. Dependendo da resolução da cortina de luz e da presença de um encoder, é possível também calcular o valor das respectivas dimensões. Contudo, através deste método, não é possível fazê-lo com grande precisão visto que, normalmente, as resoluções não são inferiores a 2,5mm. [17]

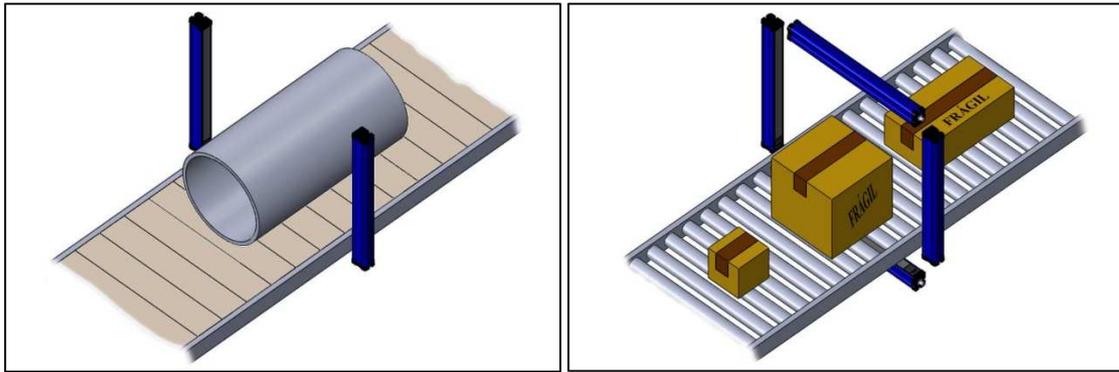


Fig. 2.12 - Avaliação do diâmetro de uma tubagem (lado esquerdo) e avaliação de volumes de caixas (lado direito).

Inspeção de defeitos

As cortinas de luz permitem o reconhecimento de defeitos em objectos opacos. Uma das aplicações destes sensores frequentemente utilizadas na indústria é na identificação de furos. A verificação da existência (ou não) de cortes no objecto, se possuem as dimensões correctas e se se encontram na posição determinada, são tarefas acessíveis para uma cortina de luz e vulgarmente encontradas no controlo de produção de objectos com essas características. [17]

A inspeção de níveis de enchimento de líquidos em garrafas também são tarefas importantes nas indústrias (fundamentalmente nas alimentares e de higiene), passíveis de resolução com recurso às cortinas de luz.[17]

Na **Fig. 2.13** é possível visualizar um exemplo dos dois casos referidos.

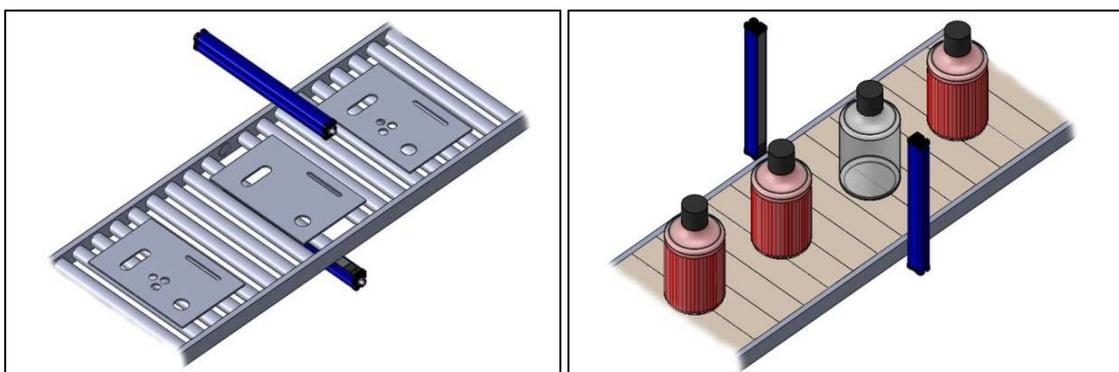


Fig. 2.13 - Reconhecimento de furos em chapas (lado esquerdo) e inspeção de nível de enchimento em garrafas (lado direito).

Verificação da orientação de objectos e sistemas de paletização.

O controlo de sistemas de paletização é muito importante, quer antes da colocação dos objectos nas paletes, quer depois de colocados. Num sistema totalmente automatizado, para que o item seja colocado na paleta, é necessário que se encontre numa posição conhecida e manipulável pelo robô. Assim, o reconhecimento de posição e orientação do objecto é fundamental para que tal seja realizado com sucesso. Com a utilização de cortinas de luz é possível realizar uma triagem dos objectos fora de posição, evitando problemas futuros no transporte dos itens para a paleta. [17][18]

Do mesmo modo, é possível verificar se a paleta já se encontra completa. Com a utilização de duas cortinas de luz perpendicularmente colocadas entre si, é possível identificar as coordenadas de cada posição entre o cruzamento dos feixes de luz. Quando um objecto é colocado numa das posições, esses feixes de luz serão imediatamente interrompidos, determinando que essa posição se encontra ocupada.[18]

Na **Fig. 2.14** é possível visualizar um exemplo dos dois casos referidos.

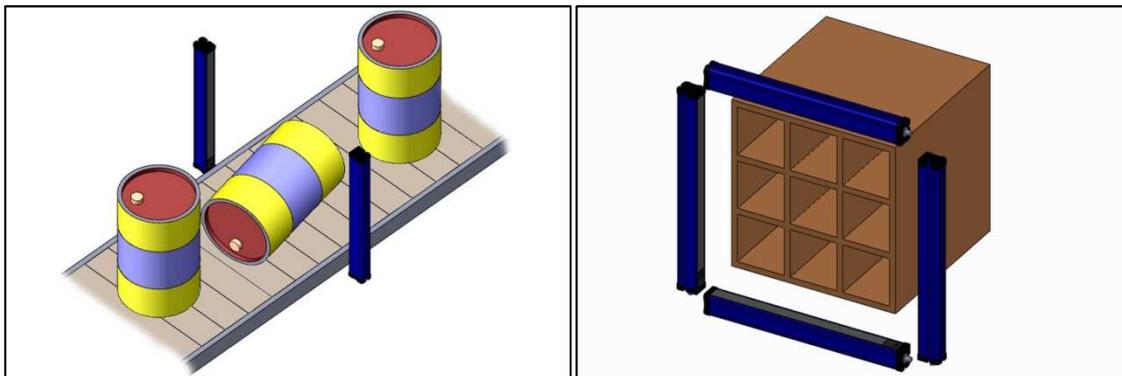


Fig. 2.14 - Triagem de objectos caídos (lado esquerdo) e inspecção a uma paleta (lado direito).

Outras aplicações

São várias as aplicações possíveis para este sistema de inspecção, sendo difícil definir todas. No entanto, duas aplicações interessantes para estes sistemas e que, dificilmente poderão ser realizadas por outros sistemas como os de visão, são: Identificação das dimensões de um automóvel e verificação de folgas em correias.[17]

No primeiro caso, identificação das dimensões de um automóvel, poderá ser útil para indicação do lugar de estacionamento em indústrias automóvel, ou na entrada de camiões para carga/descarga. No segundo caso, a verificação de folgas em correias é

útil em situações em que é necessário manter o tapete transportador ligeiramente solto. A cortina de luz é ideal para estas situações, pois consegue identificar se o tapete se mantém na posição pretendida. Na **Fig. 2.15** é possível visualizar ambos os casos referidos.[17]



Fig. 2.15 - Cálculo de dimensões de automóvel para estacionamento (esquerda) e verificação de folga em correias (direita).

2.2.4 Conjunto de sensores ópticos do tipo difuso

Este sistema não é muito aplicado na indústria na área de reconhecimento de padrões. No entanto serão abordados este tipo de sensores por ter sido alvo de estudo no ano passado um sistema de seis sensores ópticos do tipo difuso dispostos em linha, com o qual serão comparados alguns resultados nos capítulos seguintes.

Um sensor óptico difuso tem o mesmo princípio de funcionamento que os sensores tipo barreira falados para a cortina de luz, ou seja, possui um LED que emite uma luz posteriormente colectada por um fotodetector. A diferença entre ambos consiste na posição do receptor. Enquanto nos sensores tipo barreira, o receptor posiciona-se à frente do emissor, nos sensores do tipo difuso, o LED e o fotodetector encontram-se no mesmo corpo. Assim, com este tipo de construção é necessário que o objecto a analisar seja espelhado ou coberto por uma superfície retro-reflectora, de forma que a luz emitida retorne ao sensor. [13]

Uma vantagem destes sensores está na facilidade de montagem, não sendo necessário o por vezes complicado alinhamento dos sensores tipo barreira. No entanto, o facto de estar limitado à detecção de objectos reflectores poderá ser um inconveniente. Este tipo de construção também obriga a que os objectos passem pelo sensor com maior

proximidade que a generalidade dos sensores, para garantir que o fotodetector reconheça a luz enviada. [13]

Na **Fig. 2.16** é possível verificar o sistema de seis sensores utilizado no projecto anterior. Foram utilizados seis sensores OPB732 da TTElectronics[®], dispostos com um espaçamento de 1cm entre si. Deste modo, os objectos utilizados para os testes encontravam-se limitados, quer na sua altura (só 6cm do objecto é que eram analisados), quer nas suas características (teriam que ter dimensões superiores à sua resolução). [19]

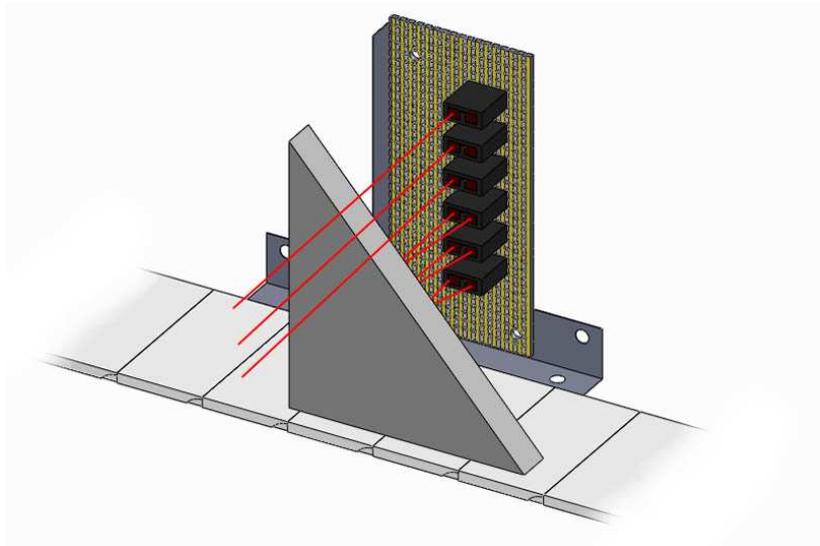


Fig. 2.16 - Conjunto de seis sensores ópticos de tipo difuso estudados no projecto anterior.

2.3 Linhas de investigação

No mundo industrial, são vários os sensores encontrados que permitem adquirir os dados do meio que se pretende analisar. Porém, para que se tornem úteis, é necessário entendê-los e tomar decisões a partir deles. Num sistema de inspeção completamente automatizado, esta tarefa terá que ser totalmente realizada por um controlador, havendo a necessidade de criação de um programa que permita distinguir os dados relevantes para a análise, dos restantes. Neste contexto, é necessário então fazer uma distinção entre dados, informação e conhecimento [20]:

- **Dados** – “São itens referentes a uma descrição primária de objectos, eventos, actividades e transacções que são gravados, classificados e armazenados, mas não chegam a ser organizados de forma a transmitir algum significado específico.”
- **Informação** – “É todo o conjunto de dados organizados de forma a terem sentido e valor para o seu destinatário. Este interpreta o significado, tira conclusões e faz deduções a partir deles.”
- **Conhecimento** – “Conhecimento consiste em dados e informações organizadas e processadas para transmitir compreensão, experiência, aprendizagem acumulada e técnica, quando se aplicam a determinado problema ou actividade. Os dados processados para extrair deduções críticas e para reflectir experiência e perícia anteriores, fornecem a quem os recebe, conhecimento organizacional de alto valor potencial.”

Podemos então simplificar e definir os dados como elementos não interpretados, observações, factos ou características de um objecto. A informação representa os dados que possuem significado num determinado contexto e o conhecimento interpreta formalmente as relações entre dados e informação. Este processo requer o reconhecimento de padrões entre os dados para recolher a informação que interessa analisar, melhorando a operacionalidade e rentabilidade industrial, como podemos ver na **Fig. 2.17**. [21]



Fig. 2.17 - Reconhecimento de padrões na indústria. [21]

A recolha de informação útil pode então ser dividida em três fases principais: A representação dos dados de entrada e sua mensuração; a extracção e selecção de características e, finalmente, identificação e classificação do objecto em estudo. [22]

Na primeira fase, são adquiridos dados de um objecto através de um sensor, englobando as características do item que o permitem distingui-lo entre outros.

A segunda fase corresponde à extracção dessas mesmas características, ou seja, da informação útil para a resolução do problema. A escolha dessa informação, irá influenciar directamente a classificação do objecto, pelo que se for mal efectuada, poderá induzir em erro o classificador.

Na terceira fase, as características extraídas na fase anterior são avaliadas segundo critérios previamente determinados, de forma a serem identificados. Esta fase pode ser abordada de forma abstracta e independente da natureza do problema, pois os critérios de avaliação podem muitas vezes ser os mesmos para diferentes contextos.

A escolha do sensor, método de aquisição de dados, método de extracção da característica e do classificador que permite a avaliação do objecto, é um processo muito rigoroso e que poderá criar alguma dificuldade. A **Fig. 2.18** representa as várias fases existentes na concepção de um sistema de reconhecimento de padrões. Como é perceptível pelas setas, estas fases não são independentes, sendo por vezes necessário recuar várias fases atrás de maneira a melhorar o desempenho final. [22]

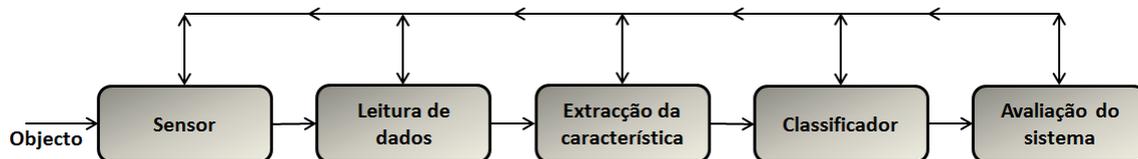


Fig. 2.18 - Fases existentes na classificação de um sistema. [22]

Deste modo, para atingir um reconhecimento de padrões que permita a avaliação de um sistema com êxito, será necessário desenvolver um programa que permita a aquisição de dados do sensor e armazená-los, posteriormente seguido por um método que permita a extracção das características relevantes para o projecto e, finalmente, a definição de um método de classificação que possibilite a posterior avaliação do objecto.

A abordagem para o desenvolvimento do programa poderá ser realizada basicamente por três formas diferentes: Modelos comuns (“Template matching”), características comuns (“Feature matching”) e agrupamento (“Clustering matching”). [23]

Por modelos comuns (“Template matching”), a caracterização é feita a partir de comparações com modelos previamente armazenados, comparando a totalidade das suas características com os novos resultados obtidos, ou seja, para um objecto ser identificado, este terá que possuir exactamente as mesmas características que outro já conhecido. É um processo elementar que poderá causar classificações inadequadas.

Por características comuns (“Feature matching”), poderão ser analisadas apenas algumas propriedades do objecto, que poderão ser semelhantes a alguma classe previamente definida. A utilização deste conceito depende directamente do bom desempenho na extracção das características, que depois serão classificadas consoante o seu valor, cor, nome, ou outra propriedade. Na **Fig. 2.19** é possível visualizar a leitura de várias amostras de objectos distintos (**Fig. 2.19 a**)), posteriormente analisadas segundo duas características (α e β). Consoante o valor que estas duas propriedades tomam em cada objecto, foram posteriormente classificadas em diferentes grupos, distinguindo os itens em duas categorias/classes (**Fig. 2.19 b**)).

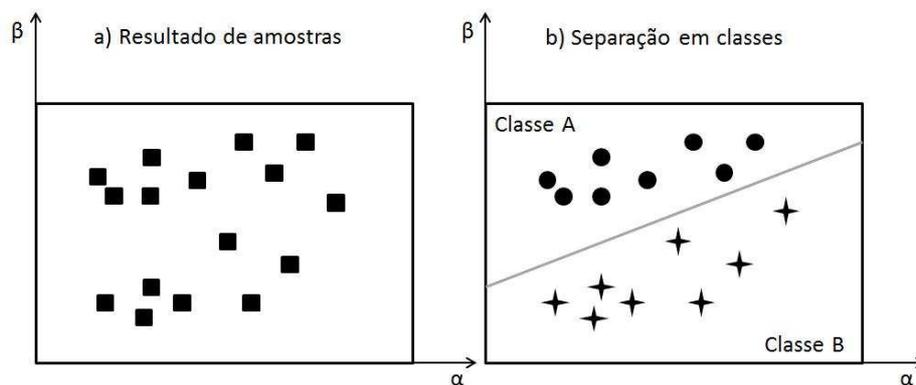


Fig. 2.19 - Distinção em classes após análise de amostragens para um caso geral.

Finalmente, por agrupamento (“Clustering matching”), é outra forma de catalogar diferentes classes de padrões e encontrar grupos com características comuns. A diferença deste método em relação ao anterior deve-se à forma de como são estabelecidas as classes dos padrões, sendo que neste caso é realizado por vectores com números reais.

Estas abordagens poderão ser implementadas através de três métodos de reconhecimento de padrões: métodos matemáticos, métodos heurísticos e métodos sintácticos ou linguísticos. [23][24]

Métodos matemáticos – São aplicados com utilização de regras de classificação formuladas a partir de modelação matemática dos conceitos de “agrupamento” e “características comuns”. Estes podem basear-se em métodos estatísticos ou em métodos determinísticos. Para a utilização de classificação estatística é aplicada a “Regra de Classificação de Bayes”, que implica o conhecimento da probabilidade de ocorrência de cada classe de padrão e também da função densidade de probabilidade de classes de padrão. Então é feita uma estimativa paramétrica das funções de densidade de probabilidade. Quanto ao classificador de padrões determinístico, têm apenas formulação matemática.

Métodos heurísticos – Aplicam os conceitos de “características comuns” e “modelos comuns” e dependem da experiência do elaborador do projecto na sua aplicação. Em termos gerais, pouco há a referir deste método visto que cada programa necessita da aplicação de regras específicas para o respectivo fim. Assim sendo, o conhecimento do programador será fundamental na elaboração do projecto.

Métodos sintácticos ou linguísticos – Aplica o conceito de “características comuns” e utiliza uma estrutura hierárquica de elementos primitivos onde é feita posteriormente a caracterização dos padrões. É utilizado essencialmente para padrões muito complexos onde há dificuldade em enunciar as suas características, ou caso seja difícil descrever convenientemente através de medidas numéricas.

Neste trabalho em particular, a programação será realizada seguindo um método heurístico e, conseqüentemente, aplicando os conceitos de “características comuns” e “modelos comuns”. A escolha desta metodologia deveu-se essencialmente ao tipo de objectos que serão sujeitos a análise, possuidores de características relativamente evidentes e pouco complexas, pelo que não se justificava a aplicação de outros métodos.

Após a programação estar efectuada, serão concretizados alguns testes às capacidades da cortina de luz utilizada, através do reconhecimento de alguns objectos construídos para essa finalidade. A identificação de orientações, furos, posições e perfis, são algumas das funções que se pretende que este sistema de inspecção consiga realizar, de modo que, as peças a serem construídas terão que satisfazer essas condições. Através desses testes, será possível confrontar os seus resultados com os obtidos pelo meio de inspecção alvo de estudo no ano anterior e, quando possível, comparar também com outros sistemas.

3. Especificação da plataforma experimental

3.1 Requisitos da solução

Pretende-se com este trabalho, criar um sistema que possua todas as condições necessárias para a integração num ambiente industrial real. Será então relevante ter noção das especificidades que estes meios acarretam, que possibilidades existem para aquisição e tratamento de dados de maneira a analisar vários tipos de padrões distintos e também, em que situações o sistema de inspecção por meio de uma cortina de luz é aplicável. Tendo em conta estes conceitos, pretende-se satisfazer as condições essenciais de funcionamento, de forma a cumprir os principais requisitos.

A esteira transportadora de testes deverá simular o funcionamento de uma de grande porte, comum nas indústrias. Assim será possível analisar o funcionamento das cortinas de luz em condições de ligeira vibração e a altas velocidades, como as normalmente encontradas no meio industrial.

Do mesmo modo, a interface humano-máquina (HMI) deverá ter aplicações úteis, para que seja acessível a interacção entre um operador e o sistema. Avisos de avaria no controlador ou na cortina de luz, acesso rápido a leituras de um objecto, ou a possibilidade de configuração da aquisição e tratamento de dados, são funções que não poderão faltar numa HMI de um sistema de inspecção. Igualmente, terão que haver objectos/testes pré-configurados que, ao serem seleccionados, permitirão a sua análise directa sem que seja necessário programação.

No controlador será realizada toda a parte que determinará a avaliação do objecto, desde ao modo de aquisição e tratamento de dados até à classificação final. Então, poder considerado o cérebro de todo o sistema, pelo que a sua capacidade de “raciocínio” deverá ser realizada de forma rápida e eficaz.

Nos subcapítulos seguintes serão apresentados os principais requisitos para a determinação dos componentes a utilizar no sistema automático de inspecção.

3.1.1 Requisitos do controlador

Num sistema automático de inspecção, o controlador escolhido tomará um papel preponderante, pois será através dele que todas as decisões do sistema serão tomadas. Deste modo a selecção do controlador, conjuntamente com a do sensor, é das mais importantes e decisivas no desempenho final do sistema. Os principais requisitos para a sua escolha são:

Velocidade de processamento ou tempo de resposta – Num sistema de reconhecimento de padrões por cortina de luz, não são raras as vezes que se pretendem frequências altíssimas na recolha de amostras do objecto (Quanto maior a frequência, maior o número de amostras do objecto e, conseqüentemente, mais informação sobre este). Deste modo, o controlador deverá possuir uma velocidade de processamento razoável, de forma a não influenciar negativamente a leitura do item analisado e, também, para que a classificação do objecto possa ser executada rapidamente.

Memória - O controlador também deverá possibilitar o armazenamento de um número significativo de dados. Ao realizar um processo de reconhecimento de padrões, é essencial a recolha de vários dados do item, pelo que será necessário que o controlador tenha condições para os armazenar e posteriormente realizar o tratamento adequado.

Integração com outros equipamentos – Este requisito é muito importante visto que o controlador necessitará de se comunicar com outros dispositivos, como a cortina de luz e uma interface humano-máquina (HMI). Em ambos os casos, a comunicação será realizada em série através de cabos RS-232, de modo que será necessário que o controlador escolhido possua pelo menos duas portas deste tipo.

Linguagem de programação – Relativamente aos recursos de software do controlador, é relevante que este possibilite a execução de tarefas especiais, como cálculos matemáticos e manipulação directa de dados na memória, através de funções disponíveis na linguagem de programação disponível.

Fabricante – Será dada preferência a um controlador que seja do mesmo fabricante do sensor utilizado, de forma a evitar possíveis problemas de compatibilidade entre ambos os componentes.

Custo – Um dos requisitos a ter em conta, é também o custo do controlador. Assim, será dada preferência ao controlador mais barato que reúna as exigências anteriormente descritas.

3.1.2 Requisitos da Interface Humano-Máquina (HMI)

De forma a possibilitar a interacção entre o humano e o sistema, será também escolhida uma Interface Humano-Máquina (HMI). Através da HMI será possível visualizar o estado das variáveis desejadas provenientes do sistema de memória do controlador, como também alterar esses valores. A sua escolha também terá que cumprir alguns requisitos de forma a cumprir as suas funções adequadamente e a facilitar a compreensão do utilizador. Os principais requisitos são:

Velocidade de processamento ou tempo de resposta – Do mesmo modo que no controlador, será importante também que a HMI possua uma velocidade de processamento rápida, de maneira a poder visualizar e alterar os estados das variáveis em tempo real.

Design – De maneira a facilitar o uso e compreensão do utilizador, pretende-se que a HMI tome a forma de uma consola de ecrã táctil. Assim, a programação será facilitada, com a possibilidade de definir o número pretendido de botões, imagens, lâmpadas, etc. A interacção entre o utilizador e o sistema também tornar-se-á mais intuitiva e simples.

Funcionalidades – As funcionalidades que a HMI proporciona também será um factor a ter em conta, sendo necessária uma consola que permita botões com multifunções, teclados numéricos, lâmpadas definidas por várias variáveis, etc.

Fabricante – Será dada prioridade a uma consola que seja do mesmo fabricante do controlador, de forma a evitar problemas de compatibilidade entre ambos.

Preço – O preço da HMI também será um factor a ter em conta, sendo dada prioridade aos dispositivos com menor custo.

3.1.3 Requisitos da mesa de testes

Como já foi referido anteriormente, um dos objectivos futuros deste estudo consiste na comparação entre vários sistemas que permitem o reconhecimento de padrões. Fazê-la em tempos diferentes poderá trazer incorrecções derivadas de uma mudança de luminosidade ou alteração de velocidade do motor da passadeira, entre outros. O inconveniente de montar e desmontar constantemente os dispositivos, incluindo as respectivas ligações ao autómato, poderá ser algo fastidioso e terá que ser levado também em conta.

Para completar, também é necessário referir os requisitos de instalação de alguns sensores. O alinhamento entre o receptor e o transmissor nas cortinas de luz, como o zoom e a focagem nos sistemas de visão são obrigações que, conjuntamente com o afastamento variável entre os dispositivos e a esteira transportadora, irá influenciar a programação efectuada e consequentemente os resultados obtidos.

Por esse motivo, foi decidido que seria oportuno a construção de uma nova esteira transportadora, para que todos os sensores facultados para o reconhecimento de padrões, pudessem ser montados lado a lado. Esta disposição facilitaria a análise, pois os dispositivos seriam sujeitos às mesmas condições e estariam a distâncias constantes do tapete. As desagradáveis montagens e desmontagens seriam também evitadas, tal como o descarregamento do programa para o PLC e HMI a cada investigação efectuada.

O departamento de engenharia mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, já possui uma pequena esteira transportadora para utilização em alguns estudos. Assim, tornar-se-á conveniente a construção de uma passadeira com o mesmo princípio de funcionamento, mas com dimensões maiores, para aproveitar alguns dos componentes desse mecanismo. Entre eles podemos incluir as duas rodas dentadas, o motor e o variador de velocidade.

3.1.4 Requisitos da programação

Um dos requisitos dos programas a criar no controlador e na HMI, será a apresentação de utilidades passíveis de aplicação num ambiente industrial real. Pretende-se assim, que os programas possuam condições para identificar qualquer tipo

de objectos, com diferentes dimensões, perfis, furos, orientações, entre outras características.

O programa a criar para o controlador, que permitirá a realização do reconhecimento de padrões através de uma cortina de luz, terá necessariamente que conter três partes: A primeira ordenará a aquisição de dados através do sensor e posteriormente armazená-los-á nas memórias indicadas; Na segunda parte será realizada a selecção e extracção da(s) característica(s) relevante(s) para a distinção do objecto relativamente a outros; Na terceira parte, as características extraídas serão analisadas segundo critérios previamente definidos e depois avaliadas consoante os resultados obtidos.

Na primeira parte, pretende-se que o utilizador possa seleccionar diferentes métodos de aquisição e armazenamento de dados, de forma a poder abordar o problema de diferentes maneiras consoante o objecto. Do mesmo modo, o utilizador deverá poder configurar todas as condições que influenciarão a recolha de dados, como o período de amostragem ou o número máximo de amostras. À medida que a aquisição é realizada o utilizador deverá poder vê-la através da HMI.

Na segunda parte, um dos requisitos da solução é a possibilidade de seleccionar a característica directamente através de coordenadas. Ao criar esta função, será mais acessível posteriormente a selecção de características de cada objecto, sendo apenas necessário identificar as coordenadas que as contornam.

Finalmente, na terceira fase, a classificação do objecto será realizada seguindo um método heurístico, ou seja, por meio de quantificação de proximidade a um determinado objecto/característica. Assim sendo, serão aplicados os conceitos de “características comuns” e “modelos comuns”. Deste modo, será necessário criar critérios de avaliação, que permitam comparar as características/modelos obtidas com as já previamente guardadas.

3.2 Arquitectura da solução

Após a definição dos requisitos necessários para a realização de um sistema automático de inspecção, foi realizado o processo de selecção dos seus componentes e

posteriormente a sua programação. Na **Fig. 3.1** estão representados todos os constituintes utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

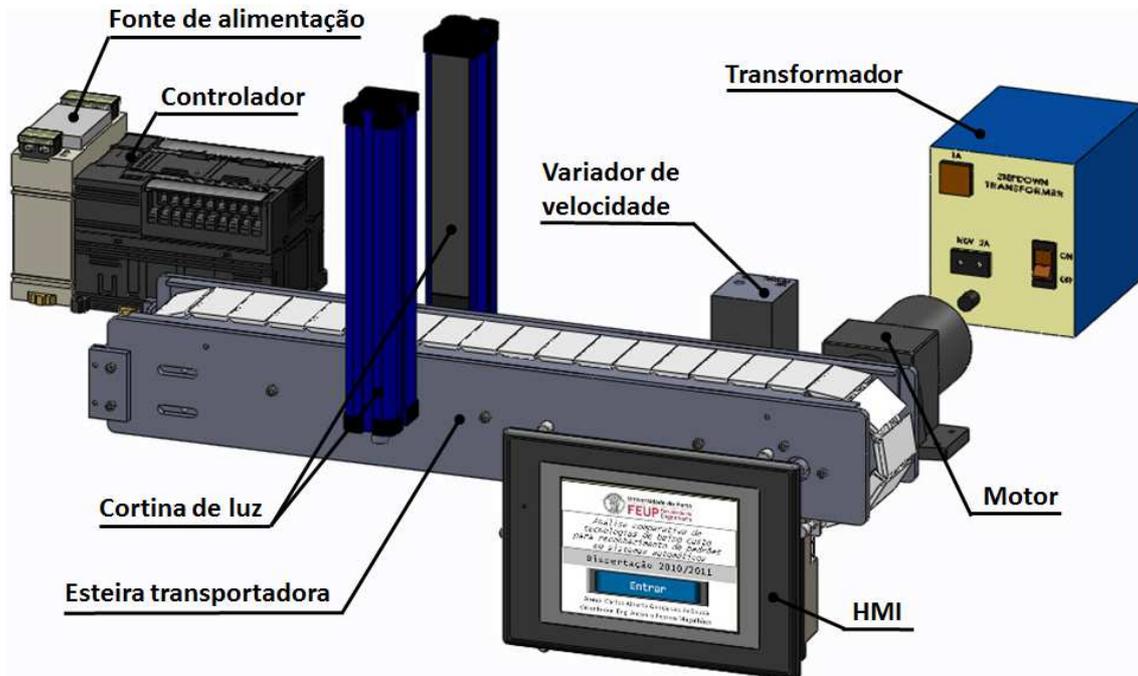


Fig. 3.1 - Constituintes utilizados no decorrer da dissertação.

3.2.1 Modelo de Hardware

De maneira a realizar um sistema completamente automático que permite o reconhecimento de padrões e que cumpra todos os requisitos apresentados anteriormente, foi escolhida uma cortina de luz, um controlador lógico programável (PLC) e uma consola táctil – HMI.

Um dos motivos para a escolha de um PLC deveu-se a estes serem capazes de funcionar em situações difíceis de ambiente industrial. Um PLC suporta condições onde existe quantidades de vibrações mecânicas, humidade ou interferências electromagnéticas. Apesar de na realidade, este trabalho estar a ser realizado num laboratório com condições normais, a ideia desta dissertação é de criar condições para que este sistema possa ser implementado em qualquer indústria, onde possa ser útil. [25]

Outra vantagem do PLC, relaciona-se com a forma de como o software e hardware são projectados. Estes são facilmente programáveis através de linguagens padronizadas, aprendidas por qualquer operador na área. A detecção de avarias ou diagnósticos de mau funcionamento são facilmente reconhecidos e a conexão de entradas e saídas é muito acessível. [25]

Ao contrário de um computador que executa vários programas e tarefas simultaneamente com uma ordem indefinida, um PLC padrão executa apenas um programa de forma sequencial e ordenada, da primeira à última instrução. Para muitas situações na indústria e neste trabalho em particular, este formato é vantajoso pela sua organização e simplicidade. [25]

Apesar de geralmente, o PLC possuir menor capacidade de memória e menor velocidade de processamento que um computador, os autómatos programáveis possuem um hardware e sistema operativo optimizados para controlo, o que permite maior fiabilidade no seu desempenho. Neste trabalho o processo a realizar é relativamente simples, pelo que um PLC conseguirá cumprir os requisitos necessários, não se justificando assim pagar o custo superior dos computadores. [25]

A opção por uma consola táctil para permitir a interacção entre o utilizador com o sistema, deveu-se basicamente a cumprir os requisitos apontados anteriormente. Será possível assim definir o número pretendido de botões, imagens e/ou lâmpadas, em cada painel e permite que a interacção entre o utilizador e o sistema também se torne mais simples e intuitiva.

A comunicação entre o PLC com os outros dois dispositivos será toda realizada em série através de cabos RS-232, o que permite que a comunicação seja realizada simultaneamente e bidireccionalmente (*Full-duplex*). Assim, a transmissão e recepção é realizada ao mesmo tempo, o que permitirá maior velocidade na troca de dados. A outra comunicação existente, mas apenas na fase de programação, será realizada por modo USB entre o computador e o PLC e HMI. Na **Fig. 3.2** é possível visualizar o esquema de comunicações que serão utilizadas neste trabalho.[26]

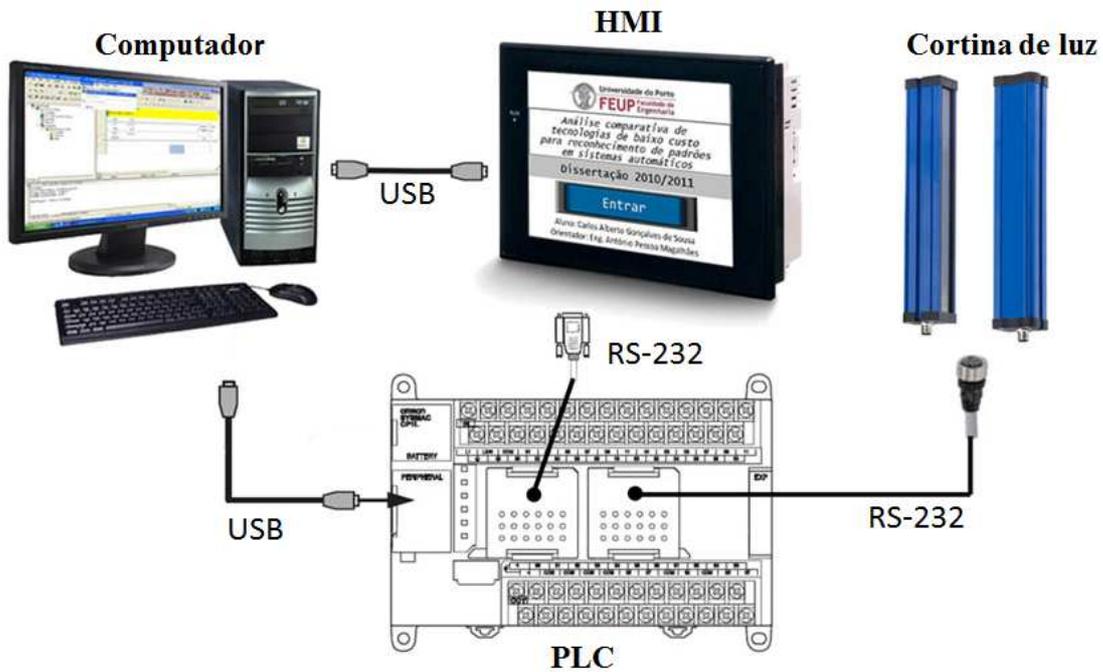


Fig. 3.2 - Ligações entre o computador, PLC, HMI e cortina de luz.

3.2.1.1 Cortina de luz

Para o desenvolvimento do sistema automático de inspeção foi cedida pela faculdade uma cortina de luz da marca OMRON[®] da série F3EM-005-150-D2. O emissor destas cortinas de luz transmite feixes de luz infravermelhos invisíveis por 30 LEDs, sendo estes recebidos posteriormente por outros tantos fototransistores posicionados no receptor. A distância entre um e outro não poderá exceder os 3 metros e a altura da peça não poderá ser superior a 15 cm (altura do ultimo feixe de luz). Este valor é muito aceitável visto que os testes serão efectuados numa pequena esteira transportadora e os objectos feitos para análise não excedem essas dimensões. O espaçamento entre sensores (resolução) é de 5mm o que também é razoável, limitando apenas na análise de furos que veremos mais à frente. Na **Tabela 3** é possível visualizar mais algumas especificações relevantes destes sensores. [27]

Tabela 3 - Algumas especificações da cortina de luz F3EM-005-150-D2.[27]

Característica	F3EM-005-150-D2
Distância de detecção	0 até 3m
Medição vertical	0 até 15cm
Tamanho mínimo de objecto detectado	10mm
Resolução	5mm
Fonte de luz (Comprimento de onda)	Infravermelho (950nm)
Tensão de alimentação	24V \pm 10%
Temperatura ambiente	0 até 50°C
Dimensões	35x45x225 mm

Embora seja sugerida a ideia, em ilustrações de catálogos e livros, que os feixes de luz são emitidos e recebidos simultaneamente, na realidade esta transmissão e recepção de luz é realizada de forma sequencial e sincronizada, de maneira a evitar que um fototransistor detecte a luz de outro emissor, que não o seu par. As cortinas de luz utilizadas neste trabalho permitem que esta sincronização seja realizada de forma óptica, não sendo assim necessária a utilização de cabos para esse objectivo. Esta função é concretizada pelo último feixe de luz que deverá estar sempre livre durante a operação, caso contrário deixará de haver sincronismo entre o receptor e o emissor. Neste trabalho em particular, esta situação não trará qualquer tipo de problema visto que as peças serão de dimensões reduzidas. No entanto, caso fosse necessário utilizar o ultimo feixe de luz para medição, o fabricante disponibiliza a possibilidade de executar o sincronismo por um cabo. [27]

A aquisição de dados pode ser efectuada de duas formas: Por definição de distância (Modelo analógico) ou por velocidade de transmissão (Modelo digital). Na primeira, o sinal de saída passa por um conversor digital/analógico resultando numa tensão, que é directamente relacionada com o número de feixes de luz interceptados. Caso sejam detectados mais que um objecto simultaneamente, o sistema irá ler a totalidade dos feixes de luz interrompidos, apresentando o sinal de saída em proporção da soma dos objectos em questão. Segundo o catálogo do fabricante, o valor de saída de tensão será então dado por: [27]

$$Tensão\ de\ saída = \frac{10}{N^{\circ}\ de\ feixes\ de\ luz} \times N^{\circ}\ de\ feixes\ de\ luz\ interrompidos\ [V]$$

Assim, podemos interpretar pela fórmula que, caso nenhum feixe de luz seja interrompido a tensão de saída tomará o valor de 0V e, caso todos os feixes de luz sejam interceptados a tensão será de 10V.

Utilizando o modelo digital, a cortina de luz responde com um número fixo de bytes que permitirá conhecer o estado de todos os feixes de luz nesse determinado instante. Visto que o nosso dispositivo emite 30 feixes de luz e que cada um deles corresponderá a um bit, então serão recebidos 4 bytes em cada aquisição. Quando um feixe de luz for interceptado, o bit correspondente a si tomará o valor '1' e, caso seja detectado pelo fototransistor, tomará o valor '0'. Na **Fig. 3.3** é possível verificar a disposição de cada feixe de luz pelos 4 bytes, sendo os últimos dois bits sempre nulos. [27]

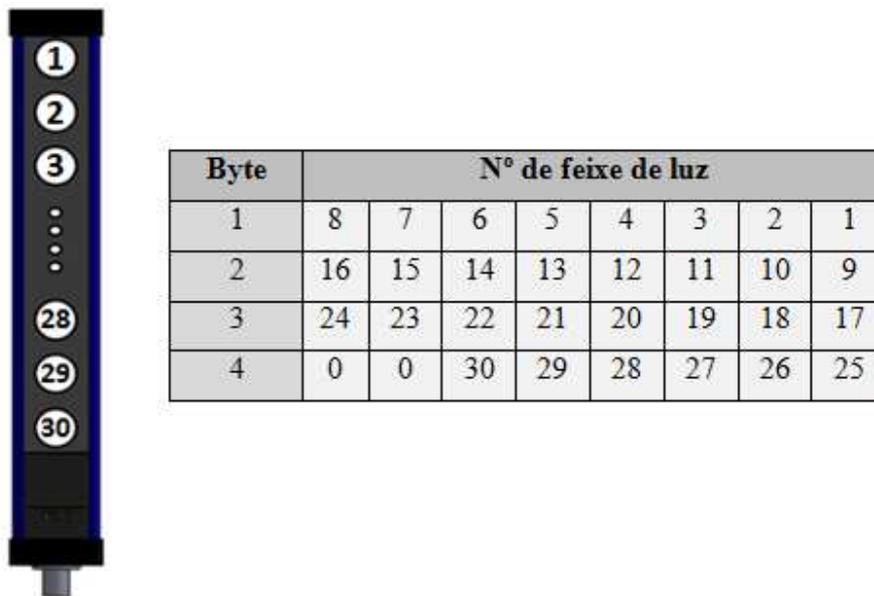


Fig. 3.3 - Disposição de cada feixe de luz pelo número de bytes existentes. [27]

A aquisição de dados por modo digital poderá ser feita em resposta a um comando de um controlador, ou por ordem de um dispositivo exterior (sensor). Por resposta a um comando, é enviado um byte com a palavra #BF em hexadecimal pelo controlador, ao qual a cortina de luz responde com o estado dos sensores de luz, pelo método já referido. Por resposta a um dispositivo exterior, a cortina de luz realiza a aquisição de dados quando lhe é enviado um sinal por outro sensor. [27]



Fig. 3.4 - Representação esquemática do modelo digital com resposta a comando.

Para o estudo sobre o reconhecimento de padrões, a aplicação do modelo analógico foi excluída, dando total atenção ao modelo digital accionado em resposta a um comando. A razão dessa escolha deve-se essencialmente à necessidade de tratamento de dados adquiridos. Como foi visto, caso fosse escolhido um modo analógico, seriam obtidos resultados em tensão directamente relacionados com a totalidade do número de feixes de luz interceptados. Porém, desse modo não seria possível identificar quais os feixes de luz interrompidos, não permitindo assim identificar o perfil de um objecto. Pelo contrário, no modelo digital cada feixe de luz é representado de modo binário (interceptado ou não), sendo assim possível reconhecer o perfil de um objecto através de várias aquisições de dados do item. A **Fig. 3.4** representa esquematicamente o processo que será utilizado no decorrer deste trabalho.

3.2.1.2 PLC

Para comandar a cortina de luz, foi utilizado um controlador lógico programável da OMRON[®], série CP1L-M30DT1-D. A escolha recaiu sobre este autómato por este cumprir todos os requisitos apresentados no início deste capítulo. Este controlador possui o tamanho compacto de um micro-PLC, fornece uma velocidade de processamento superior à de outros controladores e apresenta uma boa relação preço/desempenho. O outro motivo deve-se à possibilidade de incluir neste autómato duas portas séries RS-232, que permitirão a ligação à cortina de luz e à HMI. Finalmente, este controlador pertence ao mesmo fabricante da cortina de luz utilizada, o

que permitirá evitar alguns possíveis problemas de compatibilidade entre ambos os componentes.

Este PLC possui ainda 18 entradas (*Inputs*) e 12 saídas (*Outputs*), podendo chegar até às 150 I/O (*Inputs/Outputs*) com a adição de até 3 expansões. Neste projecto não foi necessária a utilização de nenhuma das entradas e saídas disponíveis, pois todas as ligações ao exterior foram efectuadas ou pelas portas série, ou pela porta USB para a ligação ao computador. [28]

Este modelo de PLC apenas permite que a linguagem utilizada nos programas seja efectuada em diagramas de escada (*Ladder*), no entanto a programação das funções de blocos poderá incluir, para além dos diagramas de escada, a utilização de texto estruturado. Para a prática de instruções, o autómato disponibiliza também várias áreas, onde podemos incluir entre as mais utilizadas, a área de registo de dados (DM de *Data Memory*), a área de bits de entrada ou saída (CIO de *Control Input/Output*), a área de temporizadores (T) ou a área contadores (C). Em anexo na página 114 é possível visualizar a tabela de especificações do PLC CP1L-M30DT1-D. [28]

Software de programação do PLC

Para a programação do autómato foi utilizado o software CX-Programmer, que se encontra integrado no pacote CX-One distribuído pela própria OMRON®. Neste software é possível programar três linguagens distintas: Texto estruturado, gráficos de função sequencial e por diagramas de escada, no entanto, como já referido anteriormente, o PLC utilizado da série CP1L apenas permite a utilização de diagramas de escada nos seus programas, podendo também ser utilizado texto estruturado na programação de funções de blocos. É possível no entanto, efectuar toda a programação em texto estruturado como se apenas de blocos de funções se tratasse. A ligação a outros blocos de funções é permitida e a utilização de texto estruturado poderia trazer benefícios em termos de metodologia de programação. Todavia, esta opção limita a extensão do programa, ocupando rapidamente a memória, resultando numa lentidão do processo. Assim sendo, toda a programação será efectuada utilizando diagramas de escada. [28][29]

Outra característica do CX-Programmer, é a possibilidade de visualização de todas as memórias em modo online, actualizando-as em tempo real. Esta opção será

fundamental ao longo de todo o processo de programação neste trabalho, visto que por vezes será necessária a verificação de todas as amostras de um objecto, bit a bit, facilitando a detecção de erros.

A lista de todas as variáveis utilizadas também é visível conjuntamente com a sua denominação, facilitando o desenvolvimento do programa, pois permite que seja actualizada e/ou corrigida a qualquer instante.

A compilação entre variáveis e blocos de funções é efectuada por tarefas (*Tasks*), que conjuntamente com outras tarefas são colocadas em secções. O grupo total de secções forma então o programa final. Um ciclo de trabalho do PLC inicia-se então na primeira tarefa da primeira secção, e termina na última tarefa da última secção, executando todas as tarefas uma vez. Para este programa é necessário que o ciclo de trabalho seja o mais reduzido possível de forma que não influencie os resultados obtidos na aquisição de dados. [29]

Na **Fig. 3.5** é possível visualizar o ambiente de trabalho do software CX-Programmer.

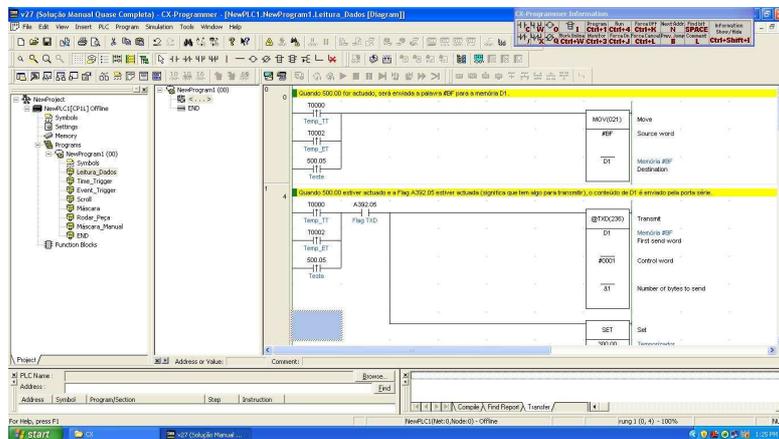


Fig. 3.5 - Ambiente de trabalho do programa CX-Programmer.

3.2.1.3 HMI

A interface elegida para a interacção entre o humano e a máquina, foi o modelo NS5_SQ11B_V2 da OMRON®. Um dos motivos para a escolha deste dispositivo, deveu-se a ser do mesmo fabricante que o PLC e cortina de luz, evitando assim possíveis problemas de compatibilidade. Outro dos motivos para a selecção desta consola, relacionou-se com a tecnologia recente da mesma. O facto de a HMI possuir

um ecrã a cores e a possibilidade de criação de botões com multifunções foram razões determinantes para a sua eleição. Finalmente, também é de realçar que esta HMI possui uma boa velocidade de processamento, uma memória relativamente grande (60Mb) e assim, uma boa relação preço/desempenho. [30]

Esta interface consiste num modelo com um tamanho reduzido (142x195x54 mm), que possui um ecrã com 320x240 *pixels* a cores de área útil. Nesse ecrã existem 300 pontos de contacto, numa distribuição 15 vertical x 20 horizontal. Ao pressionar esses pontos de contacto é possível o envio de ordens ou dados para o PLC, ou alterar a janela do ecrã. A visualização de janelas em formato *Pop up* também é possível, o que facilita a organização do programa. [30]

Através da consola, é possível alterar o modo de operação do autómato programável, interagindo directamente com as suas memórias, possibilitando a sua visualização e escrita de palavras. Para a escrita de palavras é possível a utilização de janelas numéricas ou com caracteres, para a inserção dos valores pretendidos pelo operador. [30]

Esta consola também poderá ser útil quando for realizada a comparação entre outros sensores, após a construção da plataforma de testes estar concretizada. No caso dos sistemas de visão esta consola permite, por exemplo, que seja possível a visualização da imagem retirada pelas câmaras através da HMI.

Software de programação da HMI

O software de programação da consola é o CX-Designer, também pertencente ao pacote CX-One distribuído pela OMRON[®]. Neste software são editados todos os ecrãs visíveis na interface, acrescentando vários objectos aos quais atribuímos valores ou variáveis do PLC.

O CX-Designer permite a visualização de todas as telas, alarmes e outras configurações comuns, numa árvore de directórios no espaço de trabalho. Assim, torna-se fácil de gerir e organizar cada tela, podendo inclusive, copiar entre espaços de trabalho de múltiplos projectos ou dentro do mesmo projecto.

Este software também permite configurar os objectos funcionais sem abrir caixas de diálogo. Quando mais do que um objecto é seleccionado, as configurações

comuns para os objectos podem ser alteradas em uma operação de lista de propriedades. Esta função será útil na criação das telas, onde serão visíveis os perfis dos objectos. Nessas telas, serão necessárias centenas de lâmpadas (representando cada um dos bits visíveis), pelo que a configuração tornar-se-ia ainda mais monótona e cansativa sem esta ferramenta.

A transferência de dados entre o computador e a consola é feita através de um cabo USB e permite o envio de apenas dados editados, evitando assim que se perca tempo a transferir dados já anteriormente transmitidos. Este modo de transferência rápida permite uma redução do tempo de transferência e aumento de eficiência. [31]

É possível conectar posteriormente o CX-Designer a outro software da OMRON[®], CX-Simulator, que permite a simulação do sistema criado (PLC+HMI), de forma a testar a programação efectuada e detectar possíveis erros.

3.2.2 Modelo de Software

De forma a ser possível realizar o reconhecimento de padrões através do sistema de inspecção automático, os dados terão que circular por todo o hardware existente na solução. Deste modo, antes de mais, é necessário referir o protocolo que permite a comunicação entre estes componentes.

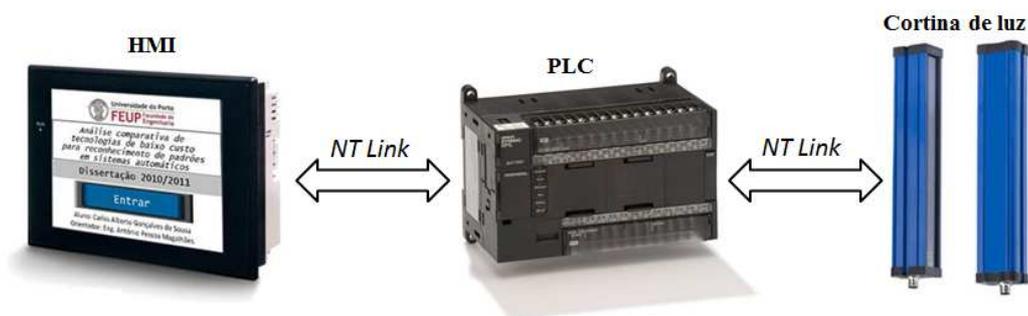


Fig. 3.6 - Protocolo utilizado no sistema de inspecção.

O facto dos três dispositivos serem do mesmo fabricante, beneficia a escolha do protocolo de comunicação a ser utilizado. Tanto a comunicação entre o PLC e a cortina de luz, como entre o PLC e a HMI, será realizada seguindo o protocolo *NT Link* desenvolvido pela OMRON[®], especificado directamente para os produtos desta marca (ver **Fig. 3.6**). Com este protocolo, o PLC responde automaticamente aos comandos

enviados pelos dispositivos externos, não requerendo qualquer tipo de programação extra de comunicações.

A programação do sistema de inspecção a ser criada terá necessariamente que ser dividida em dois grupos: programação da consola e programação do controlador. Apesar da distinção, estes dois grupos complementar-se-ão e necessitarão de funcionar em completa harmonia de forma que o sistema automático de inspecção cumpra as suas funcionalidades.

3.2.2.1 Software do PLC

Na programação realizada para o controlador, esta será dividida em três partes: Aquisição e armazenamento de dados, extracção das características e classificação do objecto (Ver **Fig. 3.7**).

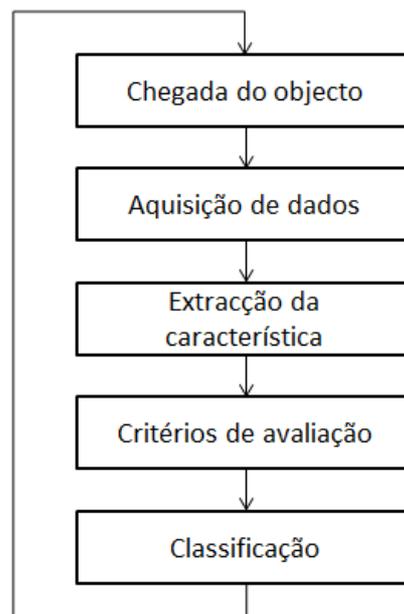


Fig. 3.7 - Modelo geral do software do PLC.

Aquisição de dados

A aquisição de dados poderá ser realizada por dois métodos distintos, designadamente através de disparo por tempo (*Time driven* ou *time trigger*) ou mediante disparo por eventos (*Event driven* ou *event trigger*). No primeiro caso, *Time Trigger*, a aquisição é regida por um sinal de relógio tempo-real do sistema, que actualiza e guarda a amostra adquirida com uma periodicidade definida pelo operador. No segundo caso, *Event Trigger*, a aquisição é efectuada com um período já pré-definido na programação,

guardando apenas quando a amostra for diferente à imediatamente anterior. Em ambos os casos a aquisição será limitada pelo número máximo de amostras, parando o recebimento de dados mal este valor seja igualado. Na **Fig. 3.8** é possível visualizar um exemplo de aquisição de dados de um objecto por ambos os métodos referidos.

O método por *Time Trigger* é o mais comum, pois permite armazenar os dados do objecto de modo contínuo com uma periodicidade igual. Através deste método, serão armazenados todos os dados do objecto, possibilitando assim armazenar e visualizar o seu perfil exactamente como foi adquirido. No entanto, por vezes a aquisição por este método implica muitos dados repetidos que ocuparão a memória do PLC desnecessariamente. É neste sentido que é útil a utilização da aquisição por *Event Trigger*, pois através deste método apenas são armazenados os dados que diferem dos anteriormente guardados, reduzindo assim a memória ocupada. No entanto, este método tem o inconveniente de poder, por vezes, levar a interpretações desadequadas do objecto.

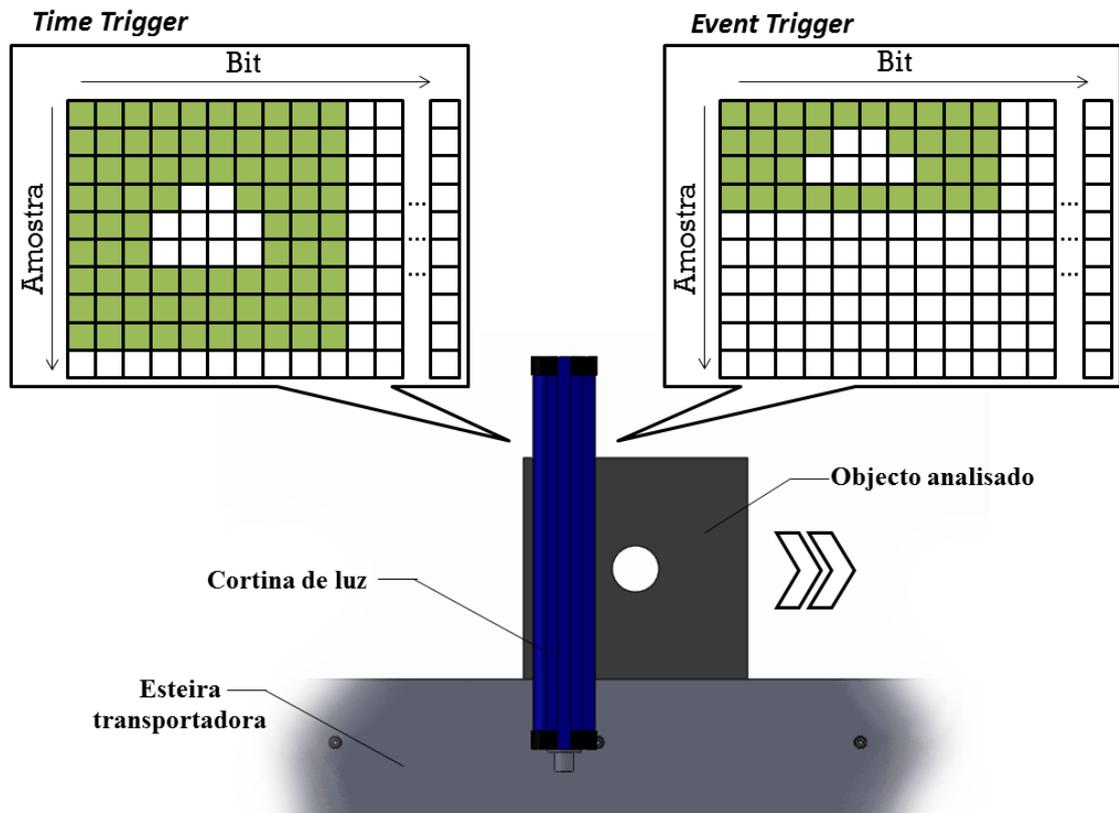


Fig. 3.8 - Aquisição de dados de um objecto por Time Trigger (esquerda) e Event Trigger (direita).

Uma terceira opção de aquisição de dados foi pensada, mais especificamente, através de disparo por espaços (*Space Trigger*). Neste método a aquisição é governada pela relação entre a velocidade da esteira transportadora e o tamanho do objecto

analisado, repartindo o objecto em parcelas idênticas pelo número máximo de amostras que é pré-definido. Por exemplo: Se for analisado um objecto com 10cm de largura, a esteira transportadora funcionar a 20cm/s e se pretenda que o objecto seja representado em 20 amostras.

$$\textit{Largura entre cada parcela} = \frac{\textit{Largura Total}}{\textit{N}^{\circ} \textit{ de amostras}} = \frac{10}{20} = 0,5 \textit{ cm}$$

$$\textit{Período de aquisição} = \frac{\textit{Largura entre cada parcela}}{\textit{Velocidade da esteira}} = \frac{0,5 \textit{ cm}}{20 \textit{ cm/s}} = 25\textit{ms}$$

O PLC efectuará este cálculo imediatamente, ordenando ao sensor para adquirir amostras com uma periodicidade de 25ms, obtendo assim as 20 amostras pretendidas.

Com esta solução, não seriam perdidos dados do objecto em análise e garantiríamos que seriam utilizadas a totalidade das amostras disponibilizadas, aproveitando ao máximo o que o sistema tem para oferecer. Esta solução não será no entanto utilizada, visto que o motor utilizado na esteira transportadora não possui um encoder que permita calcular a sua velocidade.

Extracção de características

Após a aquisição do conjunto de dados, inicia-se o processo do seu tratamento através da selecção e extracção da(s) característica(s). A selecção será realizada através de uma máscara de forma rectangular, que envolverá a área onde a característica alvo de análise se encontra. Para a definição da máscara, será programada a possibilidade do utilizador criá-la directamente através de quatro coordenadas, correspondentes aos quatro vértices do rectângulo. Finalmente, a zona seleccionada é extraída e sujeita aos critérios de classificação que permitirão avaliar o objecto. Para cada objecto, será possível extrair até cinco máscaras, cabendo ao utilizador a decisão do número de máscaras necessárias para o respectivo objecto.

Na **Fig. 3.9** é possível visualizar um exemplo da selecção da característica (neste caso é o furo ao centro) através de uma máscara (a azul) e posterior extracção, para o objecto apresentado na **Fig. 3.8**.

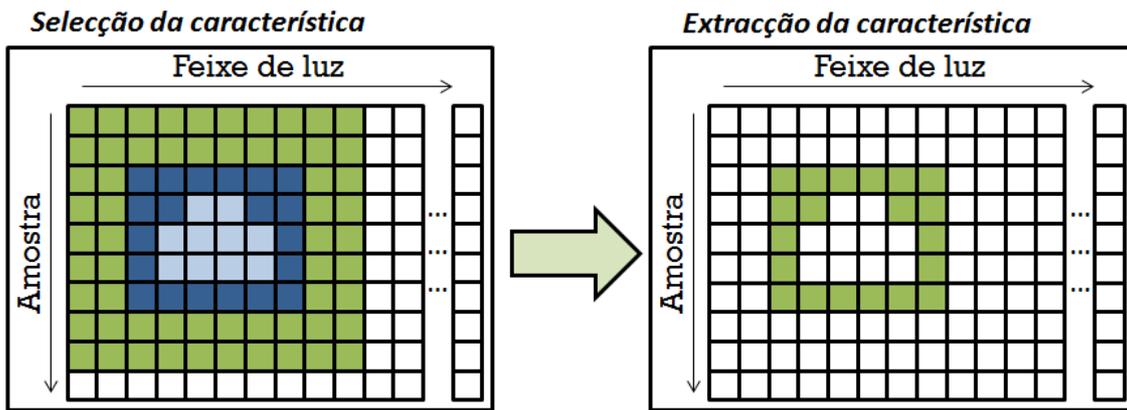


Fig. 3.9 - Seleção e extracção da característica.

Classificação do objecto

Para a classificação do objecto serão utilizados três critérios de avaliação: Número de bits a '1', número de transições na horizontal e número de transições na vertical. O número de bits a '1' representa a totalidade do número de feixes de luz interceptados na área seleccionada pela máscara. O número de transições na horizontal e vertical representam a totalidade do número de transições ascendentes (transição do bit a '0' para outro bit a '1') segundo as suas orientações na área do objecto seleccionada pela máscara. Na figura **Fig. 3.10** é possível visualizar a avaliação da característica do objecto apresentado nos casos anteriores, segundo os três critérios de classificação.

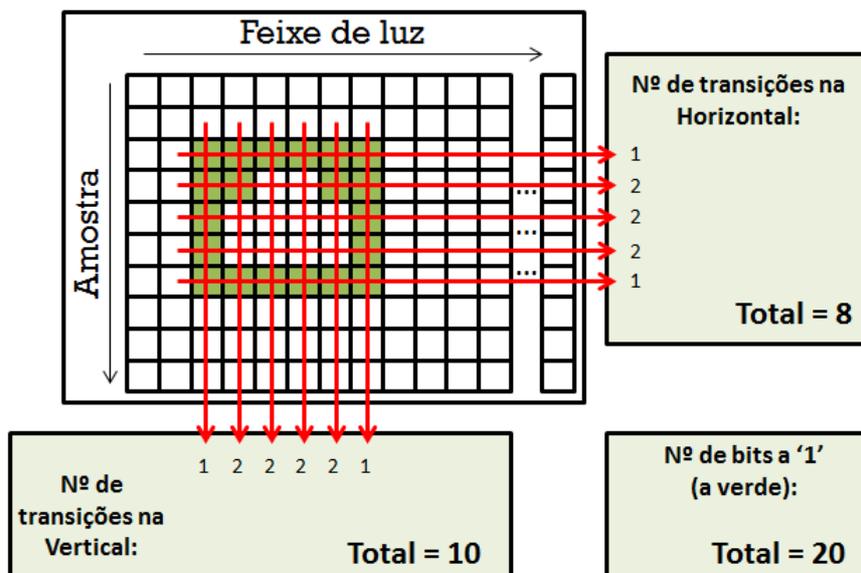


Fig. 3.10 - Critérios de avaliação para um objecto com furo.

A escolha destes três critérios deve-se a poder, através do número de bits a '1', verificar a existência ou ausência de material numa determinada área do item, enquanto através do número de transições é possível identificar furos/cortes no objecto, como as suas posições. Com a conjugação dos três, será possível reconhecer o padrão de vários objectos, desde que seja aplicada a máscara na posição correcta. Assim, como já referido anteriormente, a selecção correcta da característica será fundamental para o resultado final da identificação do objecto.

Finalmente, para quantificar a proximidade a um determinado objecto/característica, que permite a sua classificação, serão utilizados dois limites (superiores e inferiores) para cada um dos critérios de avaliação. A definição dos valores para cada um dos limites caberá ao utilizador, após a verificação dos resultados obtidos em cada critério para um objecto que pretenda ver identificado no futuro. A escolha dos limites terá que ser muito cuidada, pois poderá levar a uma classificação inadequada posteriormente. Caso o intervalo dos limites seja muito reduzido, correr-se-á o risco de objectos semelhantes ao objecto utilizado como "molde" não serem identificados. Pelo contrário, se os limites possuírem um intervalo muito grande, poderão ser identificados objectos que não possuem as mesmas características.

Por exemplo: Utilizando o objecto visto na **Fig. 3.10** como modelo para futuras comparações. Inicialmente são visualizados os valores obtidos para cada critério:

Número de bits a '1' – 20

Número de transições ascendentes na horizontal – 8

Número de transições ascendentes na vertical – 10

Para quantificar a proximidade a esta característica, são impostos os limites superiores e inferiores para cada um dos critérios utilizados, que poderão ser por exemplo, os vistos na **Tabela 4**.

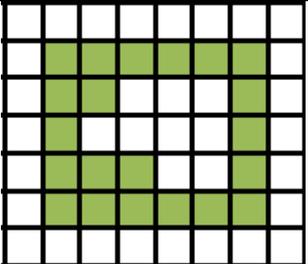
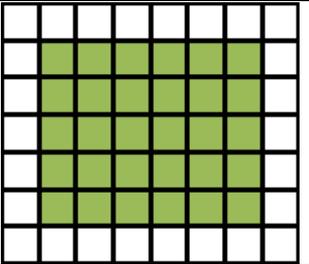
Tabela 4 - Exemplo de imposição de limites num determinado objecto.

Critério	Valor obtido	Limite mínimo	Limite máximo
Nº de bits a '1'	20	19	21
Nº de transições na horizontal	8	7	9
Nº de transições na vertical	10	9	11

Deste modo, quando for iniciado o processo de reconhecimento de padrões, cada objecto lido é submetido à avaliação através destes três critérios, segundo os limites

impostos. O objecto só será considerado igual ao utilizado como modelo, caso os resultados obtidos se encontrem dentro dos limites especificados. Na **Tabela 5** é visível o resultado de dois diferentes objectos, sujeitos a avaliação segundo os limites apresentados na **Tabela 4**. O objecto 1, apesar da imagem adquirida ser diferente, é identificado um furo que cumpre os requisitos necessários. Relativamente ao objecto 2, não cumpre nenhum dos limites impostos, logo nenhum furo é detectado e o item é considerado diferente.

Tabela 5 - Exemplo de leitura de dois objectos, classificados segundo três critérios.

	Objecto 1	Objecto 2
Objecto lido		
Nº de bits a '1'	21	30
Nº de transições na horizontal	8	5
Nº de transições na vertical	10	6
Classificação	OK	KO

3.2.2.2 Software da HMI

Na HMI serão disponibilizados três métodos de interacção com o sistema de inspecção: Leitura livre, configuração de critérios e realização de testes (ver **Fig. 3.11**).

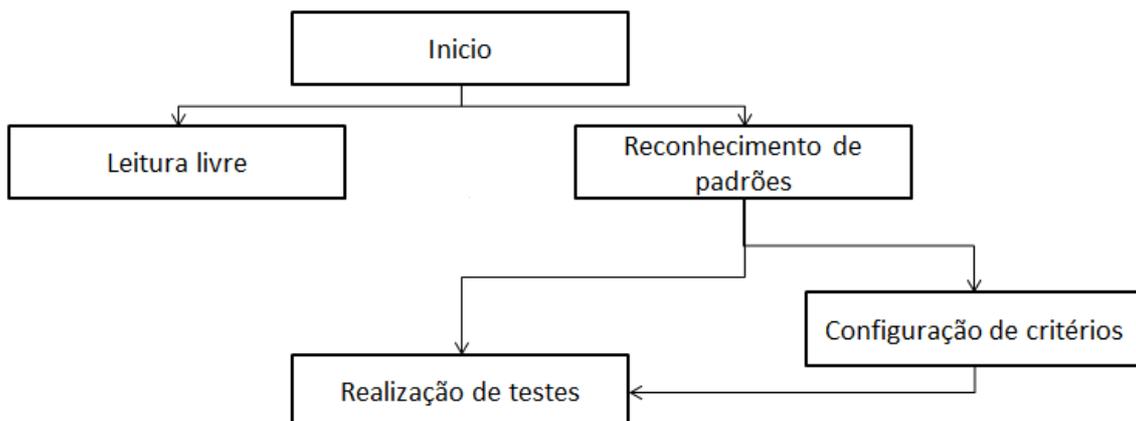


Fig. 3.11 - Modelo do software utilizado na HMI.

No primeiro, leitura livre, o utilizador poderá proceder à visualização da leitura de um objecto sem que se realize a identificação do mesmo. Este modo será útil para o

utilizador verificar o funcionamento da cortina de luz e visualizar o perfil do objecto resultante da aquisição de dados. Assim, nesta tela o utilizador poderá definir o método de aquisição de dados que pretende, (*Time Trigger* ou *Event Trigger*, período de aquisição e número máximo de amostras) que modificará as variáveis do controlador e permitirá a leitura final do objecto.

Para a execução de reconhecimento de padrões, o utilizador poderá optar entre a realização de testes a alguns objectos com os critérios já pré-definidos ou, caso pretenda identificar novos objectos, configurar a(s) nova(s) máscara(s) e critérios de avaliação.

Caso seja escolhida a realização de testes directamente, estarão disponíveis alguns casos de objectos já com a máscara e critérios previamente configurados. Os valores das coordenadas da máscara e os limites dos critérios estarão já definidos na consola e, quando seleccionado o botão correspondente ao objecto que se pretende analisar, serão definidos nas memórias indicadas do controlador. A opção por definir os valores da máscara e dos limites nos botões da consola, deve-se a evitar a perda dessa informação, caso por algum motivo sejam apagadas as memórias de dados (*Data Memory – DM*) do PLC.

No caso de o utilizador pretender configurar um novo objecto, poderá fazê-lo directamente através da consola, sem que seja necessário o conhecimento de linguagens de programação nem do funcionamento de um controlador. Será então realizado um programa que permita ao utilizador seleccionar as coordenadas da máscara directamente através do ecrã táctil e posteriormente definir os limites dos critérios nessa área. Na selecção da máscara, será disponibilizado um painel que permite a visualização do perfil do objecto que pretendemos analisar. Nesse painel, a cada lâmpada correspondente a cada bit do perfil do objecto, serão associadas duas coordenadas XY. Assim, ao pressionar as lâmpadas, essas coordenadas serão definidas no controlador, criando a máscara pretendida e apresentando imediatamente o número de bits a '1' e o número de transições ascendentes na vertical e horizontal, nessa área. Com a possibilidade de visualização desses valores, o utilizador poderá definir os limites máximos e mínimos para cada critério, que serão definidos de igual forma no controlador. Após estarem definidas todas as máscaras e limites, poderá se iniciar o procedimento dos testes.

3.2.3 Aspectos mecânicos da mesa de testes

Como referido nos anteriores capítulos, é pretendida a construção de uma nova esteira transportadora que permita no futuro, a implementação de outros sistemas de inspeção existentes. Deste modo, será necessário que a nova esteira possua aproximadamente o dobro do comprimento da existente (deverá ter aproximadamente 50cm), de maneira que os sensores possam estar distribuídos sem interferirem no funcionamento uns dos outros.

De forma a poder aproveitar os componentes da esteira transportadora já existente (Rodas dentadas, motor, variador de velocidade, etc.), será construída uma com o mesmo princípio de funcionamento.

A sua montagem será igual à esteira transportadora em posse da faculdade, colocando duas placas de aço espaçadas entre si por 8 cm, com 3 espaçadores do mesmo tamanho, distribuídos na horizontal de forma a garantir um afastamento invariável. Posteriormente dá-se a colocação dos veios com rodas dentadas nos extremos, um que se encontrará fixo e outro que poderá transladar na horizontal. Nas rodas dentadas são engrenadas depois as correntes transportadoras, fechadas em cadeia através de um pino entre a primeira e a última corrente. Para garantir um movimento linear e o mais suave possível, o veio da roda dentada que translada na horizontal é puxado para o sentido oposto do outro veio e fixo por meio de parafusos e porcas (Ver figura **Fig. 3.12**). Finalmente é colocado um motor acoplado ao veio da roda dentada fixo inicialmente que transmitirá movimento ao mecanismo.

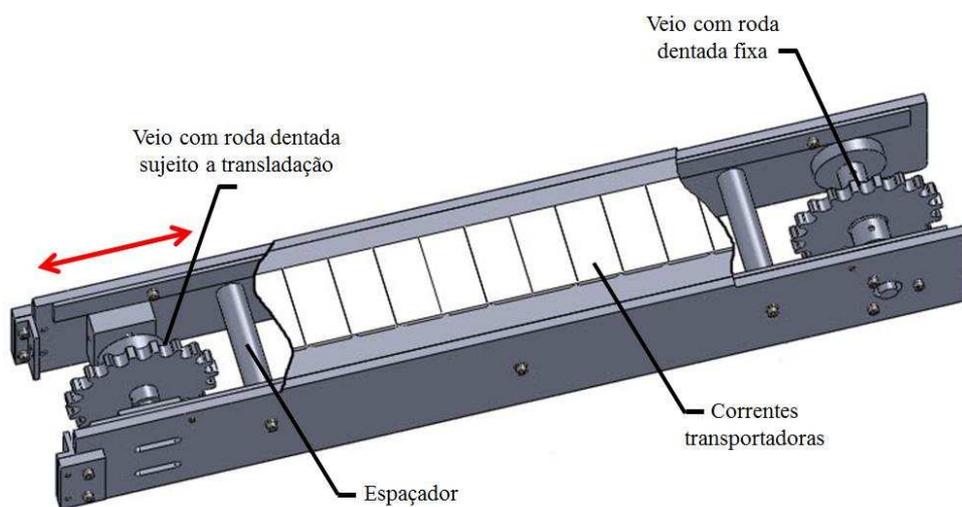


Fig. 3.12 – Esteira transportadora para estudo sobre reconhecimento de padrões.

Para este tipo de aplicações podem ser utilizados vários tipos de motores. Motores de corrente alternada são comuns essencialmente quando é pretendido uma velocidade constante, enquanto motores passo a passo são normalmente utilizados quando o posicionamento é uma prioridade. No entanto, para o nosso estudo, a variação de velocidade seria uma característica interessante, podendo ser escolhido um motor de corrente contínua sem escovas ou um motor de indução (corrente alternada), com variador de velocidade. A escolha recairá sobre o motor de indução da ORIENTAL MOTORS[®], de forma a aproveitar o motor utilizado na esteira antiga. Conjuntamente com o motor será utilizado um variador de velocidade do mesmo fabricante que, como o nome indica, permitirá que a velocidade seja alterada.

Devido à diferença de tensão utilizada no Japão (100V) em relação à Europa (220V), será também utilizado um transformador da marca TOYODEN[®].

4. Desenvolvimento da plataforma experimental

4.1 Linguagem de programação

A programação do controlador foi toda realizada em diagrama de escada (*Ladder*), visto ser a única linguagem aceite pelo PLC que permite utilizar todas as suas potencialidades. Este autómato também possibilita a programação dos blocos de funções por texto estruturado, mas tal não foi necessário.

O esquema do diagrama de escada é muito simples, possuindo duas linhas verticais que representam a alimentação e várias linhas horizontais, onde são colocados os contactos e bobinas, simbolizando o fluxo de corrente. Cada linha horizontal de programação representa assim um degrau da totalidade da escada. Com a monitorização contínua dos estados das entradas do PLC, o programa varre todos os degraus existentes (de cima para baixo), actualizando os valores das saídas consoante o projecto (como pode ser visto na **Fig. 4.1**).

Para reduzir o tamanho do programa e facilitar a sua programação, a existência de blocos de funções é também necessária. O objectivo principal destes blocos consiste na utilização de um conjunto de dados de entrada, onde executam acções ou algoritmos sobre determinados dados, produzindo posteriormente um novo conjunto de saídas.

Vários exemplos de blocos de funções podem ser encontrados, sendo extremamente difícil nomear todos. Podemos no entanto salientar os contadores, temporizadores, relógios e movimento de dados, como alguns das funções mais utilizadas na computação industrial.

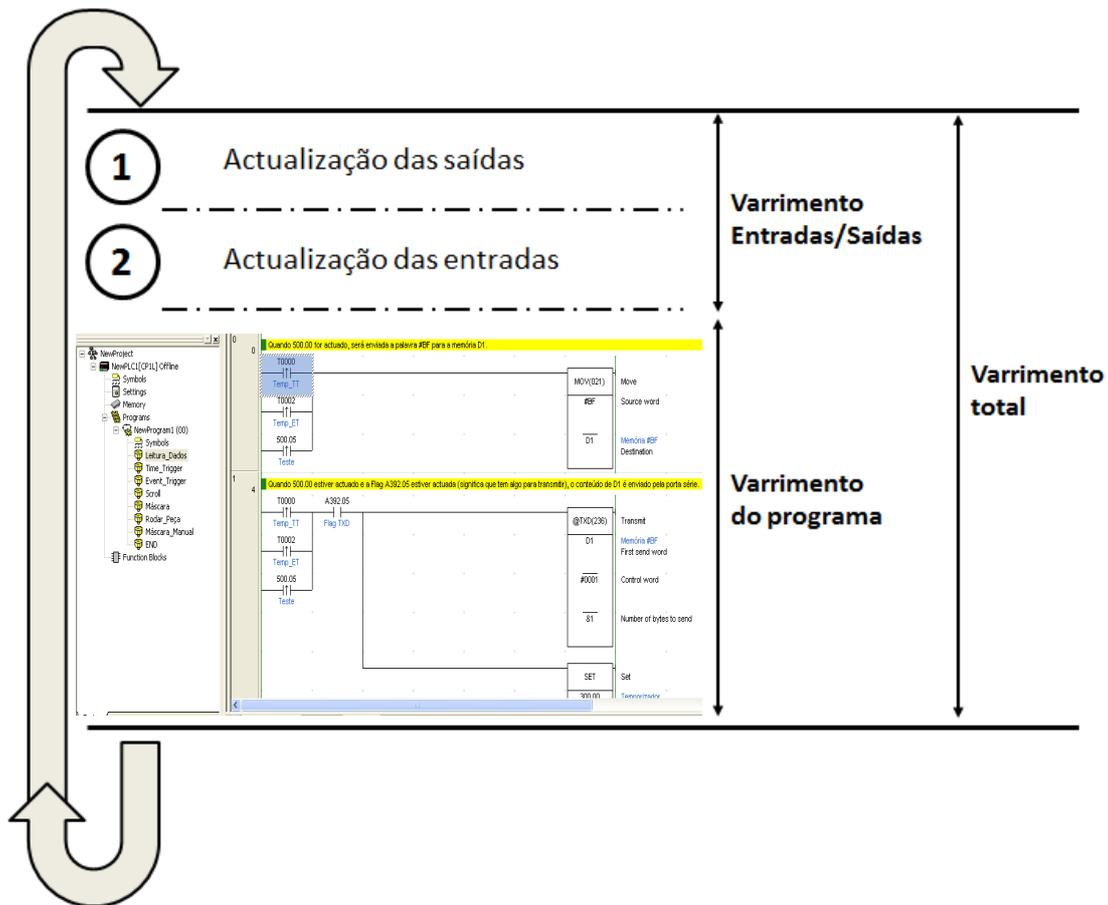


Fig. 4.1 - Exemplo de varrimento de um programa em diagrama de escada.

4.2 Funções JUMP

Foram vários os blocos de funções utilizados na programação como por exemplo: contadores, temporizadores, funções matemáticas e funções que permitem a movimentação de dados. Neste trabalho não serão especificadas todas, pois tornaria a sua leitura desagradável e provavelmente desnecessária. No entanto, a função JUMP será motivo de realce.

Esta função necessita especial atenção neste trabalho devido à sua importância na programação do mesmo. A aquisição de dados neste trabalho poderá ser realizada com períodos muito baixos – O valor mínimo permitido pelo PLC é de 10ms – pelo que é imprescindível garantir ciclos de trabalho curtos. Um ciclo de trabalho do PLC inicia-se na primeira tarefa da primeira secção, e termina na última tarefa da última secção do programa, executando todas uma vez. Com a utilização da função JUMP (JMP) / JUMP END (JME), a redução do tempo de ciclo é conseguida, pois todas as tarefas incluídas

no interior da função JUMP só serão executadas caso a condição seja verdadeira. No caso de ser falsa, o programa dará um “salto” (*Jump*) até à próxima condição verdadeira (ver **Fig. 4.2**). [29]

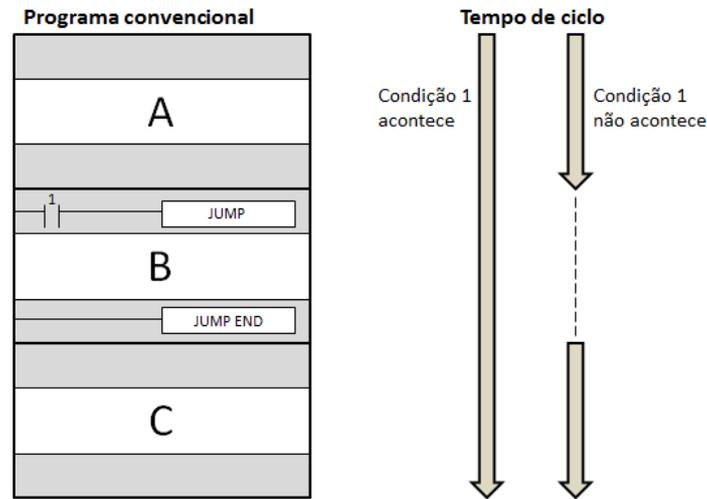


Fig. 4.2 - Interferência da função JUMP no tempo de ciclo. [29]

Estas funções foram utilizadas desde a aquisição até ao tratamento de dados, de forma a reduzir ao máximo o tempo de ciclo durante o recebimento das amostras. Foi necessário ter isto em atenção visto que, sem estas funções, o tempo de ciclo excedia o valor mínimo do período de aquisição. Deste modo foi garantido que não seriam perdidos dados do objecto em análise.[29]

4.3 Programação desenvolvida

A programação realizada neste trabalho dividiu-se em duas partes: Programação do PLC através do CX-Programmer e programação do HMI através do CX-Designer. Apesar de terem sido projectadas em softwares diferentes e para dispositivos distintos, ambas complementam-se e dependem uma da outra. As variáveis existentes no autómato programável intervêm directamente na manifestação de objectos funcionais na interface e por sua vez, ao dar valores e pressionando botões na consola, estaremos igualmente a variar os valores no PLC. Como é possível visualizar pela **Fig. 4.3**, são várias as variáveis a serem configuradas pelo utilizador através da HMI, que alterarão por completo a classificação final do sistema de inspecção. Deste modo, para um bom funcionamento do sistema, é necessário que estes dois dispositivos funcionem em harmonia.

No entanto, a explicação de ambas simultaneamente, dificultaria a compreensão e tornar-se-ia mais complicada a exposição. Consequentemente, serão divididas em partes distintas, embora tenham sido realizadas ao mesmo tempo.

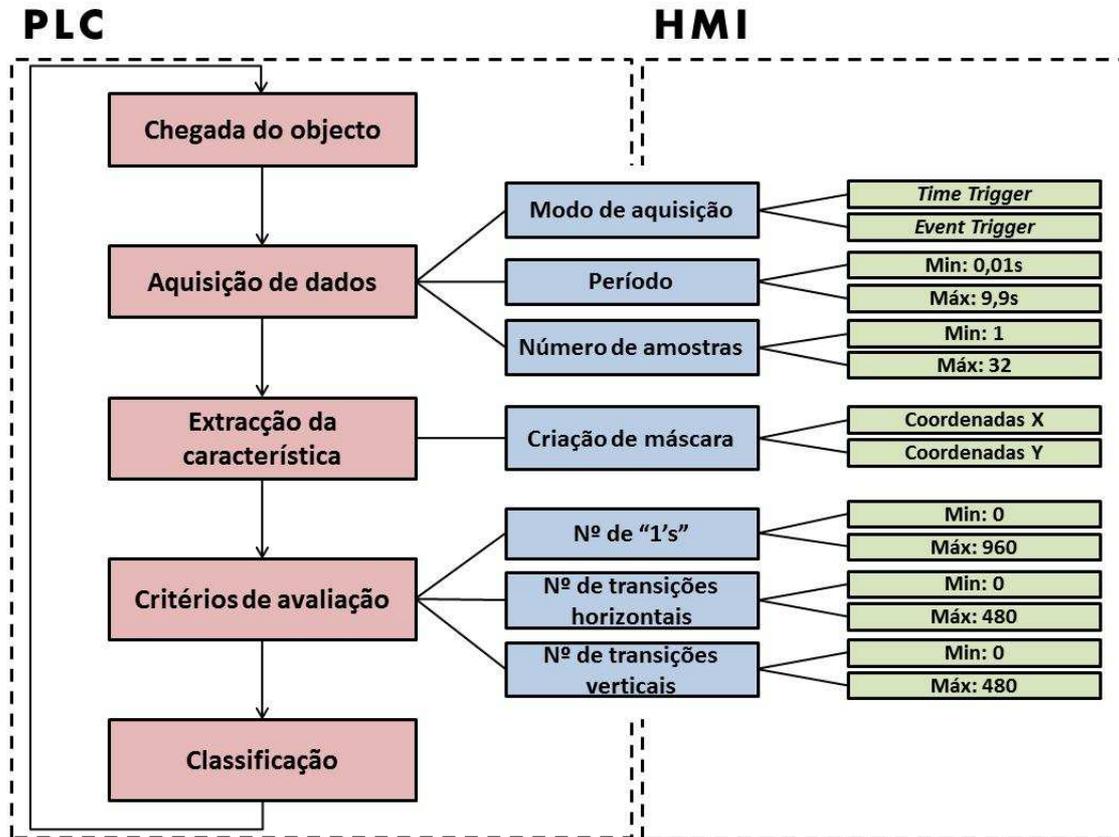


Fig. 4.3 - Modelo funcional do PLC e variáveis definidas através da HMI.

4.3.1 Aspectos da programação do PLC

O controlador é o cérebro de todo o sistema, passando por ele todo o processo de inspecção após a chegada do objecto. Como é visto na **Fig. 4.3** a vermelho, a aplicação do PLC inicia-se na aquisição de dados, onde são armazenados nas memórias indicadas, os dados adquiridos pela cortina de luz. Após a aquisição estar concluída, inicia-se o tratamento dos dados armazenados através da selecção e extracção da característica e posteriormente faz-se a classificação segundo os critérios de avaliação.

Na descrição da programação não será dado ênfase aos contactos e blocos de funções utilizados, pois isso se tornaria desinteressante e fastidioso para o leitor. No entanto, será exposto o modo de funcionamento do programa através de gráficos

funcionais de comandos (GRAFCET), seguida por uma explicação do procedimento utilizado.

4.3.1.1 Aquisição de dados

A primeira fase, aquisição de dados, permite a recolha de informação do mundo real através da cortina de luz, por forma a gerar dados que possam ser manipulados pelo PLC. A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste programa pode ser vista na **Fig. 4.4.**

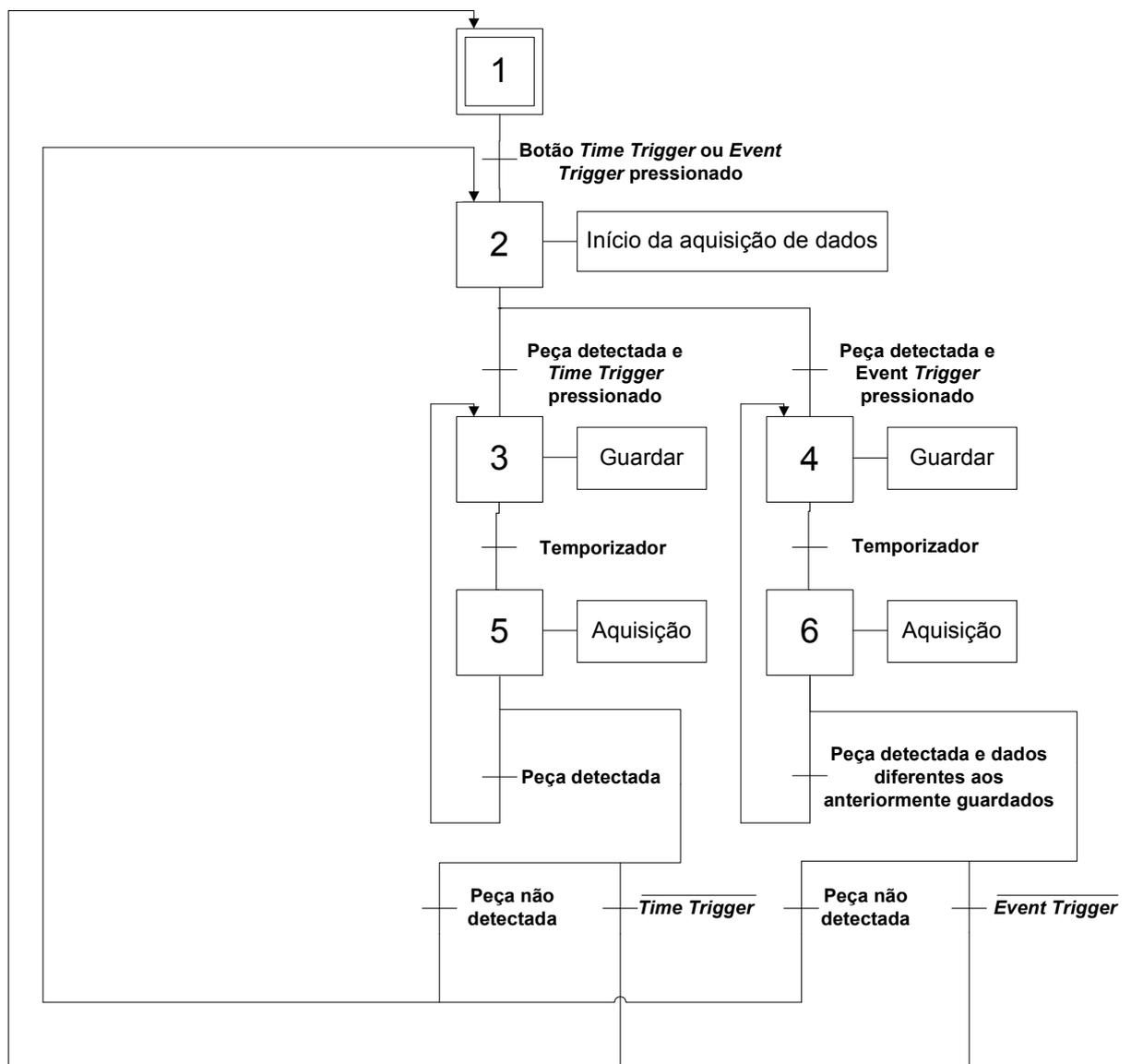


Fig. 4.4 - Grafcet da aquisição de dados.

O programa inicia-se com a selecção do método de aquisição de dados pretendido, através da HMI. Ao ser pressionada uma das opções, *Time Trigger* ou *Event Trigger*, a cortina de luz iniciará a recolha dos dados exteriores, em resposta ao comando enviado pelo controlador – Palavra hexadecimal #BF – através da porta série.

A troca de dados entre o controlador e a cortina de luz é regido pelo período definido pelo utilizador e coordenado por contactos sinalizadores (*Flags* ou bandeiras em português), de modo que todos os pedidos de actualização do estado da cortina de luz sejam respondidos. A primeira bandeira, A392.05, é colocada imediatamente antes do bloco de função que permite o envio da ordem de comando pela porta série, estando apenas ligada quando a conexão estiver livre para nova ordem. A outra bandeira, A392.06, fica posicionada anteriormente ao bloco de função que possibilita o recebimento dos dados da leitura realizada, ficando apenas ligada quando o PLC receber os 4 Bytes enviados pelo sensor, permitindo assim, que novos dados possam ser admitidos.

Visto que o emissor e o receptor da cortina de luz se encontram colocados na vertical, a leitura de dados representada no PLC (4 bytes em cada leitura) estará disposta com uma rotação de 90° seguindo os ponteiros do relógio, relativamente ao original. Os dois últimos bits de cada leitura tomarão sempre o valor nulo, visto a cortina de luz possui apenas 30 feixes de luz para serem dispostos nos 32bits de cada amostra. A **Fig. 4.5** apresenta a leitura de um objecto de forma triangular e a sua representação ao longo dos 32 bits existentes.

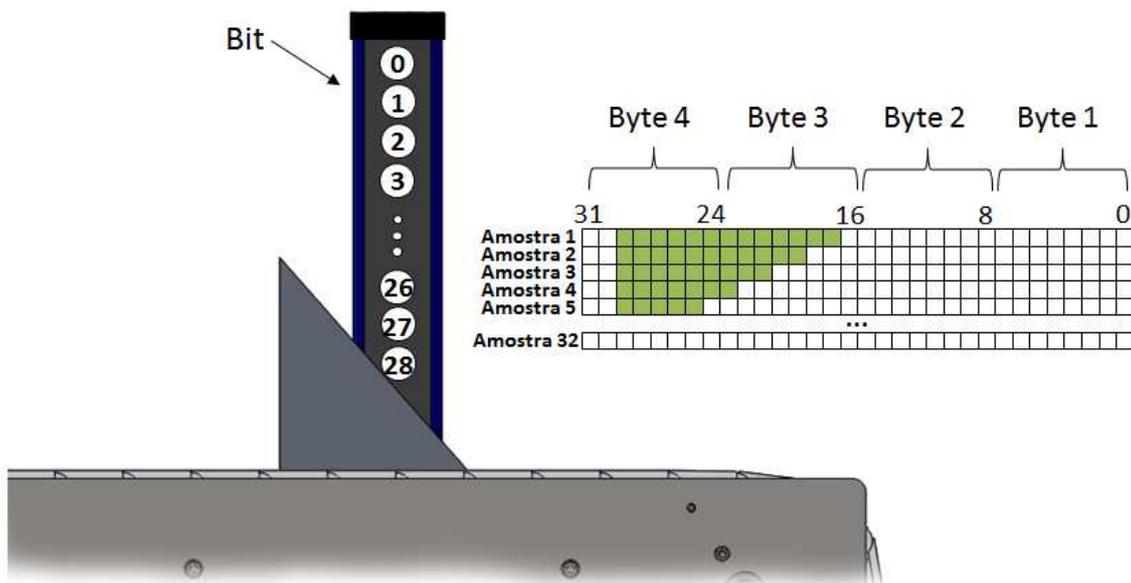


Fig. 4.5 - Apresentação de dados na leitura de objectos.

O armazenamento de dados apenas se inicia após a detecção do objecto (os 4 bytes recebidos são diferentes de zero), sendo guardados em memórias diferentes de modo sequencial. Para tal foi necessária a utilização de um ponteiro que indicava uma determinada memória inicial onde, a cada leitura efectuada pela cortina de luz, era incrementado, apontando para a memória imediatamente a seguir. Para que não houvesse excesso de dados desnecessários e tendo em conta que os objectos seleccionados para análise eram relativamente pequenos, o ponteiro foi limitado a 32 incrementações, ou seja, só serão guardadas até 32 leituras de cada peça. Caso o utilizador pretenda diminuir o limite máximo de leituras, poderá fazê-lo directamente através da interface humana, como veremos mais à frente. Esta redução do limite poderá ser conveniente caso se queira analisar apenas a parte inicial de um objecto, reduzindo o tempo da aquisição e por sua vez, o tempo total do reconhecimento do padrão. Na **Fig. 4.6** é visível a aquisição de dados de um objecto e armazenamento após a sua detecção, com um período pré-definido (ΔT) e num máximo de 32 amostras recolhidas.

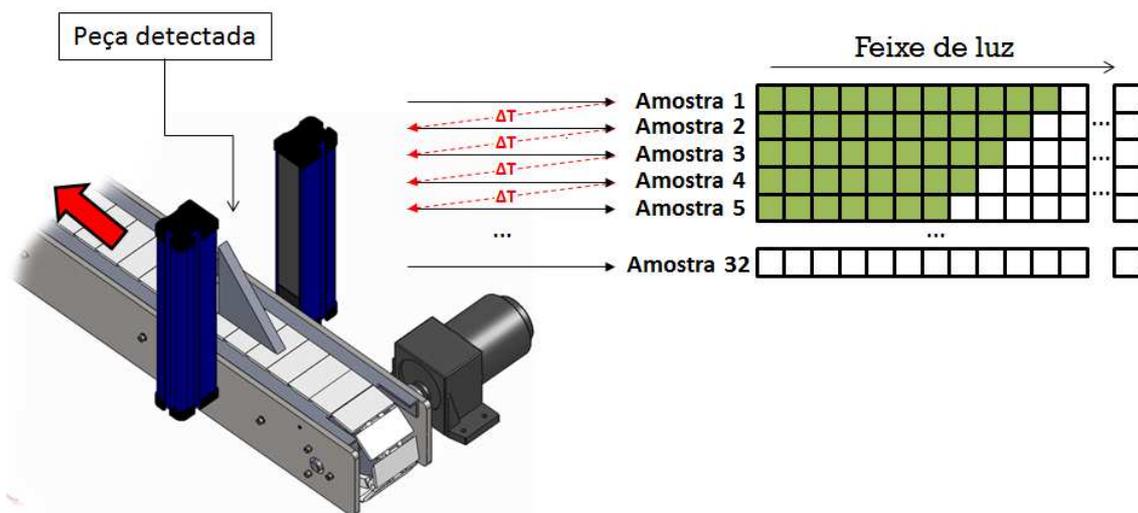


Fig. 4.6 - Armazenamento de dados com ΔT definido (Período).

Como já foi exposto na página 47, foram realizados diferentes paradigmas na programação da aquisição de dados: *Time Trigger* ou *Event Trigger*. A diferenciação entre ambos encontra-se na forma como são armazenados os dados recolhidos do objecto. No primeiro caso são adquiridos dados com uma periodicidade definida pelo utilizador (entre 0,01s e 9,99s) e guardados nas respectivas memórias, enquanto no segundo caso, a recolha de dados é feita por um período já determinado de 40ms e estes são guardados, caso sejam diferentes aos armazenados na memória imediatamente anterior. Os limites impostos no período do *Time trigger* devem-se ao tipo de temporizador utilizado para esta função. Relativamente ao período determinado de

40ms para o *Event Trigger*, deveu-se a ser possível com este valor adquirir aproximadamente uma amostra a cada meio centímetro de objecto (para a velocidade máxima da esteira transportadora), o que é considerado razoável.

4.3.1.2 Tratamento de dados

Após a saída do objecto da área de sensorização da cortina de luz, ou depois de terminada o número máximo de amostras, inicia-se o processo de tratamento de dados. Nesta fase da inspecção, são manipulados os dados obtidos pelo sensor e posteriormente avaliados. A metodologia utilizada é vista na **Fig. 4.7**.

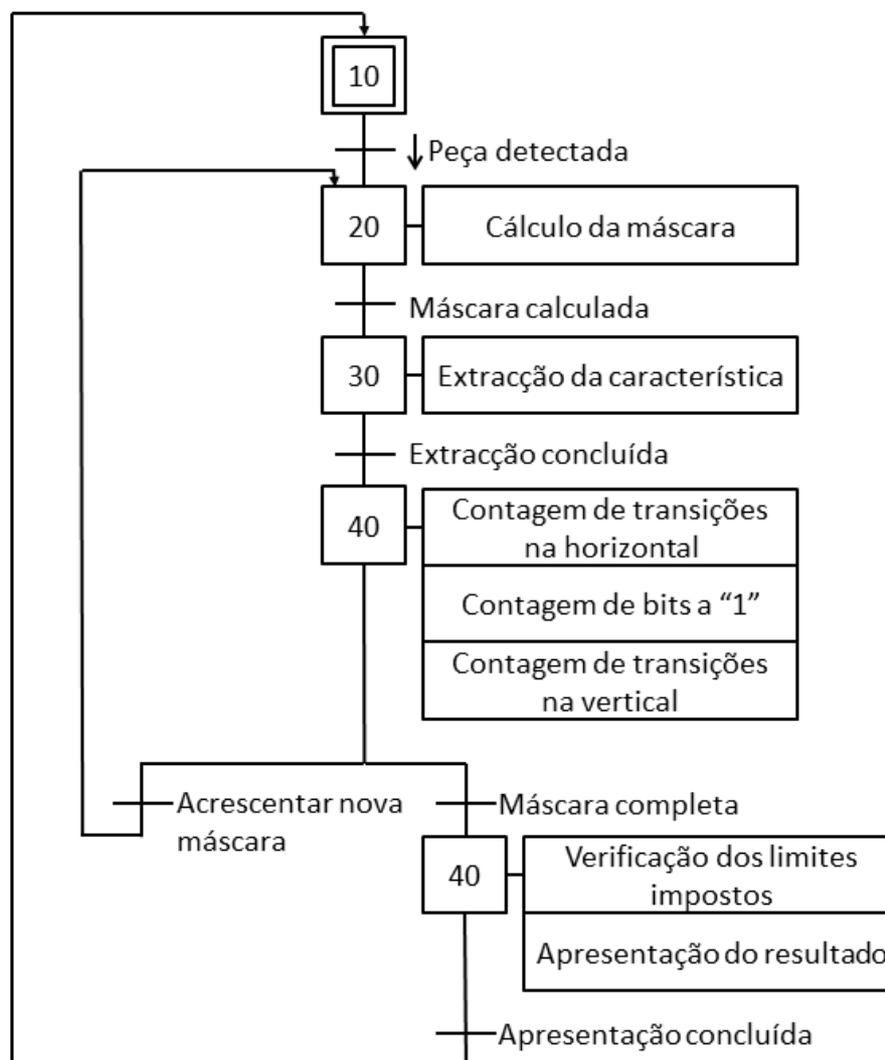


Fig. 4.7 - GRAFCET do tratamento de dados.

Uma das tarefas mais importantes para que o reconhecimento de padrões seja realizado com sucesso é a selecção de características chaves, que permitem a classificação de um objecto ou evento através das suas propriedades mais

representativas. Não há nenhuma fórmula exacta para a escolha dessas características e nem sempre é fácil de as identificar, pois dependerá muito do tipo de objectos e do resultado final que o utilizador pretende. No caso das cortinas de luz, apenas é praticável distinguir as áreas por onde o feixe de luz emitido chegou (ou não) ao seu destino, pelo que as características possíveis de análise resumem-se às que permitem um contraste entre os dois tipos de áreas possíveis. Assim, o reconhecimento de características como furos, dimensões ou orientações de objectos, são alguns dos exemplos de aplicações possíveis para este tipo de sensores. No entanto, para que tal seja possível, é necessário isolar a informação relevante para a análise, dos restantes dados adquiridos, sendo por isso pertinente a programação de um método que o permita.

O procedimento escolhido neste trabalho para a selecção e extracção de uma característica, consiste em criar uma área com as coordenadas da sua posição, com os bits todos a “1”, enquanto os bits restantes ficarão todos a “0”. Posteriormente é utilizada a função lógica AND entre essa área e os dados armazenados do objecto, mantendo apenas os bits que estavam a “1” em ambos os casos. Na **Fig. 4.8** encontra-se um exemplo da selecção e extracção de uma característica. Sendo a característica a saliência da peça com um furo no centro, foi criada uma área com as mesmas coordenadas e com os bits todos a “1” e, através da aplicação da função lógica AND, foi obtida a característica isolada.

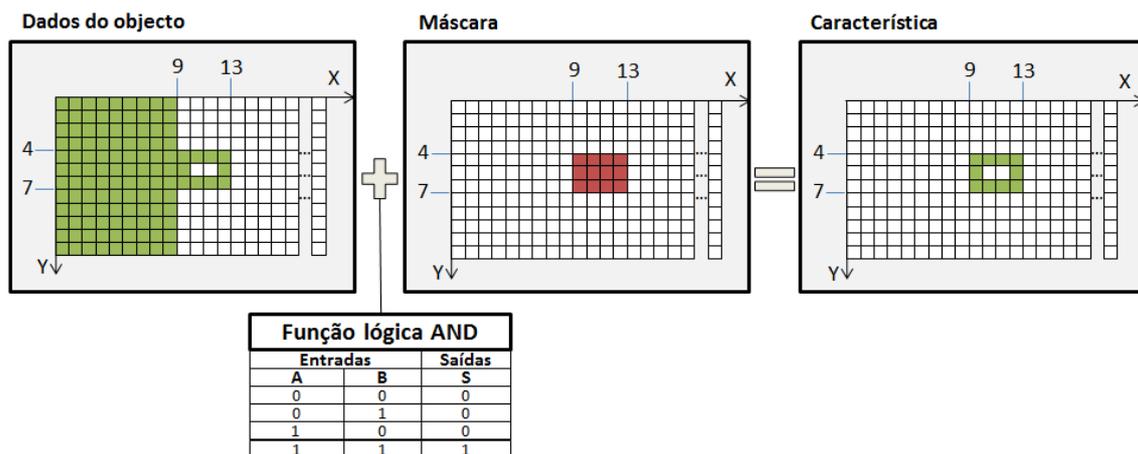


Fig. 4.8 - Selecção e extracção de uma característica.

Para a criação da máscara, foram necessários dois cálculos: Um que permite colocar os bits a “1” entre as coordenadas XX e outro que permite fazê-lo entre as coordenadas YY, formando assim um rectângulo (como visto na máscara da figura **Fig. 4.8**).

Para o cálculo de uma linha da máscara, segundo as coordenadas XX foi utilizada a seguinte fórmula:

$$Máscara,xx = 2^{BT} \times \left(\frac{1}{2^{IH}} - \frac{1}{2^{FH}} \right)$$

Sendo,

BT = Número total de bits na linha

IH = Coordenada inicial horizontal (X1)

FH = Coordenada final horizontal (X2)

Através deste cálculo será obtido um valor decimal, que em binário corresponderá a tudo “0’s” excepto entre as coordenadas X1 e X2, que se encontrará tudo a “1’s”. Utilizando o exemplo da **Fig. 4.8**, para calcular uma das linhas da máscara utilizada, com as coordenadas X1=9 e X2=13 para os 30 feixes de luz:

$$Máscara,xx = 2^{30} \times \left(\frac{1}{2^9} - \frac{1}{2^{13}} \right) = 1966080$$

que em binário corresponde a:

$$Máscara,xx \text{ bin} = 000000000111100000000000000000$$

$\begin{array}{c} | \quad | \\ \mathbf{9} \quad \mathbf{13} \end{array}$

Para representar segundo a vertical (coordenadas YY), primeira linha calculada (pelo método apresentado) é copiada por Y2-Y1 vezes pelas restantes linhas, formando assim um rectângulo de “1’s”.

Após a criação da máscara e extracção de característica, esta será sujeita à avaliação segundo os três critérios apresentados na especificação da solução (Página 50). A escolha destes três critérios – Contagem do número de bits a “1”, número de transições horizontais e verticais – deve-se essencialmente à variabilidade dos objectos possíveis a ser analisados e por permitir a distinção entre dimensões, furos, posições, entre outros.

Para a contagem do número de bits “1” é utilizado um bloco de função BCNT (Bit Counter), aplicado na área da característica extraída. Relativamente à contagem das transições horizontais e verticais, foram criadas rotinas para ambos os casos, onde os bits são movimentados um a um, permitindo assim identificar transições ascendentes (“0” para “1”). Na **Fig. 4.9** vemos uma das funções utilizadas para a contagem de transições, onde a contagem de transições ascendentes é realizada pelo CY (*Carry Flag*).

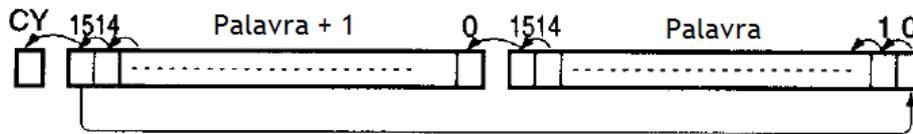


Fig. 4.9 - Função RLNL e Carry Flag (CY).[29]

Após o cálculo de todos os critérios para a identificação de objectos, entra em função o classificador, que como o nome indica, irá classificar a peça analisada segundo as suas características. Para que o possa concretizar, é necessária a programação prévia das condições aceites para definir um objecto como pertencente a uma determinada classe. Assim, será necessário definir os limites máximo e mínimo para cada um dos critérios, determinando que todos os objectos que obedecem às respectivas condições, serão reconhecidos. Para que o objecto possa ser classificado como integrante de uma determinada classe, terá que cumprir todas as condições impostas, sem excepção. Caso sejam utilizadas mais do que uma máscara, será necessário definir para cada uma delas, os limites de identificação do objecto. Com isto, esta solução permite a classificação de um objecto com até cinco características diferentes, e por sua vez, utilizando até 15 condições.

A programação para a classificação do objecto, consistem em verificar se os valores obtidos em cada critério de avaliação, se encontram entre os limites definidos pelo utilizador, energizando diferentes bobinas consoante os resultados obtidos. No trabalho actual, estas bobinas estão associadas a luzes da HMI, possibilitando ao utilizador verificar o resultado dos testes realizados. No entanto, numa aplicação industrial real, estas bobinas seriam a ponte de ligação entre este sistema e próximo, indicando o resultado da inspecção realizada e influenciando assim, o funcionamento de actuadores e/ou outros dispositivos.

4.3.1.3 Scroll

Esta parte da programação terá apenas influência na visualização dos dados através da HMI, não sendo por isso relevante para o reconhecimento do padrão de um objecto.

Como já explicado neste capítulo e é visível na **Fig. 4.6**, a leitura de um objecto é disposta nas memórias com uma rotação de 90° segundo os ponteiros do relógio, relativamente ao original. A sua rotação à posição real do objecto seria alcançável através de programação (como a utilizada para a contagem de transições na vertical), ou simplesmente, dispondo as lâmpadas representativas de cada bit segundo essa forma. Contudo, em alguns dos painéis do HMI não era possível visualizar a totalidade da matriz em simultâneo (32 leituras x 30 feixes de luz), tornando-se necessária a divisão em duas partes. Então, foi deliberado que seria útil a visualização do objecto na HMI na forma já representada no PLC, de modo que a divisão seja realizada no número de leituras e de maneira a diminuir o espaço ocupado pelo número de colunas utilizadas. Na HMI será possível então visualizar uma matriz de 16 leituras x 30 feixes de luz, sendo necessário a utilização de um scroll que permita o acesso às restantes amostras retiradas do objecto.

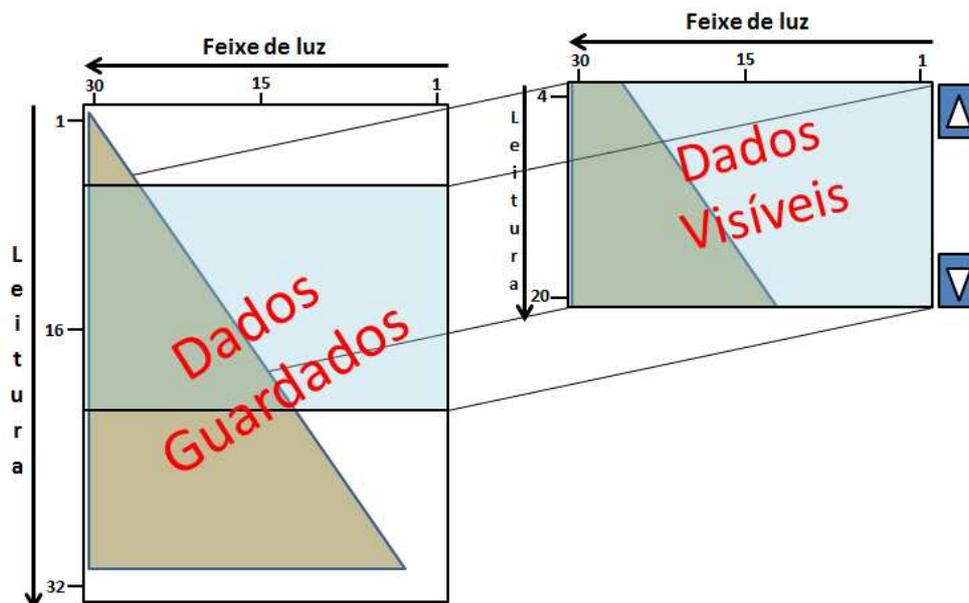


Fig. 4.10 - Exemplo de leitura de parte dos dados guardados.

A programação da função scroll baseia-se no deslocamento dos dados guardados através da aquisição de dados para a área de visualização da HMI, ou seja, à

medida que pressionamos os botões scroll, é representado na consola um excerto da totalidade dos dados (Ver **Fig. 4.10**). Ao pressionar o botão com a seta para baixo, a área retirada descerá uma posição, enquanto se for pressionado a seta para cima, o excerto retirado subirá uma posição. Para que não seja ultrapassada a área de memórias onde se encontra guardado todos os dados do objecto, foram criadas imposições no número de toques permitidos nos botões.

4.3.2 Aspectos da programação da HMI

A finalidade principal da interface humano-máquina é permitir ao utilizador o controlo do sistema e acesso ao seu estado actual. A programação desenvolvida para a HMI visou cumprir essas aplicações através de 32 painéis criados, que permitirão ao utilizador configurar o sistema, verificar as condições de funcionamento, ver resultados de leituras, entre outros. Foi também tido em conta a acessibilidade ao sistema, tal como a sua estética, de forma que o programa seja simples e intuitivo. Nas figuras **Fig. 4.11** e **Fig. 4.12** é apresentado o gráfico funcional utilizado na programação da HMI.

Ao iniciar o sistema através do interruptor, será visível na HMI a tela de inicialização (*Splash Screen*) que ocorrerá durante aproximadamente 5 segundos, direccionando imediatamente à janela de apresentação da dissertação (**Fig. 4.13 a**). Ao seleccionar a opção «entrar», teremos acesso ao menu de sistemas onde se encontram à disposição todos os sistemas de inspecção que serão instalados na nova banca de testes (**Fig. 4.13 b**). No topo da tela vemos a informação relativa ao estado do PLC, indicando-nos se se encontra ligado e em bom funcionamento. Para a verificação do estado do PLC é lida uma ordem de comando, à qual é aguardada uma resposta que, caso seja entregue, indicará que o autómato se encontra a funcionar. Ao seleccionar a opção «Cortinas de luz», entramos numa nova tela onde é possível eleger o modo de leitura que pretendemos realizar (**Fig. 4.13 c**). No topo da tela é indicado o estado da cortina da luz, resultante do envio de uma ordem de comando ao sensor (envio da palavra hexadecimal #BF), à qual é aguardado o recebimento de 4 bytes. Caso não ocorra nenhuma resposta, é assumido que a cortina de luz possui alguma falha (encontra-se desligada ou avariada), avisando o utilizador. Nos botões abaixo, são escolhidos os dois modos de leitura existentes. No primeiro, «Leitura livre», só

poderemos definir o período, o número máximo de amostras, modo de aquisição de dados e visualizar a leitura de qualquer objecto, sem que sejam tomadas decisões de avaliação. No segundo, «Configurações», temos acesso a um conjunto de testes já realizados e à configuração de critérios de identificação para novos objectos.

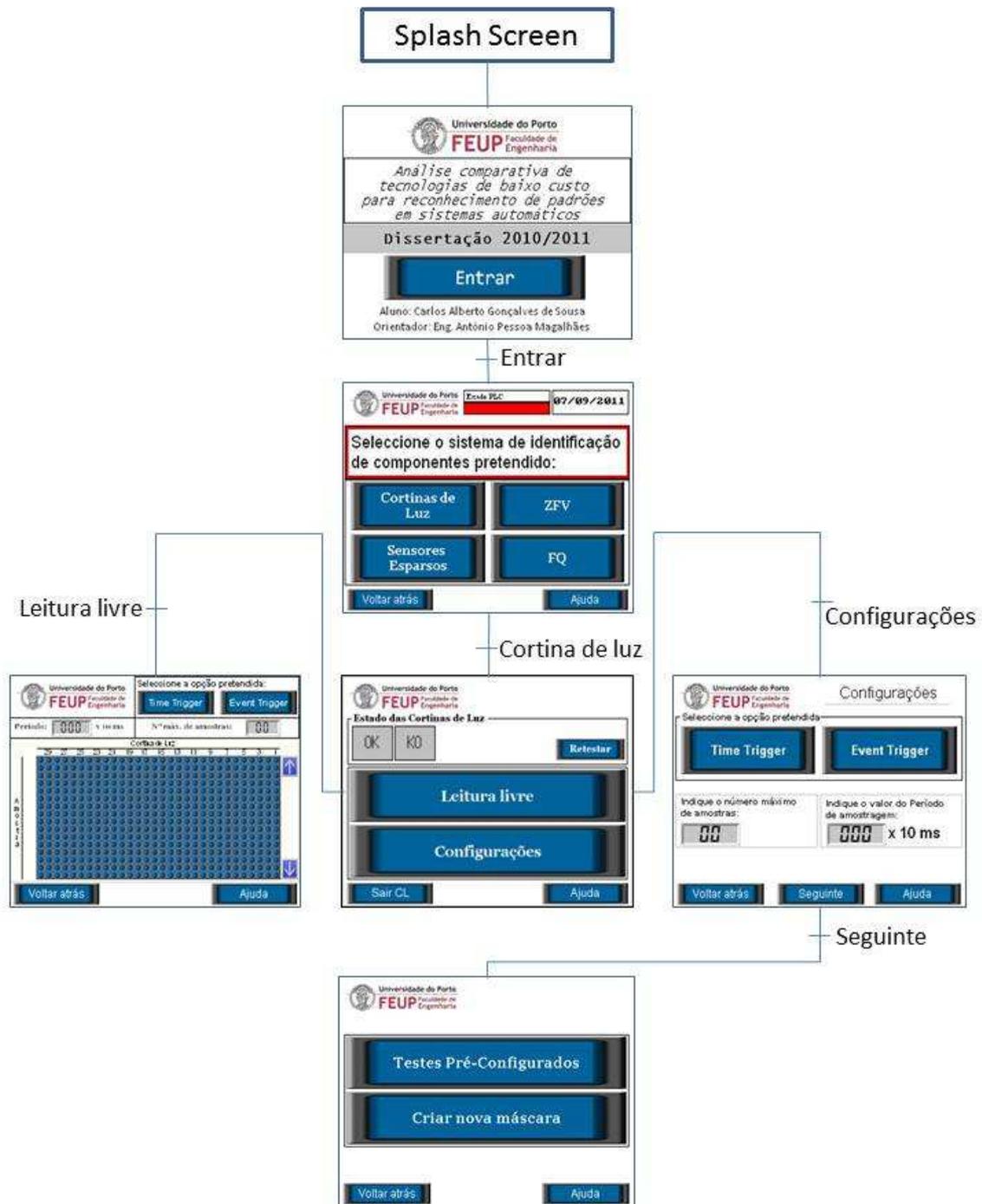


Fig. 4.11 - Gráfico funcional da programação na HMI (Parte 1).

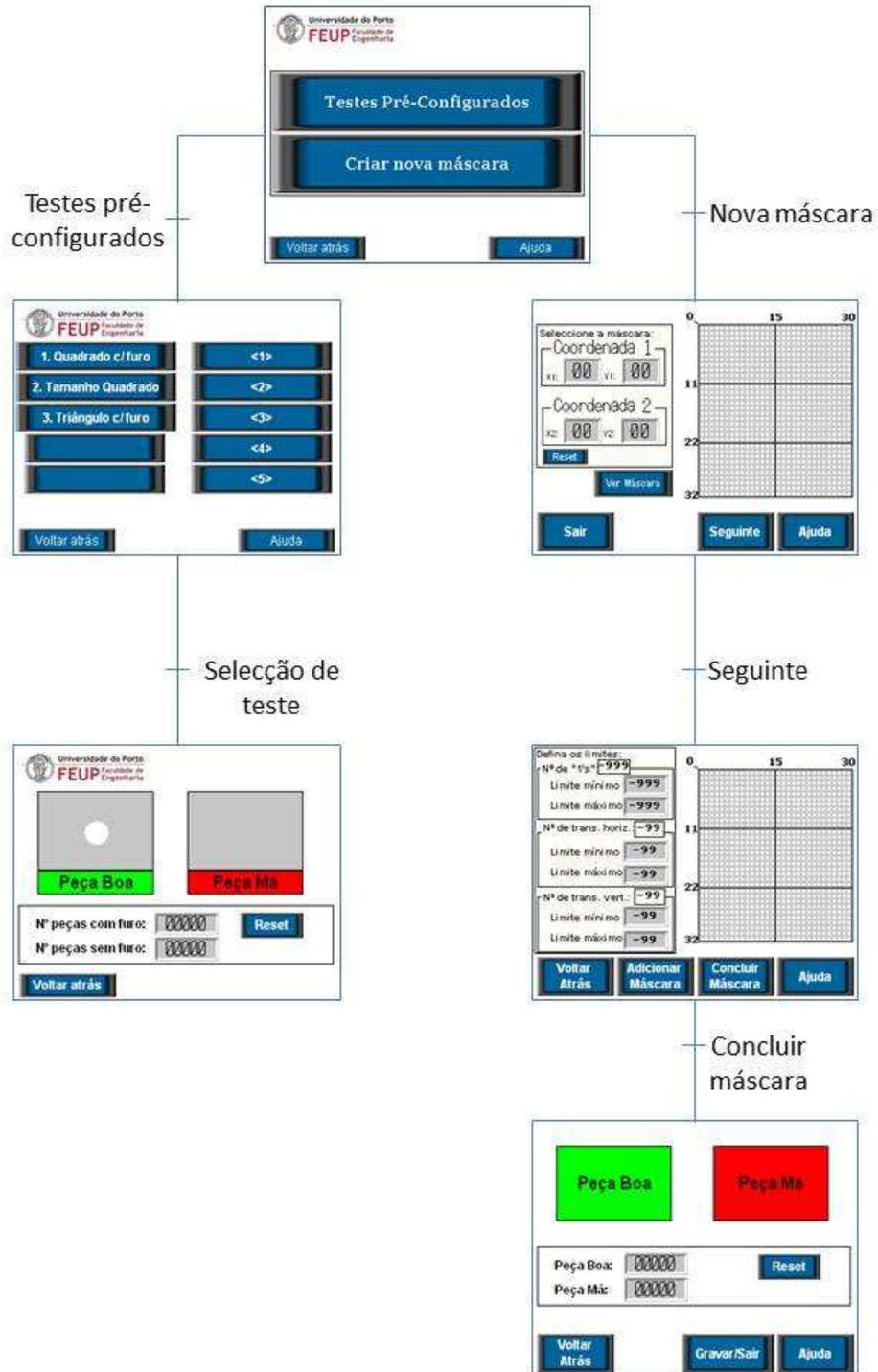


Fig. 4.12 - Gráfico funcional da programação na HMI (Parte 2).

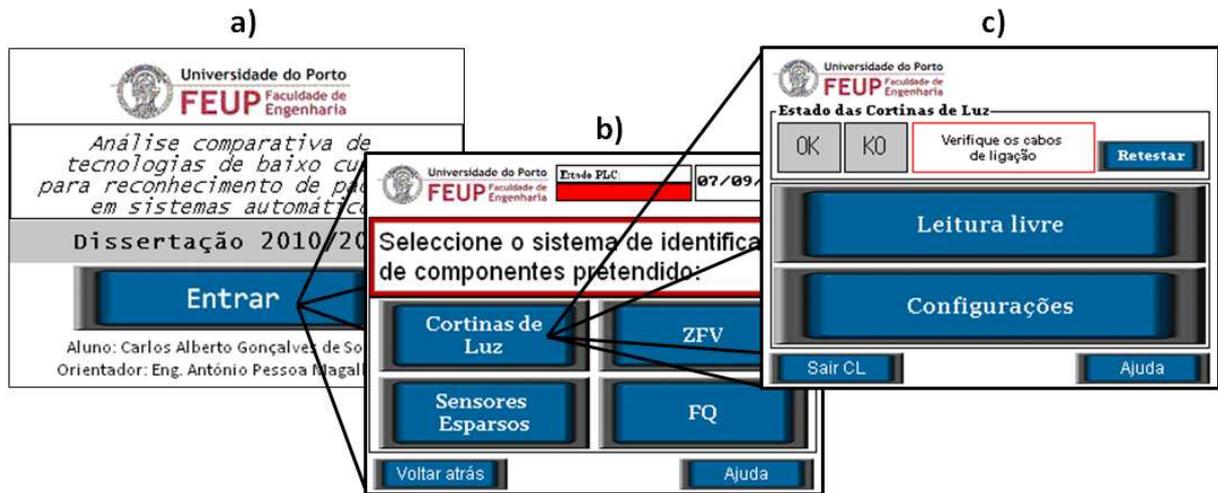


Fig. 4.13 - Telas utilizadas na HMI: a) Apresentação; b) Menu de sistemas; c) Menu de selecção de leitura.

No modo de configuração, será apresentado inicialmente uma tela onde é definido o modo de aquisição de dados: *Time Trigger* ou *Event Trigger*, período de aquisição e número máximo de amostras (Fig. 14 a)). De seguida é escolhido o tipo de teste que pretendemos realizar (Fig. 14 b)): Um novo, através da criação de uma nova máscara, ou um já pré-configurado, que poderá ser seleccionado entre o menu de testes existentes. Neste último menu, são visíveis do lado esquerdo alguns testes já definidos de origem, onde os critérios de avaliação são dados directamente através da HMI evitando assim que, caso sejam apagadas as memórias do PLC, não sejam perdidos os limites definidos e respectivas máscaras. Do lado direito encontram-se os testes configurados através da HMI, que veremos mais à frente, e guardados posteriormente nas memórias do PLC (Fig. 14 c)). Após a selecção de um dos testes pré-configurados, é aberto um painel que indicará o resultado de cada identificação dos objectos testados, através do aparecimento de imagens das respectivas peças e contagem de cada uma delas (Fig. 14 d)).

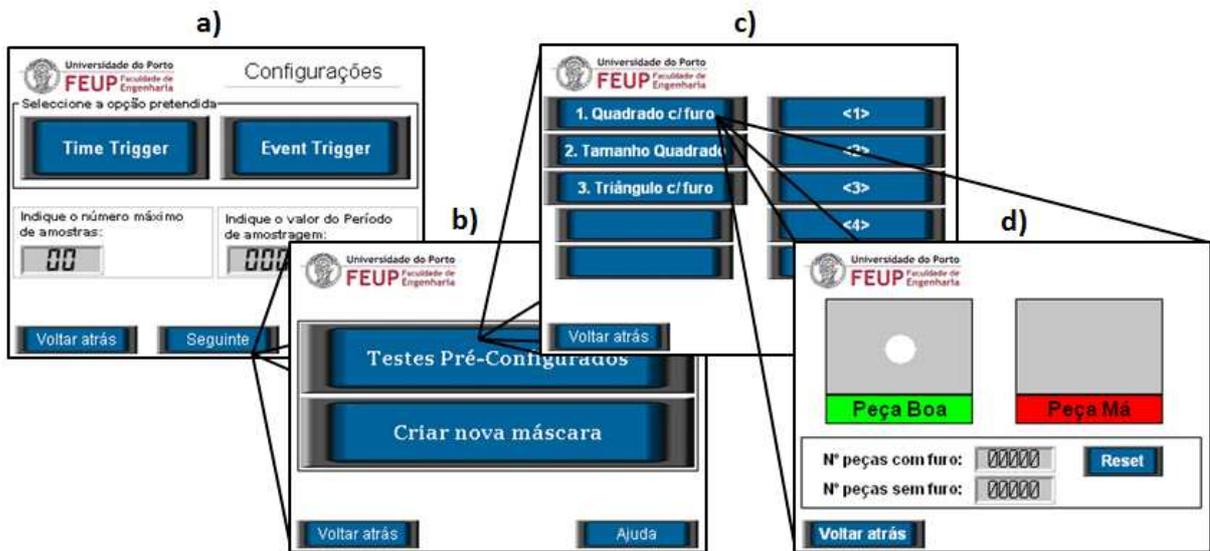


Fig. 14 - Telas utilizadas na HMI: a) Configurações; b) Menu de selecção de tipo de teste; c) Testes pré-configurados; d) Resultado de leituras.

Caso se pretenda criar uma nova máscara, de maneira a analisar outro objecto ou outra característica, é possível fazê-lo através do menu da **Fig. 14 - b)**, seleccionando a opção «criar nova máscara». Ao pressionar esta opção, o utilizador irá ter a um painel que permitirá a definição das coordenadas da nova máscara, que poderá ser realizada através de um teclado numérico ou seleccionando as coordenadas (**Fig. 15 a)**). Visto que a HMI apenas possui 300 pontos de contacto (15 vertical x 20 horizontal), a selecção das coordenadas teve que ser dividida em seis partes (11 vertical x 15 horizontal), totalizando doze painéis com esse objectivo (seis para a coordenada 1 mais seis para a coordenada 2) (**Fig. 15 b) e c)**). Após a escolha das coordenadas, a máscara poderá ser visualizada através do botão «Ver máscara», distinguindo-se da restante representação do objecto por possuir uma diferente cor. Depois de seleccionada a máscara que melhor identifica a característica do objecto, dá-se início à selecção dos limites para os critérios de avaliação no painel seguinte (**Fig. 15 d)**). Para cada um dos critérios existentes, é disposto um teclado numérico onde o utilizador elegerá os limites superiores e inferiores, de forma que o valor indicado no topo de cada critério não os ultrapasse. De modo a seleccionar os limites que melhor se adequam à detecção da característica, é possível realizar várias leituras ao objecto de forma a visualizar quais os resultados que normalmente são recolhidos para cada um dos critérios. Na matriz do lado direito, é representada apenas a característica realçada pela máscara, podendo alterá-la a qualquer altura através da opção «Voltar atrás». Caso o objecto possua mais do que uma propriedade que o caracterize, o utilizador poderá adicionar uma nova máscara repetindo os passos descritos. Ao criar a quinta máscara (valor máximo de

máscaras permitidas), o botão «Adicionar máscara» é desactivado. Após a conclusão da(s) máscara(s), um novo painel surge que permitirá a realização de testes aos critérios criados, apresentando a decisão resultante de cada leitura e a contagem de cada um dos resultados (Fig. 15 e)). Finalmente, o utilizador poderá gravar os critérios de validação de até cinco objectos, sendo posteriormente seleccionados através da tela apresentada na Fig. 14 c)).

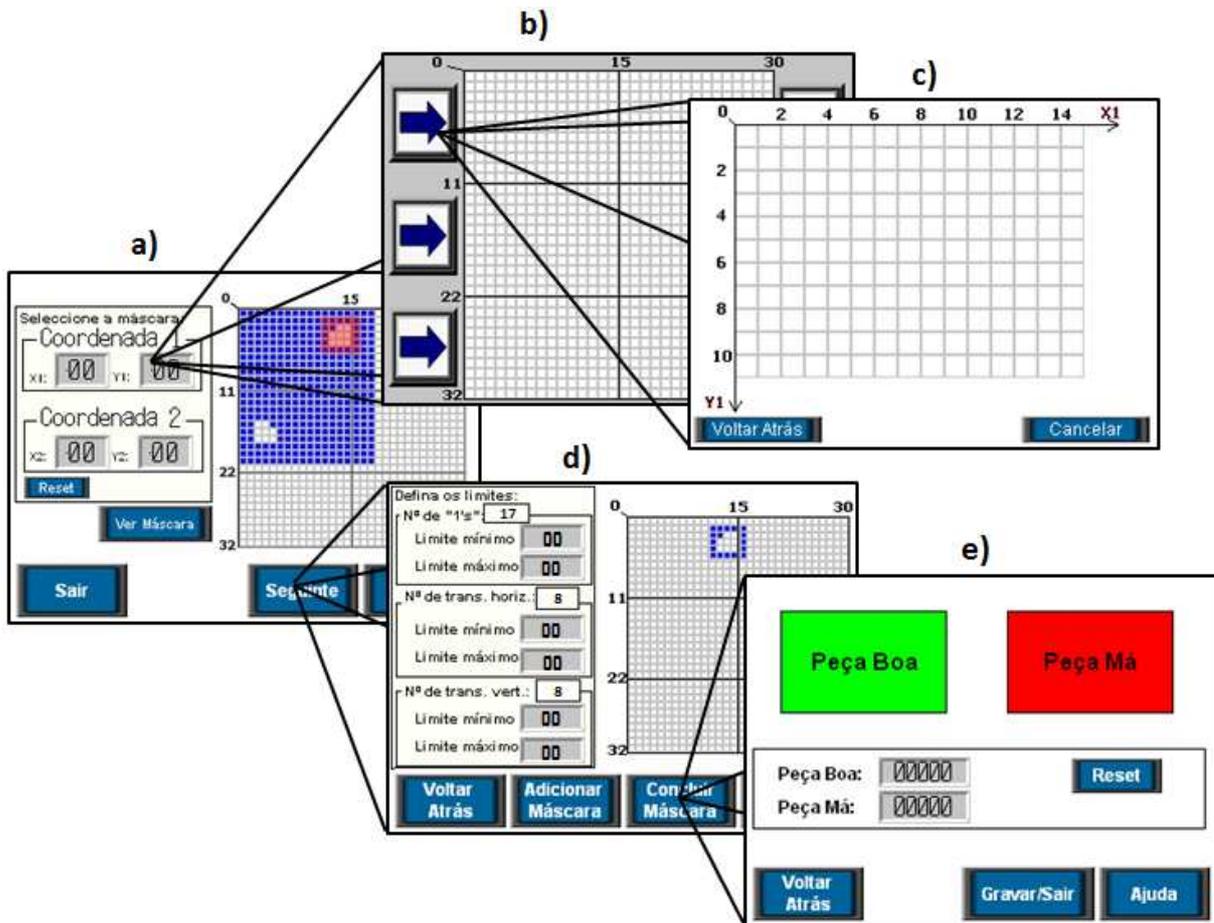


Fig. 4.15 - Telas utilizadas na HMI: a) Seleção de máscara; b) e c) Seleção de coordenadas da máscara; d) Seleção de limites para critérios de validação; e) Teste aos critérios de validação.

4.4 Construção da mesa de testes

Não foi possível concretizar a construção da nova esteira transportadora a tempo deste projecto devido à necessidade de importar as correntes transportadoras à marca Tsubaki®, no Japão. Porém, foi feito o desenho dimensionado do projecto em Solidworks® de forma a ser construído no futuro (página 109 a 112 dos anexos).

Uma das dificuldades no desenvolvimento da nova esteira deveu-se ao desconhecimento dos seus componentes interiores, não existindo muita informação sobre o fabricante e os seus produtos. Deste modo, foi desenvolvido uma lista de peças de todos os componentes integrantes da esteira e, também, apresentadas as informações encontradas em catálogos sobre cada um deles. Posteriormente, é apresentado o desenho de construção, devidamente dimensionado, das novas placas de suporte que serão utilizadas na nova esteira transportadora.

Por fim, importa referir que a não construção desta plataforma de testes não prejudicou os objectos que foram propostos, sendo utilizada a esteira transportadora já existente para os testes com a cortina de luz.

5. Investigação Experimental

No caso particular desta dissertação, visto que se encontra no seguimento de outro trabalho prévio, foram recriados alguns dos objectos anteriormente analisados. No trabalho anterior, o dispositivo aplicado era um conjunto de sensores do tipo difuso, pelo que os objectos a serem testados teriam obrigatoriamente que reflectir. Isso foi conseguido com objectos de madeira, envolvidos em papel de alumínio ou espelhos na parte que se pretendia identificar e outro material não reflector nas restantes zonas. Uma vez que para este trabalho foi utilizada uma cortina de luz, os objectos testados terão obrigatoriamente que possuir áreas opacas e áreas onde os feixes de luz consigam passar, de forma a ser possível distinguir o objecto. Assim, os objectos previamente empregados não puderam ser reutilizados e a construção de outros tornou-se necessária.

Para a construção das peças foram utilizados dois tipos de cartão normalmente empregados na construção de maquetes: Um branco com espessura de 3mm e um preto de espessura de 5mm. O cartão branco, devido à sua espessura e ao seu material, permitia que alguns feixes de luz emitidos pela cortina de luz conseguissem atravessá-lo, de modo que a construção dos objectos com este tipo de cartão foi realizada com duas camadas. O corte e a furação dos objectos foram realizados por um x-acto e/ou por uma verruma, daí que lhe estejam associados alguns defeitos de construção que, através da alta sensibilidade do sensor, conseguirão ser detectados. Finalmente, para posicionar as peças verticalmente, era acoplado um canto de aço nas respectivas bases, através de três parafusos. Na **Fig. 5.1** é possível visualizar alguns exemplos dos objectos utilizados.

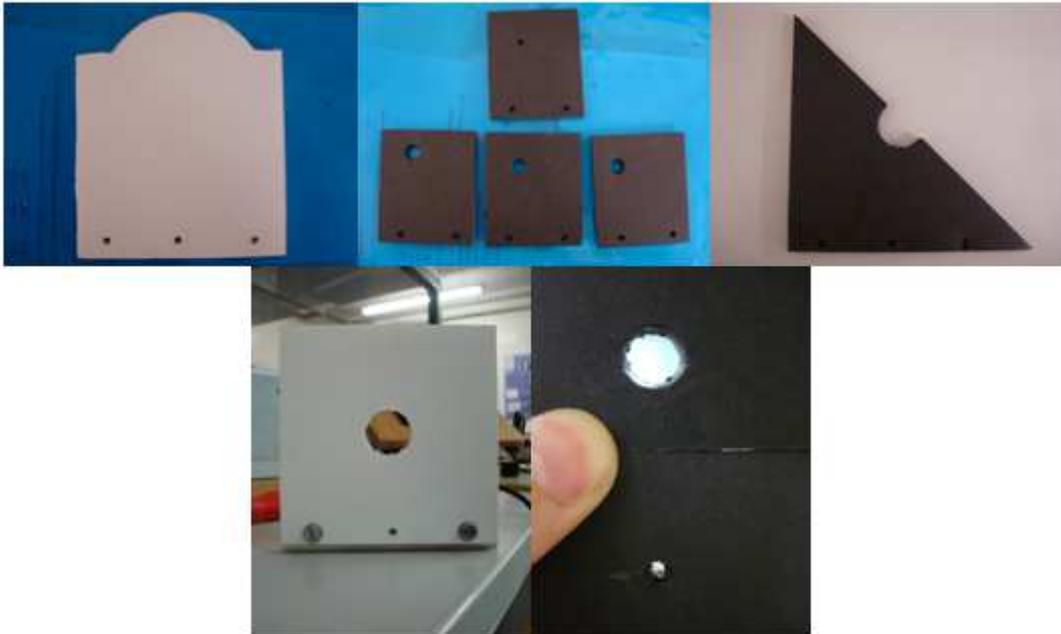


Fig. 5.1 - Alguns dos objectos utilizados para a realização de testes.

Na segunda fase de testes, foram analisadas algumas das capacidades deste tipo de sensor, que lhe são normalmente apontadas em catálogos de vários fabricantes. Nesta fase serão testadas as competências de identificação da cortina de luz, no reconhecimento da posição dos furos e de dimensões de diâmetros. Da mesma forma, serão realizados testes relativos ao reconhecimento de líquidos, de modo a identificar quais as possíveis limitações nesta área, muito útil nas fábricas de produtos alimentares, higiene, entre outros. No entanto, estes últimos testes abordados serão realizados a título de curiosidade, pois não foi possível encontrar outros dados sobre esta área, de forma a tirar conclusões.

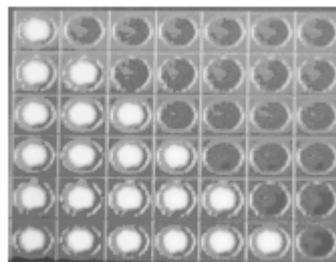
Para finalizar, também a título de curiosidade, será avaliado um objecto com várias características distintas, dispersas pelo seu perfil, de forma a verificar alguma da fiabilidade que o sistema poderá trazer aos meios de inspecção e também as capacidades de análise a várias características simultaneamente.

Todos os testes realizados seguiram um método heurístico por modelos ou características comuns, sendo utilizados os três critérios de avaliação de objectos já apresentados: Número de bits a “1”, número de transições na horizontal e número de transições na vertical. A cada caso, será preciso especificar um valor máximo e um valor mínimo, que limitarão o resultado. Estes três critérios poderão ser aplicados até cinco vezes, em várias partes distintas do objecto, através da definição de máscaras. O

método de aquisição de dados terá também influência directa no resultado, sendo necessário defini-los antes de cada teste.

5.1 Comparação com sensores ópticos difusos

Nos primeiros testes realizados, pretende-se comparar as capacidades das cortinas de luz com os resultados obtidos por um conjunto de sensores ópticos difusos, numa dissertação anterior. No entanto, apesar dos testes realizados serem equivalentes, a apresentação dos resultados não será a mesma. Na dissertação anterior eram utilizados apenas seis sensores com uma resolução de 1cm, que foram apresentados numa matriz 6x6, especificando os resultados mais usuais para os casos testados (ver **Fig. 4 5.2**). Nesta dissertação a cortina de luz possui 30 sensores com resolução de 0,5cm apresentados numa matriz 30x32, de modo que se torna muito difícil avaliar pelo mesmo método, visto que a cortina de luz raramente lê o objecto da mesma forma, de teste para teste. Para além disso, não foram referidas no relatório o número de amostras realizadas para cada objecto, nem o período entre cada aquisição, de forma que inviabiliza a comparação nas mesmas condições.



(100% dos casos)

Fig. 4.2 - Exemplo de teste realizado na dissertação anterior, sobre um conjunto de sensores ópticos do tipo difuso, para um objecto triangular.

Os valores definidos para a aquisição de dados foram escolhidos de forma que a apresentação do objecto fosse o mais próximo da sua aparência original. Por exemplo: Para um objecto quadrangular, em que a cortina de luz o identifica através de 20 bits, seria escolhido um período que permitisse retirar 20 amostras da peça, de maneira a apresentar a mesma forma no painel. O período escolhido, que reunia mais aproximadamente estas condições para a velocidade máxima do tapete, era o de 40ms.

Para a definição do número máximo de amostras foi escolhido o valor máximo (32), para que não sejam perdidos dados do objecto, resultado da limitação imposta.

Ao resultado da aquisição de dados, será posteriormente adicionada uma ou mais máscaras, que permitirá seleccionar a(s) característica(s) de identificação ou distinção entre os objectos que pretendemos comparar/analisar. A cada tipo de objecto, serão analisadas 25 amostras já mascaradas, identificando o número de bits ligados, número de transições horizontais e número de transições verticais. A diferenciação entre características dos objectos poderá ser vista através da representação de gráficos e de comparação de médias, valores máximos e mínimos.

5.1.1 Caso 1 - Identificação da altura de objectos com forma quadrangular.

No primeiro teste foi utilizado um objecto de forma quadrada completamente opaco, comparado com dois objectos similares exceptuando na sua altura. O objecto A terá 9cm de altura, o objecto B terá 10cm de altura e o objecto C terá 11cm de altura.

Este teste começa por testar a avaliação por modelos comuns, não sendo por isso extraída nenhuma característica da aquisição de dados realizada. Pretende-se assim verificar a variação encontrada em cada leitura e perceber o efeito que, situações como a vibração da esteira ou o possível desalinhamento na construção dos objectos, poderá ter no resultado final.

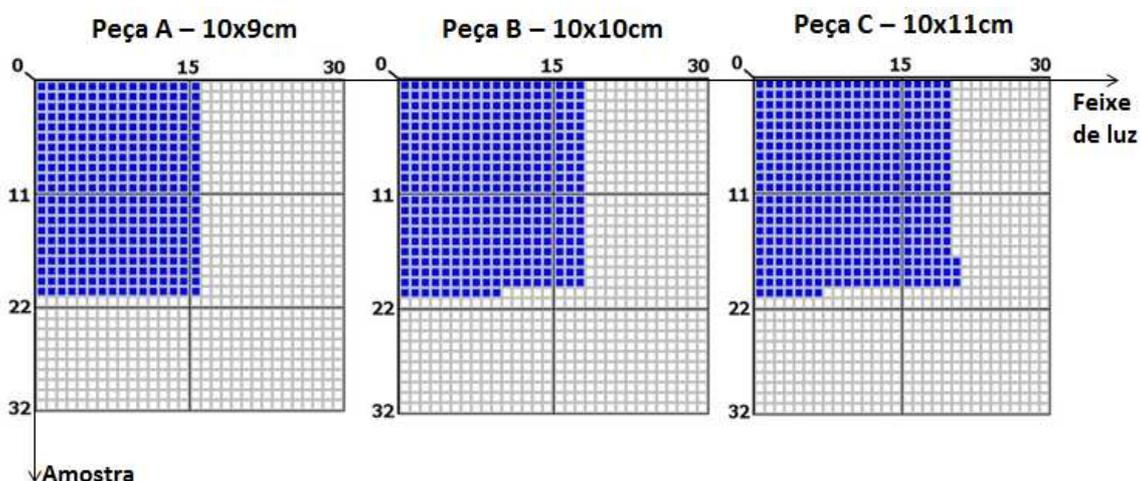


Fig. 5.3 - Comparação entre exemplos de leituras realizadas para as peças A, B e C.

Como é possível visualizar pelos exemplos apresentados na **Fig. 5.3**, a distinção entre objectos é notória. A diferença de 1cm entre objectos é claramente notada através de duas colunas, que demonstram a resolução de 0,5cm esperada. Na leitura da peça B e C também se verifica algum ruído nas arestas do objecto, que provavelmente terá origem na vibração da esteira transportadora ou na construção do objecto, visto que não ultrapassa uma linha ou coluna de bits.

De seguida foi analisado o efeito que esta variação de leituras poderá ter na identificação destes objectos, segundo os critérios de avaliação programados (**Fig. 5.4**).

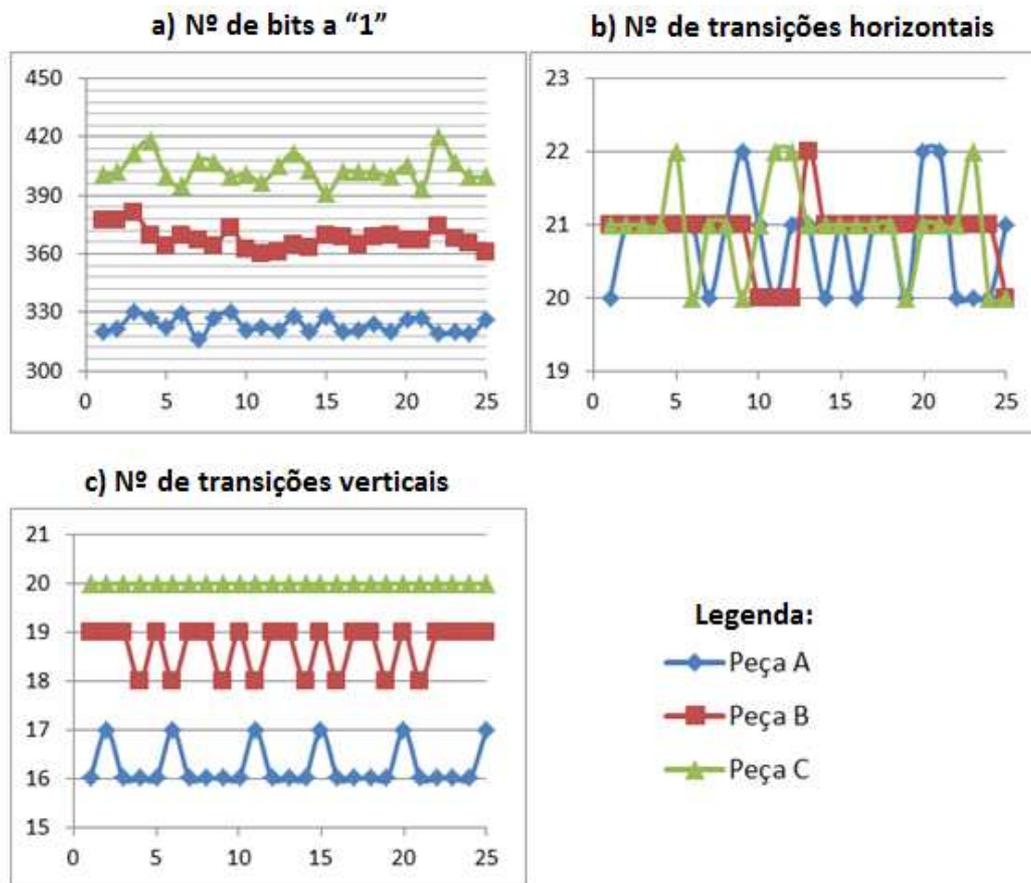


Fig. 5.4 - Diferenças entre objectos com diferentes alturas.

Os resultados obtidos após a realização de 25 leituras a cada um destes três objectos demonstraram, como era de esperar, que o número de transições horizontais é muito semelhante nos três casos. Por outro lado, segundo os outros dois critérios, são facilmente distinguidos, apesar de alguma variação de resultados. Deste modo, estes três objectos poderiam ser distinguidos utilizando os limites apresentados na tabela.

Tabela 6 - Limites para o reconhecimento de peças com diferentes dimensões.

	Peça A – 10x8cm		Peça B – 10x10cm		Peça C – 10x12cm	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Nº de bits a “1”	316	330	360	381	391	420
Nº transições horizontal	20	22	20	22	20	22
Nº transições vertical	16	17	18	19	20	20

Deste modo podemos concluir que este sistema de inspecção é muito sensível a pequenas alterações do objecto, não apresentando no entanto, variações significativas no resultado que impossibilitem a identificação dos objectos.

5.1.2 Caso 2 - Identificação de furo de um objecto com forma quadrangular.

Para a identificação de furo num objecto com forma quadrangular, foram utilizadas duas peças com largura e altura de 10cm, sendo que uma delas possuía um furo no centro com um diâmetro de 2cm. Para esta análise será utilizado o método por características comuns. Visto que a característica que distingue as duas peças é o orifício no centro, foi utilizada uma máscara para seleccioná-la e extraí-la, para posteriormente ser submetida aos critérios de avaliação. Na **Fig. 5.5**, podemos visualizar um exemplo de leitura realizada a este objecto, sendo posteriormente utilizada a máscara referida na **Tabela 7** e, finalmente, classificada segundo os três critérios de avaliação.

Tabela 7 - Máscara para identificação de furo.

Máscara			
X1:	5	Y1:	6
X2:	14	Y2:	15

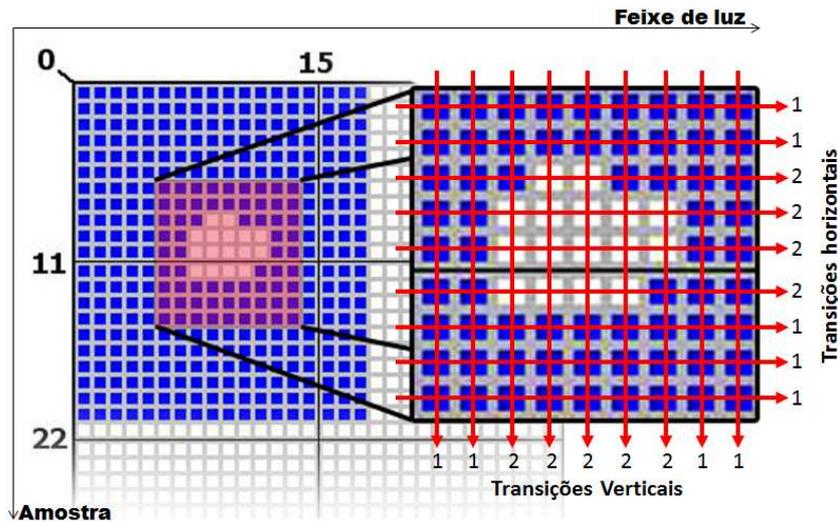


Fig. 5.5 - Exemplo de uma amostra de um objecto com furo, utilizando a máscara e contagem das respectivas transições.

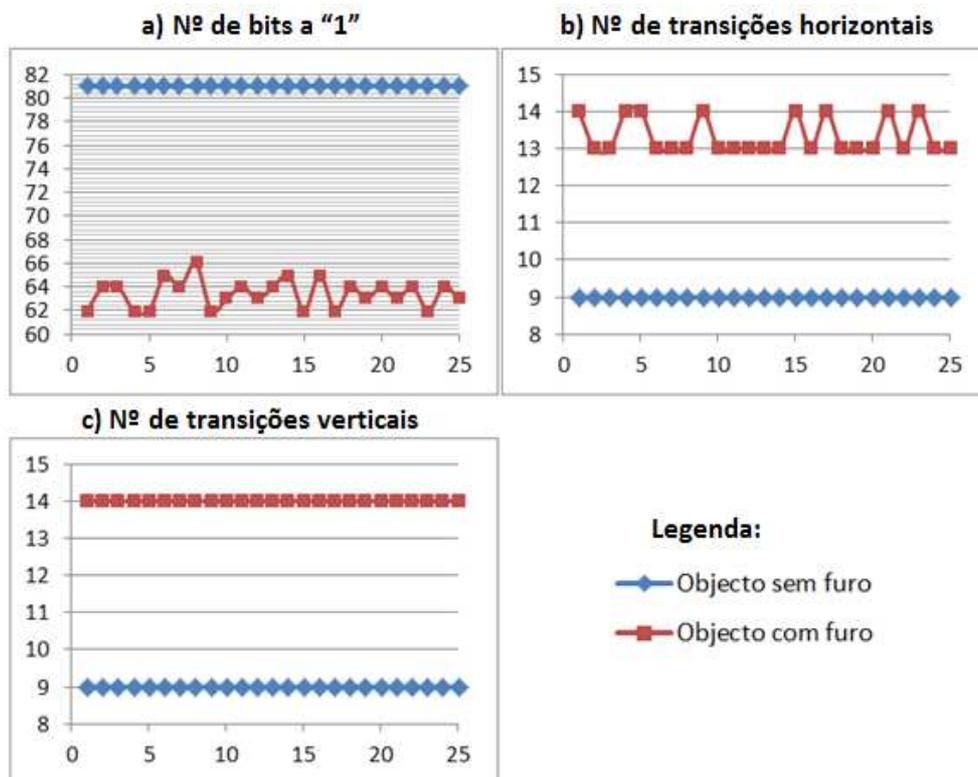


Fig. 5.6 - Diferenças entre objectos com furo e objectos sem furo.

Como é possível visualizar através da Fig. 5.6, com a aplicação da referida máscara, a diferença entre objectos é considerável nos três modos de avaliação. No objecto com furo o valor máximo de bits a "1" foi 66, encontrando-se a uma distância considerável do valor constante visto pela peça sem furo, 81. Do mesmo modo, é possível verificar que os objectos com furo possuem mais transições ascendentes, em

relação aos objectos sem furo que possuem apenas as 9 transições relacionadas com a detecção do objecto (9 bits lidos + 9 amostras). Este resultado era esperado tendo em conta as características dos objectos, tornando-se assim acessível programar os limites para detecção de cada um deles, como será visto na **Tabela 8**.

Tabela 8 - Limites para o reconhecimento das peças com e sem furo.

	Objecto sem furo		Objecto com furo	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Nº de bits a "1"	81	81	62	66
Nº transições horizontal	9	9	13	14
Nº transições vertical	9	9	13	14

Tal como neste trabalho, na dissertação anterior também foi reconhecido com 100% de eficácia o objecto com orifício no centro.

5.1.3 Caso 3 - Identificação de corte ou saliência na aresta de um objecto.

Da mesma forma que nos dois casos anteriores, foi utilizado uma peça quadrangular 10x10cm como base – Peça A – e outros dois objectos com ligeiras diferenças. A Peça B possui uma ligeira reentrância na aresta superior e a peça C uma ligeira saliência, sendo que ambas as deformações possuem uma forma circular. O objectivo deste teste é verificar a capacidade de reconhecimento de defeitos nas arestas, sejam eles de excesso ou ausência de material e também a análise de objectos com perfil circular.

Para este teste foi utilizada a máscara em apenas metade da respectiva característica para diferenciar os objectos. Na **Fig. 5.7** poderá ser visto um exemplo de cada um dos objectos lidos com a respectiva máscara (ver **Tabela 9**).

Tabela 9 - Máscara para reconhecimento de reentrância e saliência.

Máscara			
X1:	12	Y1:	2
X2:	22	Y2:	10

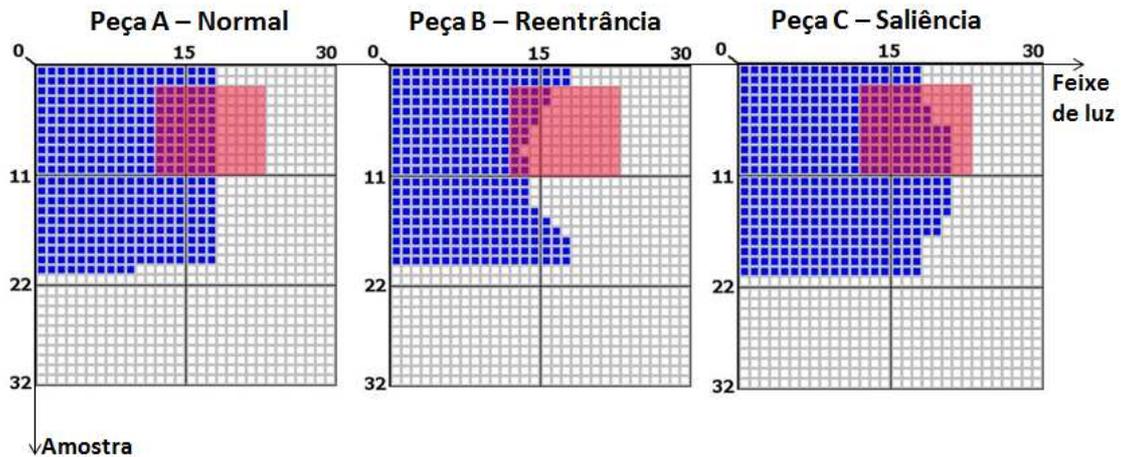


Fig. 5.7 - Comparação entre exemplos de leituras realizadas para as peças A, B e C e respectivas máscaras.

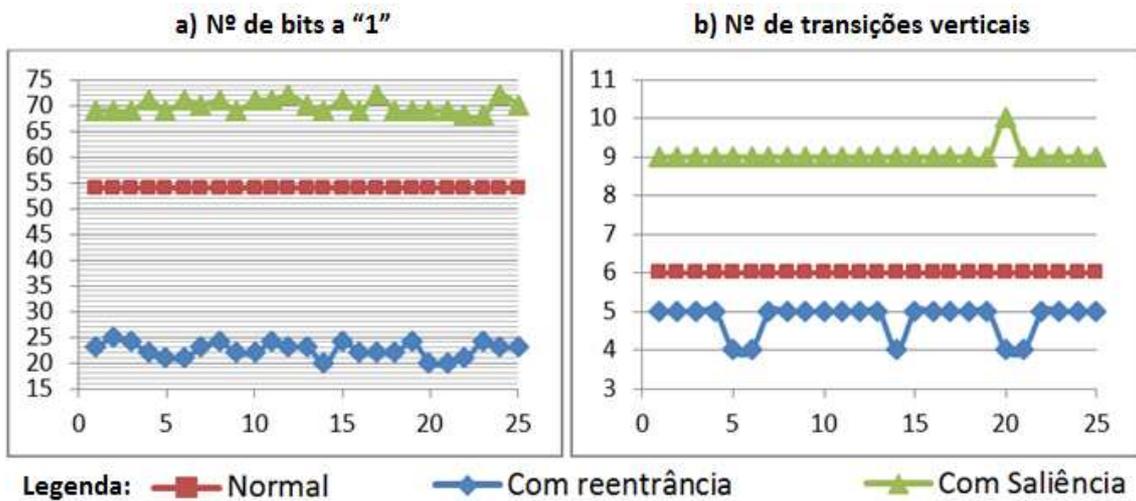


Fig. 5.8 - Diferenças entre objectos com diferentes arestas.

Através da **Fig. 5.8** é possível verificar que, tal como era previsto, o objecto com maior área possui claramente maior número de bits ligados e transições verticais, enquanto o objecto com uma reentrância é o que possui menos. Não foi colocado o gráfico do número de transições horizontais, pois nos três casos o resultado foi sempre o mesmo. Assim, através dos gráficos poderemos indicar quais os limites para cada objecto, como demonstrado na **Tabela 10**.

Tabela 10 - Limites para o reconhecimento de peças com diferentes arestas.

	Peça A		Peça B		Peça C	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Nº de bits a "1"	54	54	20	25	68	72
Nº transições horizontal	9	9	9	9	9	9
Nº transições vertical	6	6	4	5	9	10

Na dissertação sobre sensores ópticos do tipo difuso, foi realizado um teste semelhante a este, mas com as deformações rectangulares. Os resultados obtidos foram igualmente de 100% de casos reconhecidos.

5.1.4 Caso 4 - Identificação de furo na aresta de um triângulo

O presente caso visa analisar dois triângulos rectângulos isósceles com 12cm nos dois catetos. A diferenciação entre ambos encontra-se na hipotenusa, sendo que numa delas não se encontra nenhum furo (Peça A) e na outra sim (Peça B). O teste será semelhante aos já referidos nos casos anteriores, com a criação de uma máscara a seleccionar a característica que os difere e posterior avaliação de resultados. Na **Fig. 5.9** é possível visualizar um exemplo de um teste realizado para cada objecto, utilizando a máscara referida na **Tabela 11**.

Tabela 11 - Máscara utilizada para reconhecimento de furo na hipotenusa do triângulo.

Máscara			
X1:	8	Y1:	7
X2:	15	Y2:	13

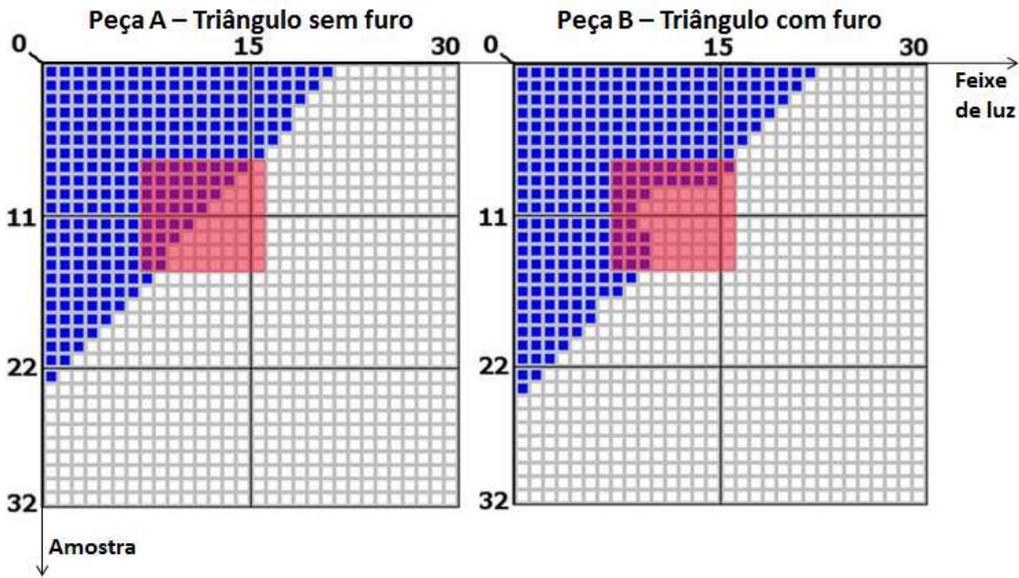


Fig. 5.9- Comparação entre exemplos de leituras realizadas para triângulos com e sem furo, com respectiva máscara.

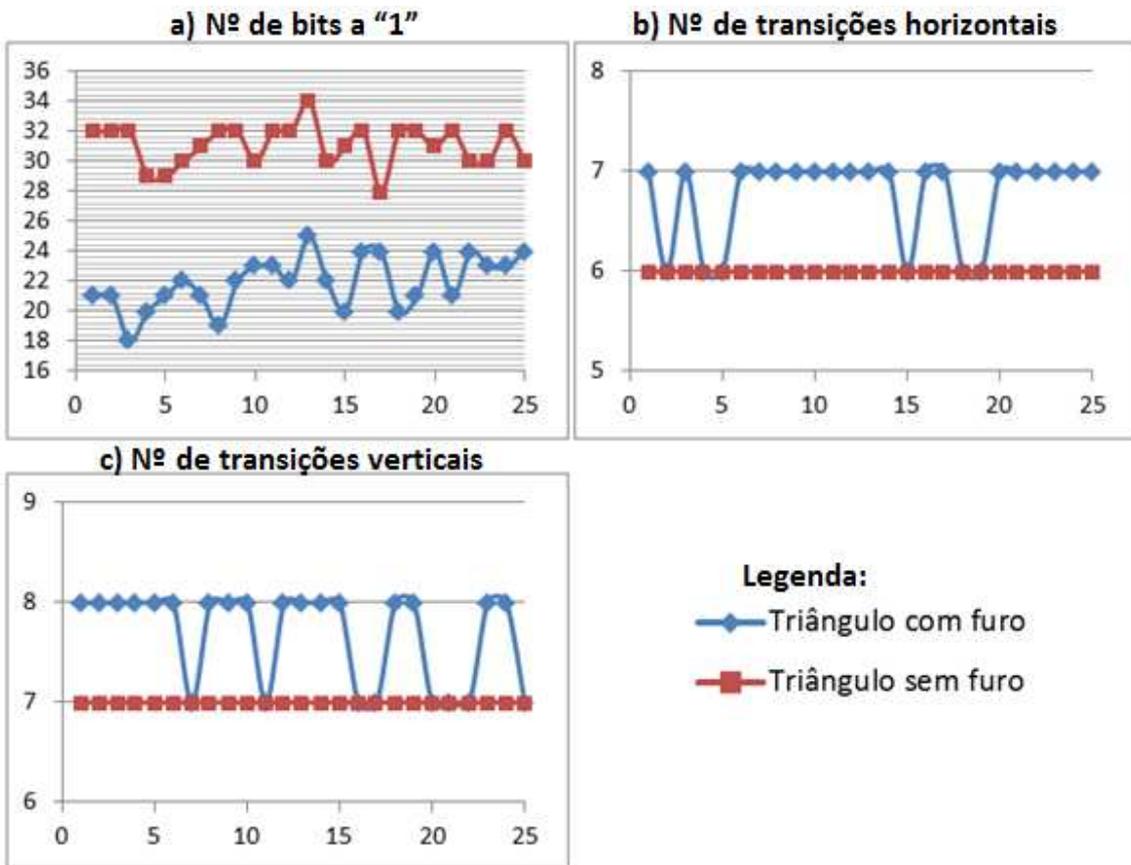


Fig. 5.10 - Diferenças entre triângulos com diferentes hipotenusas.

Como pode ser verificado na **Fig. 5.10** o reconhecimento entre os diferentes objectos pode ser realizado através do número de bits ligados. No entanto, a proximidade entre os extremos máximo e mínimo dos dois objectos é muito elevada (apenas 3 bits de diferença) e a variação destes valores é muito elevada. Relativamente

ao número de transições, apenas é possível garantir que quando tem sete transições horizontais e oito transições verticais, o triângulo possui um furo. Deste modo, é possível apurar que este sistema de reconhecimento de padrões, denota alguma dificuldade na identificação neste formato de objectos, apesar de consegui-lo. Os limites utilizados na identificação destes objectos poderão ser vistos na **Tabela 12**.

Tabela 12 - Limites de triângulos com diferentes hipotenusas.

	Triângulo sem furo		Triângulo com furo	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Nº de bits a “1”	28	34	18	25
Nº transições horizontal	6	6	6	7
Nº transições vertical	7	7	7	8

Na dissertação anterior os resultados obtidos também não foram convincentes, obtendo resultados variáveis, sendo que o mais comum foi visto 60% das vezes. Assim, apesar da dificuldade sentida neste teste, é viável afirmar que este sistema possui melhores resultados que no sistema de sensores ópticos do tipo difuso.

5.1.5 Caso 5 - Identificação da posição de triângulo.

A identificação da posição do triângulo, como o nome indica, pretende determinar se o cateto posicionado na vertical encontra-se do lado direito ou do lado esquerdo do triângulo. Esta identificação, utilizando os critérios de selecção empregados neste trabalho, é exequível por duas formas ligeiramente distintas (como poderá ser visto na **Fig. 5.11**). No primeiro método são utilizadas pelo menos duas máscaras em posições distintas, de forma a atravessarem horizontalmente o objecto. Caso o número de bits a “1” na máscara mais acima seja superior ao número de bits a “1” mais abaixo, significa que o triângulo passou pelo sensor primeiramente com o cateto na posição vertical (**Fig. 5.11 a**). Se o número de bits na máscara superior fosse menor comparativamente ao valor da máscara inferior, significaria que a hipotenusa passou primeiro (**Fig. 5.11 b**). No segundo método, é feita uma sobreposição da leitura de dados obtida, mascarando as áreas que se modificam entre as diferentes posições. Na **Fig. 5.11 c** é possível visualizar que na máscara 1 todos os bits se encontram ligados e na máscara 2 encontram-se desligados, enquanto na **Fig. 5.11 d** para outra posição, os resultados invertem-se. A figura mostra os dois casos possíveis.

Para os testes realizados foram utilizados os dois métodos, acolhendo 100% da identificação prevista para ambos. Estes resultados não serão representados graficamente visto que a variação foi quase, ou até mesmo sempre, nula. Este resultado é também partilhado com os testes realizados pelos sensores ópticos do tipo difuso.

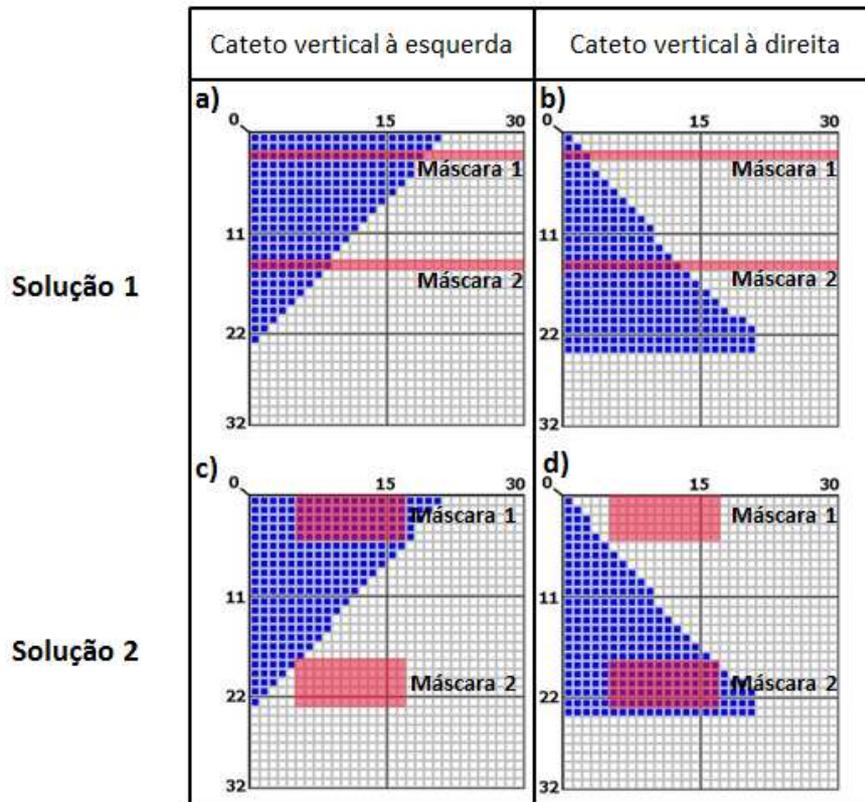


Fig. 5.11 - Métodos utilizados na identificação de posições de um triângulo.

5.2 Teste às capacidades da cortina de luz

Com o desenrolar dos testes efectuados para comparação com o sistema anterior, verificou-se que os resultados obtidos eram muito satisfatórios. No entanto, visto que os objectos construídos foram baseados nas peças utilizadas na dissertação anterior, chegou-se à conclusão que não estariam a ser exploradas todas as capacidades da cortina de luz. No sistema de reconhecimento de padrões anterior, eram utilizados apenas seis sensores com uma resolução de 1cm, de modo que tornou-se necessária a construção de objectos que possuíssem características evidentes e com grandes dimensões. Visto que a cortina de luz possui mais sensores e uma resolução superior, a identificação dos objectos utilizados era realizada sem grande dificuldade e com pouca margem de erro. Nesta fase de testes, foram realizadas análises a outros objectos,

possuidores de características menos evidentes, de forma a identificar algumas das possíveis limitações deste tipo de sensor.

Nesta parte do trabalho, também foram realizados testes a uma das características comumente apontadas a este tipo de sensores: a capacidade de identificação de líquidos em garrafas. Para esse efeito foram testados líquidos com diferentes níveis de opacidade.

5.2.1 Caso 6 - Identificação de posição de furos

O presente caso visa verificar a capacidade deste sistema de inspecção em identificar se a posição de um orifício num objecto é a correcta. Para tal, foi criado um objecto original, que será considerado o correcto, com um diâmetro de 1cm e posicionado a uma altura de 5cm e a 2cm da aresta (Peça A). Posteriormente foram criados mais duas peças com as mesmas dimensões, mas com diferentes posições na colocação do furo: A primeira colocada 0,5cm à esquerda da original (Peça B) e a segunda afastada a 0,5cm acima da original (Peça C). Na **Fig. 5.12** é possível ver as dimensões do objecto.

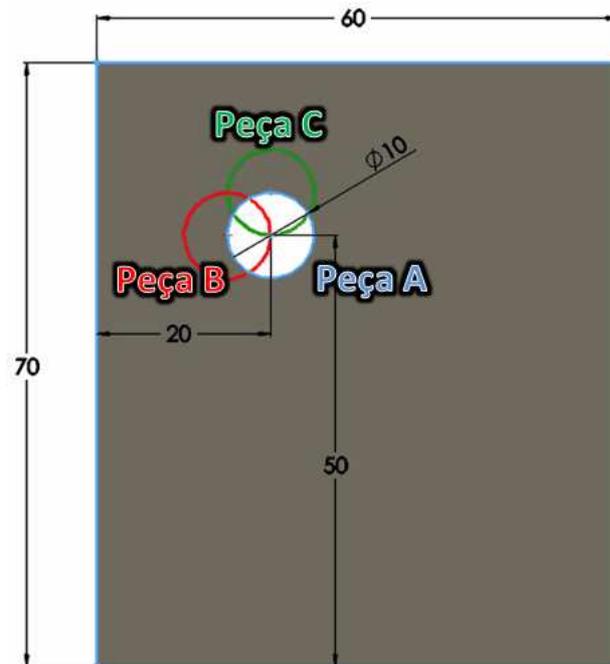


Fig. 5.12 - Dimensões das três peças analisadas.

Para a aquisição de dados destes objectos foi escolhida um período menor ao utilizado anteriormente. Caso fosse utilizado um período de 40ms como antes, a representação do furo seria muito pequena (quadrado formado por 4 bits), bastando uma simples vibração na esteira transportadora para que pudesse ocorrer um erro na definição do objecto. Foi então escolhido um período de 20ms, duplicando a representação do furo e aumentando assim o intervalo de erro aceitável de leitura.

A escolha inicial da máscara foi feita de forma a cercar o espaço ocupado pelos três orifícios simultaneamente, apenas para reduzir a área que nos é interessante analisar e verificar a percentagem que cada bit tomou o valor “1” durante 25 testes realizados. A escolha desta máscara não seria útil para distinguir a posição dos três furos visto que, como seria de esperar, o número de bits ligados e de transições tomam valores semelhantes nos três casos (ver **Fig. 5.13**).

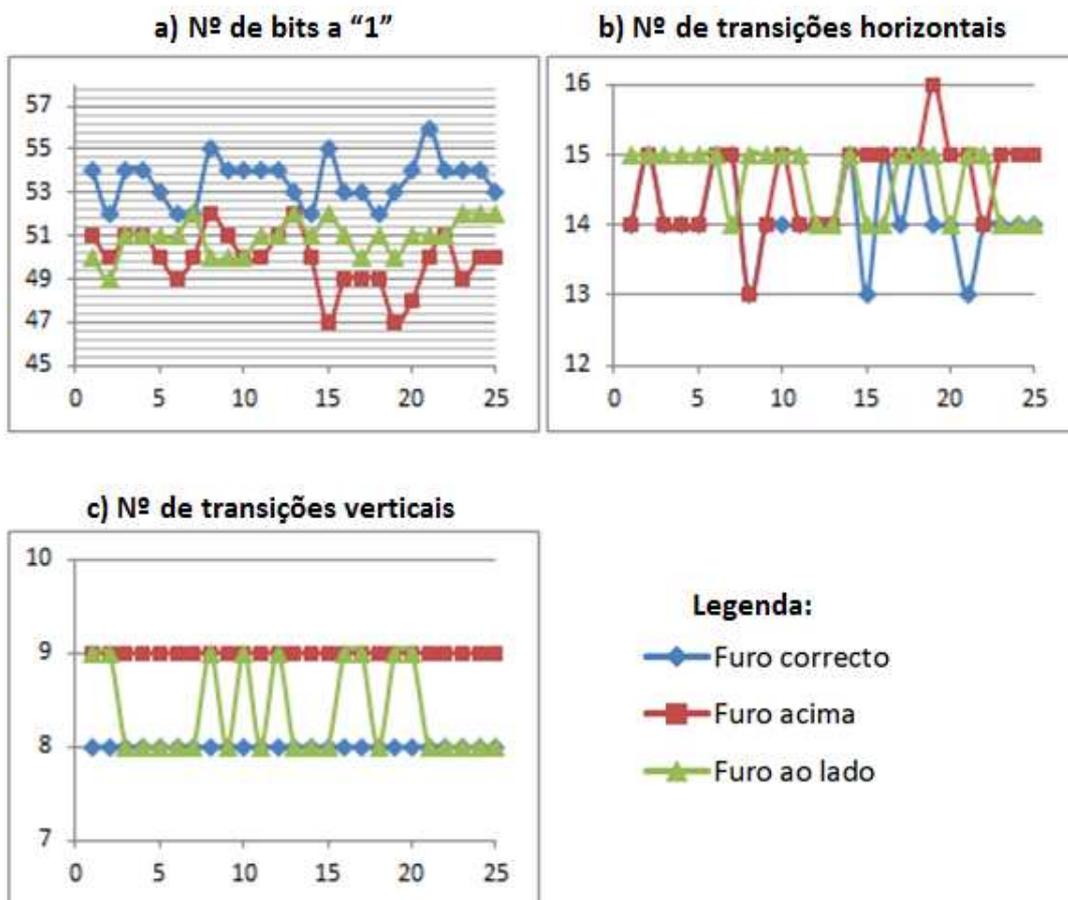


Fig. 5.13 - Comparação entre os três furos sujeitos a análise.

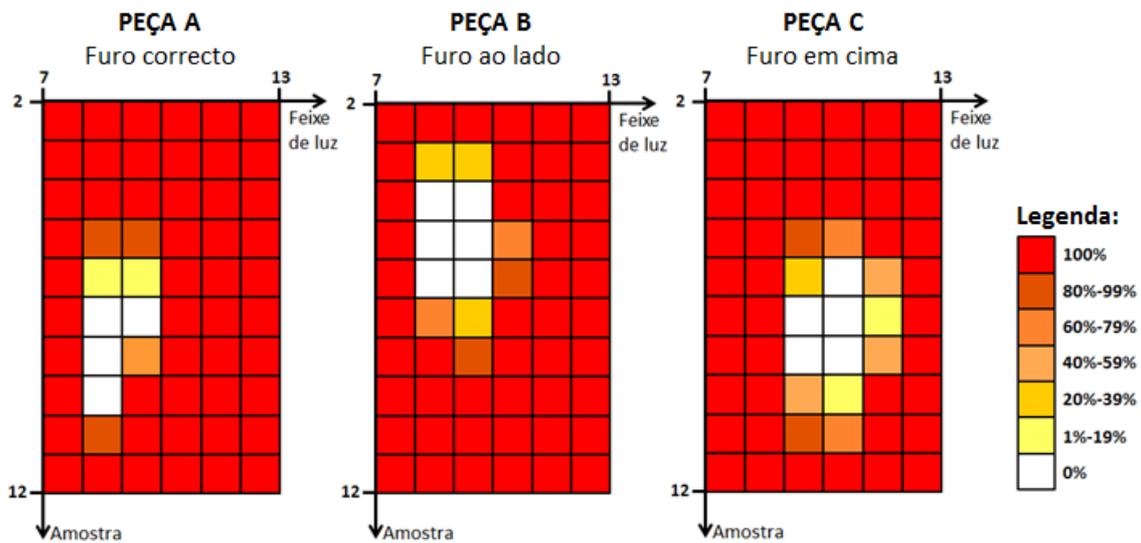


Fig. 5.14 - Percentagem de bits a “1” em cada ponto da zona mascarada.

Como é possível visualizar através da **Fig. 5.14**, os resultados obtidos para cada tipo de peça possuem alguma variação, no entanto houveram bits que se mantiveram constantes durante todas as leituras realizadas. Analisando apenas os bits a branco, podemos verificar que a diferenciação entre os três casos é saliente, estando a zona do furo das peças B e C claramente desfasadas em relação ao visível na peça A. Para identificar cada um dos objectos foi posteriormente criada uma ou mais máscaras que cercassem a zona a branco e foi imposto os limites para que os três modos de identificação (Número de bits ligados, número de transições verticais e horizontais) tomassem um valor nulo. Com estas novas máscaras, foram novamente efectuados mais 10 testes para cada um deles, apresentando um resultado de 100% de eficácia.

5.2.2 Caso 7 - Identificação do diâmetro de um furo.

Neste caso será utilizado um método semelhante ao já visto anteriormente, mas orientado para a identificação do diâmetro de um orifício. Para esta averiguação foi utilizada a mesma peça A do caso anterior (diâmetro do furo - 1cm) e uma nova peça semelhante, mas com um orifício na mesma posição de 0,5cm (Peça B). Esta medida foi escolhida por tomar o mesmo valor da resolução, uma vez que se fosse eleito um valor menor, correríamos o risco de o furo não ser detectado.

A aquisição de dados será realizada com uma periodicidade de 20ms, pelos mesmos motivos apontados anteriormente com uma agravante: Para um período de 40ms, o orifício mais reduzido, por vezes, não era detectado.

Relativamente à máscara utilizada, foram seguidos os mesmos métodos anteriores, aplicando uma que cerque a zona da característica que pretendemos analisar. Neste caso, dado que essa característica interfere directamente com o número de transições e de bits ligados, esta máscara poderia ser utilizada para a distinção entre ambas as peças (ver **Fig. 5.15**), através dos limites visíveis na **Tabela 13**.

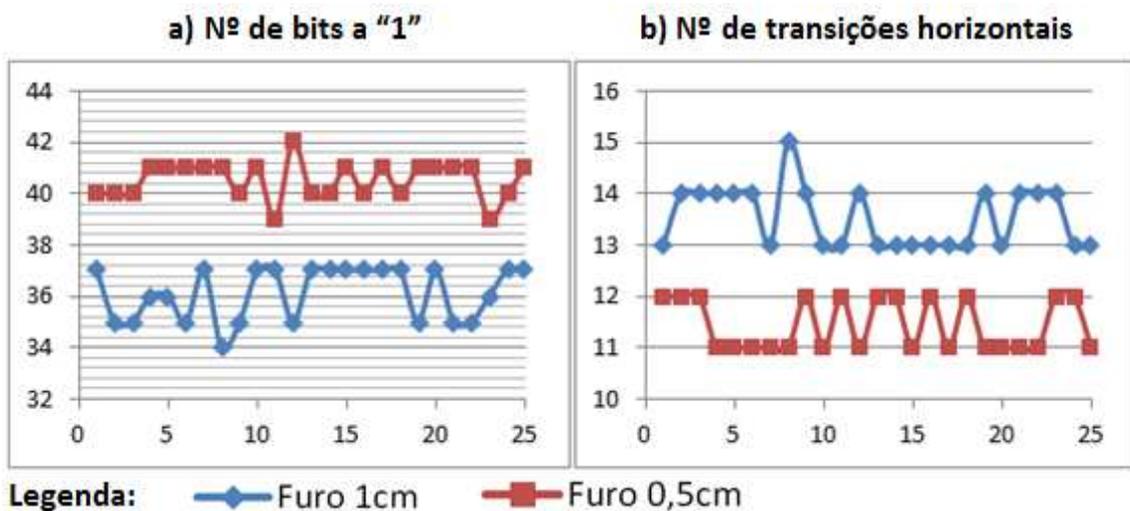


Fig. 5.15 – Comparação dos dois tipos de furo sujeitos a análise.

Tabela 13 - Máscara e limites para reconhecimento de furos com diâmetros diferentes.

Máscara	X1	X2	Y1	Y2
		6	11	4
	Furo 1cm		Furo 0,5cm	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Nº de bits a "1"	34	37	39	42
Nº transições horizontal	13	15	11	12
Nº transições vertical	7	7	7	7

Como é possível verificar pelos gráficos representados na **Fig. 5.15**, é notória a distinção entre os dois objectos através do número de bits a "1" e número de transições na horizontal. O número de transições na vertical (não representado por ser igual para os dois casos ao longo dos 25 testes realizados) também deveria possuir uma diferença relevante, visto que a diferença entre diâmetros é igual à resolução da cortina de luz (0.5cm). Assim, a diferença entre ambos é muito ténue derivado das dimensões que

estamos a analisar. De modo que foi efectuado novamente um controlo dos bits que se encontram a “1” em cada um dos testes, na área seleccionada pela máscara.

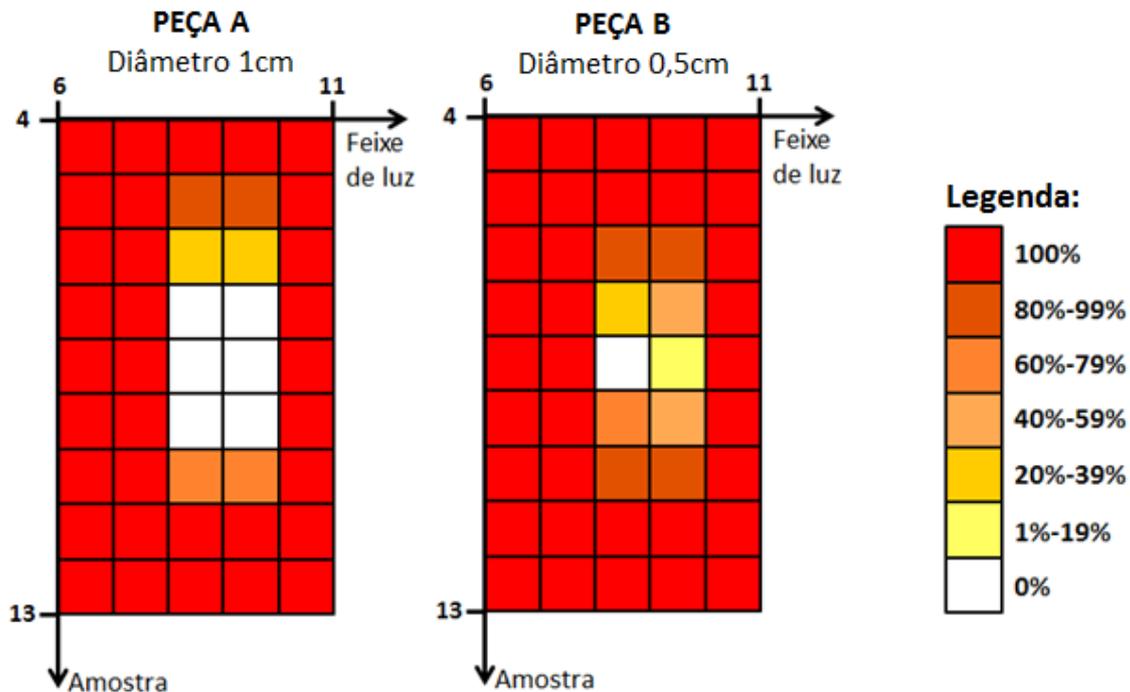


Fig. 5.16 - Percentagem de bits a “1” em cada ponto da zona mascarada.

Através dos 25 testes realizados e representados na **Fig. 5.16**, é conhecido que na peça A houve seis bits que se mantiveram sempre a “0” ao longo de todo o processo, existindo uma pequena variação nos resultados. Por outro lado, os resultados na peça B foram muito variados, existindo apenas um bit que se manteve sempre a “0” em todas as situações e que também se encontra posicionado na mesma área de definição do furo visto na Peça A. Assim, conclui-se que por se tratar de um furo muito próximo da resolução da cortina de luz, há alguma dificuldade na sua distinção. No entanto, o furo foi sempre reconhecido e, mesmo com alguma dificuldade, também é possível distingui-los através dos critérios de avaliação criados.

Finalmente, foram realizados novos testes para verificar se a cortina de luz consegue realmente distinguir os dois objectos. Para a definição do objecto A, foi utilizada a máscara já vista **Tabela 13** conjuntamente com outra máscara que cercasse a zona branca vista na figura 5.15 (X_1-8 ; X_2-10 ; Y_1-7 ; Y_2-10) e com todos os limites máximo e mínimo tomando o valor nulo. Esta limitação garante que a peça só será reconhecida, caso aqueles 6 bits tomem o valor zero, diminuindo assim a probabilidade da Peça B ser reconhecida como Peça A.

Os resultados obtidos numa nova fase de testes com estas duas máscaras foram muito satisfatórios, identificado em 100% dos 25 casos analisados a Peça A como correcta e noutros 25 casos a peça B como errada.

5.2.3 Caso 8 – Identificação de líquidos.

Uma das aplicações assinaladas em vários catálogos para os sistemas de sensores com cortina de luz, é a inspecção ao nível de enchimento de garrafas. A verificação do volume de líquido presente num recipiente, ou a ausência dele, são tarefas frequentemente encontradas nas mais variadas indústrias. Estes testes foram realizados por curiosidade, tendo o intuito de observar o comportamento deste sistema perante a análise de líquidos.

Como já é sabido, este sistema de sensores detecta o alvo quando este interrompe um dos feixes de luz dispostos entre o emissor e o receptor. Assim, a opacidade do material é uma propriedade fundamental para que a identificação seja realizada com sucesso. Deste modo, para a identificação de um líquido engarrafado é necessário ter em conta tanto a opacidade do recipiente, como da substância líquida. Visto que o objectivo deste teste é identificar o volume preenchido pelo líquido, foram utilizados recipientes transparentes com superfícies lisas, de forma que as suas propriedades não tivessem influência no resultado.

Para o primeiro teste foi colocado um copo vazio a atravessar a cortina de luz para verificar se o sensor conseguia identificá-lo, ou pelo menos, parte dele. Devido à sua transparência, em nenhum dos testes foi reconhecido.

De seguida, foram testados três líquidos com diferentes opacidades – água, chá gelado e sumo de laranja – depositados no mesmo copo utilizado no primeiro teste. Com isto pretendia-se verificar a reacção deste sistema de inspecção a líquidos transparentes, semi-transparentes e opacos. Como podemos verificar na **Fig. 5.17**, todos os líquidos inspeccionados foram detectados, sendo possível assinalar qual o nível de enchimento em cada um dos casos. Porém, a reacção do sistema aos líquidos analisados foi distinta, levando-nos a chegar a algumas conclusões. No líquido transparente e semi-transparente, estes apenas foram detectados nas superfícies laterais do copo, enquanto

no centro, os feixes de luz emitidos conseguiram chegar ao receptor. Esta situação ocorre devido ao fenómeno da refacção da luz que, devido à superfície cilíndrica do copo, fará com que o feixe de luz se desvie da sua trajectória original, não sendo então detectado pelo receptor. O facto da área detectada no chá ser menor que a área detectada na água, está directamente relacionada com o índice de refacção dos dois líquidos, sendo que o primeiro possui um índice menor derivado dos sólidos dissolvidos, como o açúcar ou alguns ácidos. Relativamente ao sumo de laranja, só foi representada a área onde se encontrava o maior volume de líquido (diâmetro do copo aumento ao longo da sua altura), enquanto nas restantes zonas os feixes de luz chegaram ao seu destino. Esta não identificação do resto do sumo deve-se ao baixo índice de refacção deste líquido e ao facto de, ao contrário do previsto, o sumo utilizado não ser totalmente opaco.

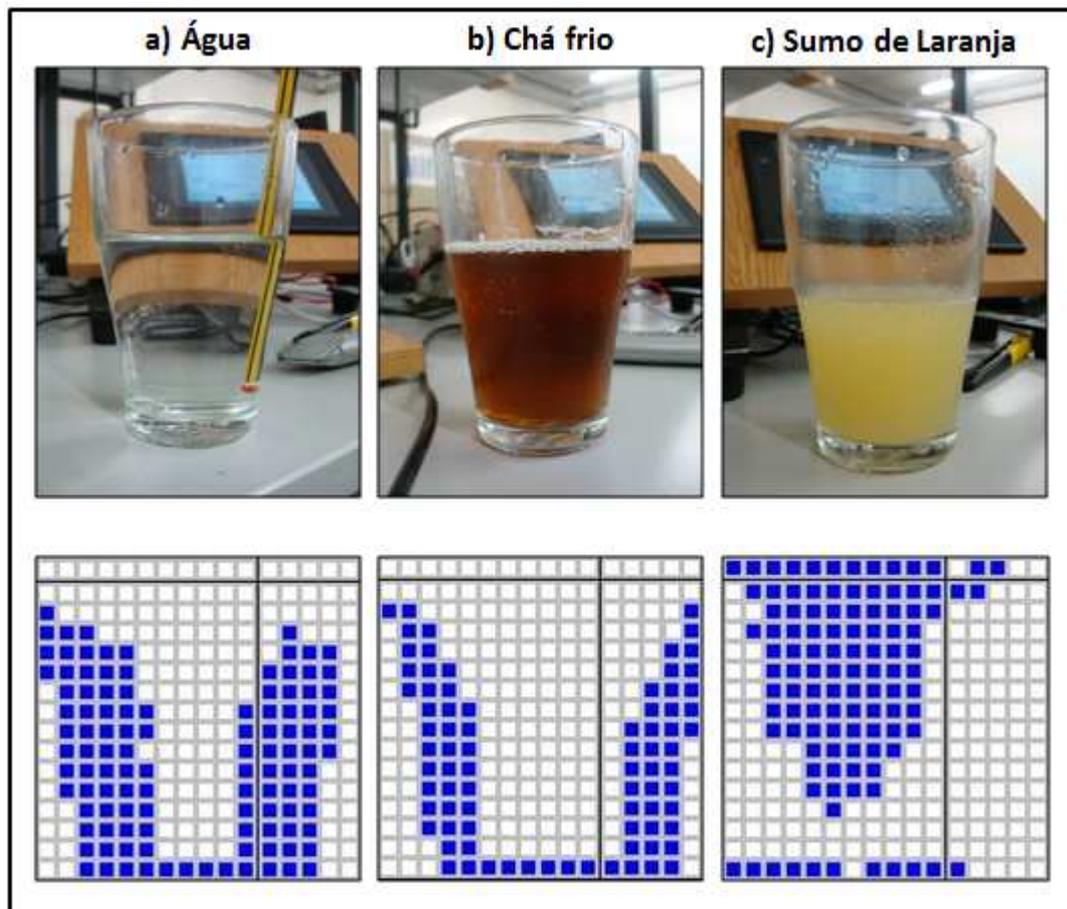


Fig. 5.17 - Líquidos utilizados para o estudo (em cima) e exemplo de imagem adquirida pelo sensor para cada um deles (em baixo).

O resultado obtido com estes três testes foi muito interessante, pois possibilitou-nos verificar que, para além da identificação do nível de enchimento do copo, também é possível efectuar um reconhecimento do líquido (Por exemplo: distinção entre a água e o chá através do número de bits a “1” e a distinção entre estes dois com o sumo de

laranja através do número de transições). No entanto, o facto da identificação dos líquidos transparentes ser realizada através das superfícies laterais cilíndricas, levantou a questão de como se comportaria o sistema com um recipiente de outra forma. Por esse motivo, foi realizado um novo teste com um líquido transparente (desta vez um perfume) colocado num recipiente com uma forma cubica.

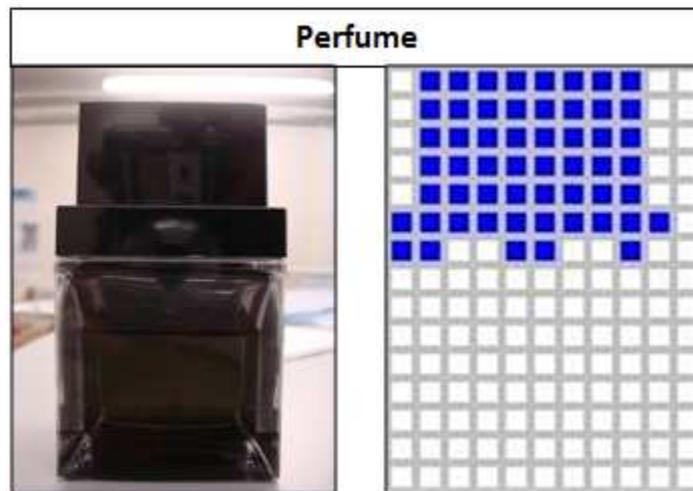


Fig. 5.18 - Recipiente utilizado para estudo (lado esquerdo) e exemplo de imagem adquirida pelo sensor (lado direito).

Como podemos ver pela **Fig. 5.18**, apenas foi reconhecida a tampa que se encontra no topo superior, enquanto o resto não foi identificado. Conclui-se então que este sistema testado consegue analisar líquidos com diferentes opacidades, quando colocados em recipientes com forma cilíndrica. Caso o recipiente possua a forma de um prisma rectangular, apenas identificará líquidos considerados opacos.

5.2.4 Caso 9 – Peças complexas

Como último teste foi construído um objecto com peças da Lego®, com o intuito de verificar o comportamento do sistema, perante várias características de diferentes tipos, distribuídas por um perfil. O objecto criado possui cinco características distintas: (1) Furo pequeno; (2) Furo com largura maior; (3) Furo com altura maior; (4) Saliência e (5) Reentrância. Também, todas as características foram posicionadas perto umas das outras. O objecto criado é visível na **Fig. 5.19**.

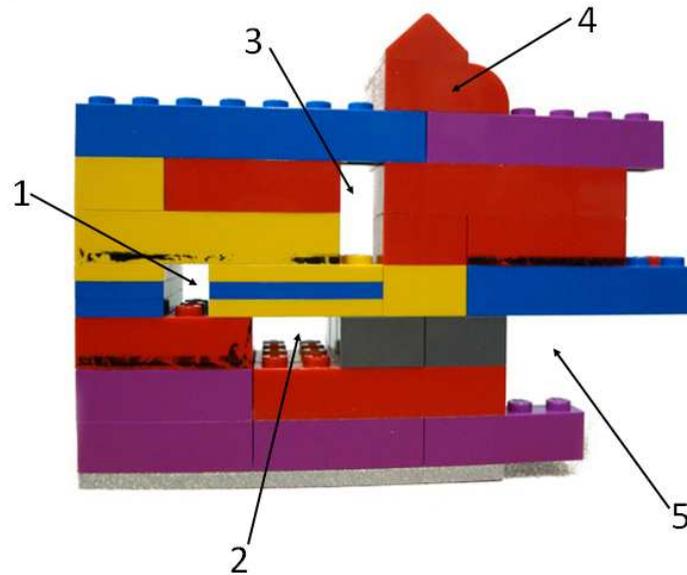


Fig. 5.19 - Objecto criado com cinco características distintas.

Apesar do resultado final ser do conjunto, cada característica será analisada isoladamente, sendo por isso necessária a aplicação de uma máscara para cada uma delas. Os valores para cada uma das máscaras, foram escolhidos de maneira a contornar as característica e a isolá-las das restantes. A Fig. 5.20 apresenta um exemplo de uma aquisição deste objecto, com as máscaras presentes na Tabela 14.

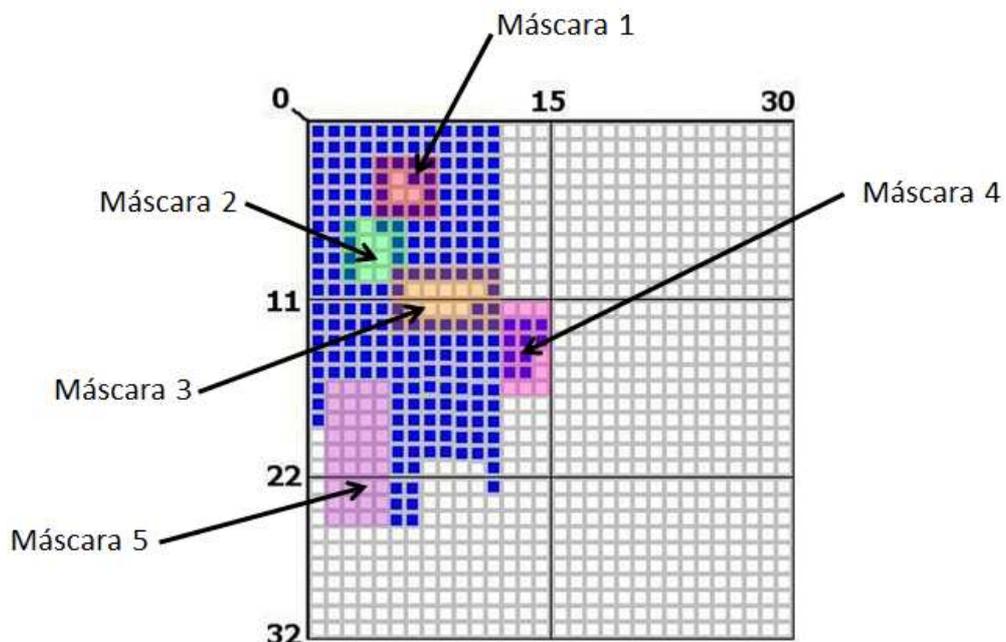


Fig. 5.20 - Representação das máscaras criadas sobre a peça.

Tabela 14 - Máscaras utilizadas na identificação deste objecto.

Máscara 1:			
X1:	4	Y1:	2
X2:	8	Y2:	7

Máscara 2:			
X1:	2	Y1:	6
X2:	6	Y2:	11

Máscara 3:			
X1:	5	Y1:	9
X2:	12	Y2:	13

Máscara 4:			
X1:	12	Y1:	11
X2:	15	Y2:	17

Máscara 5:			
X1:	1	Y1:	17
X2:	5	Y2:	25

O restante processo de funcionamento é similar aos já apresentados anteriormente, sendo necessária a definição dos limites para cada um dos critérios de avaliação.

A realização de testes consistiu em ir anulando uma característica de cada vez (Por exemplo: Tapar o furo 1 ou retirar a peça 4) e ir verificando a reacção sistema na identificação do objecto.

O sistema desenvolvido neste trabalho demonstrou-se capaz na identificação dos objectos, reconhecendo na maioria dos casos, se a peça se encontrava boa ou má. A identificação das características apresentadas nas laterais (furo e saliência), foram características que este sistema conseguiu resolver sem grande margem para dúvidas através dos critérios de avaliação apresentados. Apenas com um controlo mais apertado (limites máximo e mínimo mais próximos) no número de bits a “1”. Deste modo, caso não se apresentasse nenhum bit na característica 4, ou mais do que 1 bit na característica 5, o sistema reconhecia imediatamente o objecto como defeituoso. Por outro lado, o resultado obtido na identificação de objectos com os furos tapados apresentou-se mais complexo. Tal como nos casos apresentados anteriormente, o posicionamento do objecto no tapete, ou a vibração da esteira transportadora, resultava numa perturbação da leitura do objecto. Assim, a máscara colocada nem sempre conseguia apanhar a totalidade da característica e, por vezes, apanhava partes de outros furos devido à sua proximidade. Deste modo, a criação da máscara e dos limites impostos foi um processo iterativo prolongado, até conseguir uma solução estável. Os resultados obtidos

posteriormente foram satisfatórios, diferenciando as peças boas das más em 100% dos casos.

Assim conclui-se que este sistema de inspecção poderá ter utilidade num ambiente industrial, com aplicações algo complexas. A identificação de objectos defeituosos foi possível em todos os casos estudados, de modo que, permite concluir que este sistema de inspecção com as cortinas de luz utilizadas reconhece todas as características estudadas, desde que sejam superiores à sua resolução. No entanto, a vibração do tapete e o posicionamento do objecto sobre a esteira são condições a ter em conta, pois poderão interferir nos resultados obtidos caso sejam demasiado evidentes.

Também é interessante referir, que a cortina de luz conseguia, por vezes, ler o espaçamento entre as peças Lego® encaixadas. Assim, fica demonstrado mais uma vez, a sensibilidade dos fototransistores presentes na cortina de luz.

6. Conclusão

Nos dias de hoje, a automação encontra-se presente em quase todos os ambientes industriais, sendo os sensores uma das tecnologias mais utilizadas. A integração destes dispositivos em sistemas de reconhecimento de padrões, tomam cada vez mais um papel predominante em algumas aplicações industriais, devendo-se este facto à necessidade de dotar as máquinas de comportamentos inteligentes. Foi neste contexto que se realizou nesta dissertação um sistema de reconhecimento de padrões, com sensorização por uma cortina de luz, de forma a se compreender as dificuldades inerentes ao seu desenvolvimento, bem como as suas capacidades e limitações.

O objectivo principal desta dissertação consistiu na comparação de desempenho com um outro sistema de reconhecimento de padrões desenvolvido no ano anterior, na identificação de formas simples e orientações de determinados objectos. Foi então necessário o desenvolvimento de um programa que permitisse a aquisição de objectos semelhantes aos utilizados anteriormente, e que pudessem cumprir as mesmas condições de funcionamento. Com esse intuito foi desenvolvido um programa em diagrama de escada, que permitisse adquirir os dados de um objecto e posteriormente o avaliasse segundo três critérios de selecção: Número de bits a “1”, número de transições verticais e número de transições horizontais. O programa desenvolvido para a interface humano-máquina, permite a selecção das condições de funcionamento de todo o sistema, tal como a validação da análise efectuada.

Os resultados obtidos nesta primeira fase de testes foram muito favoráveis apesar de alguns objectos apresentarem variações de leituras, devido a pequenas vibrações da esteira transportadora e/ou erro humano na construção das peças. Deste modo podemos afirmar que este sistema satisfaz todas as condições de funcionamento a que foi proposto, com menor dificuldade que o antecessor. Este desfecho era o esperado

tendo em conta que este sistema de sensorização utilizado possui um maior nível de sofisticação, directamente associado ao seu maior custo. As maiores diferenças destes dois sistemas que influenciam directamente o resultado final são:

- **Número de sensores** – A cortina de luz utilizada possui cinco vezes mais sensores que o sistema de sensores utilizado no ano anterior (30 em vez de 6), o que resulta numa maior altura. Esta distinção reflecte-se no número de dados adquiridos em cada leitura, que por sua vez resulta numa maior quantidade de informação a ser trabalhada na detecção de características e diferenciação de objectos.
- **Resolução** – A cortina de luz utilizada possui o dobro da resolução encontrada no sistema de sensores ópticos do tipo difuso (0,5cm em vez de 1cm). Assim, a cortina de luz utilizada descreve com maior detalhe o perfil de um objecto e respectivas características. Deste modo, a identificação de cada objecto é mais facilmente conseguida, reduzindo a margem de erro.
- **Método de sensorização** – Os sensores tipo barreira possuem maior alcance de detecção, para além de permitirem operar em ambientes industriais (vibrações e poeira). A saída do sensor não é afectada por reflexões na superfície do objecto. Pelo contrário, os sensores difuso-reflectidos obrigam a uma menor distância de detecção e dependem da reflexibilidade dos materiais. A cor do objecto e a rugosidade da sua superfície também influenciam directamente os índices de reflexão do alvo.
- **Sincronização** – Na cortina de luz a sincronização entre o receptor e o transmissor efectua-se por via óptica. Começando com o primeiro feixe (feixe de sincronização), o transmissor pulsa feixe por feixe em sequência rápida, sendo posteriormente identificado pelo receptor correspondente ao mesmo ritmo. Deste modo impede que os receptores recebam feixes vindos de outras fontes. No sensor criado no ano anterior, existia a possibilidade de os feixes emitidos serem identificados por um fototransistor diferente do indicado.

No entanto, apesar das mais-valias que este sistema utilizado trouxe ao reconhecimento de padrões de objectos semelhantes, foi verificado que os resultados apresentados pelo sistema anterior eram também positivos, pondo em causa a utilização

das cortinas de luz derivado à sua relação custo/benefício. Deste modo, foram testados outros objectos com um grau de exigência mais elevado e em aplicações que os sistemas difuso-reflectidos não conseguem operar. Os resultados obtidos demonstraram que a cortina de luz conseguiu reconhecer com relativa facilidade características com tamanho reduzido e colocadas em posições diferentes. No entanto a diferenciação entre tamanhos de furos revelou-se complicada, existindo muita variação nas leituras efectuadas e que consequentemente afectaram os resultados. Relativamente à identificação do nível de enchimento de garrafas com líquidos, os resultados indicaram que é possível verificar líquidos de diferentes opacidades em recipientes cilíndricos, tal como diferenciar os líquidos quando estes possuem diferentes índices de refacção. Por outro lado, em recipientes de forma prismática apenas é possível identificar líquidos completamente opacos.

Assim, os resultados conhecidos demonstraram que este tipo de sistema de reconhecimento de padrões possui mais benefícios relativamente aos anteriormente testados, podendo ser utilizados num maior número de aplicações, a objectos com maior variabilidade dimensional, diferentes tipos de materiais e estados físicos. A leitura realizada a cada objecto será também concretizada com maior precisão e rigor, permitindo uma redução da incerteza da definição da peça.

Comparativamente a outros sensores, como os sistemas de visão ou laser, este sistema óptico demonstrou que apesar de ser mais barato, possui condições para ser tido em conta em várias aplicações, onde é necessária a inspecção de peças. Uma das vantagens em relação aos sistemas de visão é a possibilidade de ser possível mensurar as dimensões do objecto (2D ou 3D), de forma simples. Assim como, neste tipo de sistemas, não é necessário adicionar um dispositivo que dê a ordem de aquisição de dados, ao contrário do requerido nos sistemas de visão. Outra característica relevante é a capacidade de inspecionar objectos com grandes dimensões, o que poderá determinar a escolha da cortina de luz para este tipo de objectos. Relativamente aos sistemas laser, a grande vantagem será a relação custo/benefício para a maioria das peças a serem analisadas. No entanto é necessário realçar que os sistemas laser permitem leituras a velocidades maiores com uma resolução superior, o que poderá ser um factor determinante para que este seja escolhido.

Neste trabalho, foram também criadas condições para configurar a extracção de características de qualquer objecto e definição de critérios de avaliação, unicamente através da interface humano-máquina. Esta programação foi conseguida com sucesso, permitindo que sejam testados qualquer objecto pretendido pelo utilizador. No entanto, é de referir que a margem de progressão para este sistema é ainda muito grande.

Para concluir, foi pensada a construção de uma nova mesa de testes, para futura comparação entre os vários sistemas de inspecção existentes na faculdade. Vários tipos de esteiras transportadoras foram pensadas, com diferentes vantagens e desvantagens. Foi dada prioridade à construção de uma semelhante à existente, de forma a reaproveitar a maioria dos seus componentes (motor, rodas dentadas, correntes transportadoras, etc) e por apresentar estabilidade no movimento dos objectos. No entanto, não foi possível a sua construção no presente trabalho devido à não existência de correntes transportadoras semelhantes em Portugal e ao tempo de entrega demasiado elevado. Assim, foi criado o projecto da nova esteira transportadora mas não foi possível construí-lo.

6.1 Trabalhos futuros

Um dos primeiros trabalhos a serem realizados no futuro, será inevitavelmente a construção da nova esteira transportadora que permitirá a comparação simultânea entre todos os sistemas de inspecção (Cortina de luz, sensores difuso-reflectores e dois sistemas de visão). Após esta construção, poderá ser realizada uma confrontação mais detalhada entre os sensores, submetidas às mesmas condições e ao mesmo tipo de objectos.

No futuro também seria útil a criação de outro método de aquisição de dados, por intervalos de espaços definidos. Assim seria possível determinar quais as medidas do objecto que pretendemos analisar ou, caso se pretenda a totalidade do objecto, o sistema adequará o período de aquisição de dados de forma não serem perdidos dados do objecto e não haja informação desnecessária.

No modo de programação criado nesta dissertação foi tida em conta a identificação de objectos pelas suas características, sendo posteriormente tomada a decisão pelo classificador quanto à qualidade do objecto. No futuro seria útil a

programação de um classificador muito semelhante ao existente, mas que permita identificar um objecto entre vários conhecidos. Para isso bastaria a criação de máscaras e critérios de validação para cada um dos objectos, com os quais o classificador compararia os resultados da nova peça a ser inspeccionada, identificando-a.

Outro possível trabalho futuro é o desenvolvimento do programa que permite a configurar as condições de selecção das características e critérios de validação através da HMI. Numa primeira fase, seria útil a definição de outras formas de máscaras (por exemplo triangulares), o que se tornaria útil na identificação de características de forma triangular ou numa maior aproximação a formas circulares. A especificação de outros critérios de validação também seria aplicável, como a contagem de linhas ascendentes/descendentes de amostra para amostra ou de coluna a coluna, como também o cálculo da área ocupada pelo objecto. Num futuro próximo também seria possível que o sistema de inspecção identificasse a característica com a passagem de um objecto “bom” e um objecto “mau”, sem que para isso fosse necessário configurar nada através da HMI.

6.2 Balanço Pessoal

A programação do PLC e HMI foram a essência principal deste trabalho, exigindo várias horas até atingir o resultado final. A programação em diagrama de escada neste tipo de software nunca tinha sido utilizada por mim, pelo que foi necessário um estudo intensivo das funções existentes e os seus modos de aplicação. O facto de serem utilizadas 30 feixes leituras e 32 amostras, exigiu também um trabalho monótono e cansativo na representação das matrizes na HMI, sendo necessária a definição bit a bit, para cada uma delas.

Apesar das exigências do trabalho, o balanço pessoal terá que ser positivo, visto ter sido conseguido superar as expectativas inicialmente previstas e por ter permitido um maior conhecimento sobre este tipo de sistemas de inspecção e programação de autómatos. No entanto, devido às potencialidades deste tipo de sistemas, fica sempre a sensação que o programa se encontra incompleto e que mais poderia ser feito, caso tivesse mais tempo para o seu desenvolvimento.

Referências bibliográficas

- [1] Soloman, Sabrie (1994). *Sensors and Control Systems in Manufacturing*. Second Edition. MC Graw Hill.
- [2] Groover, Mikell P. (2007). *Automation, Production Systems and Computer-Integrated Manufacturing*. Third edition. Upper Saddle River, New Jersey; Prentice Hall Press.
- [3] Gardner, J.W. (1994). *Microsensors: Principles and Applications*. New York; John Wiley & Sons.
- [4] Lopes, Alcindo dos Santos; Ribeiro, Fernando M. da Silva. (2010). *Sistema de Identificação da orientação de peças*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [5] Webster, John G. (1999). *The Measurement, instrumentation, and sensors handbook*. First Edition. New York; CRC Press
- [6] www.dsc.ufcg.edu.br/~joseana/RP_1_Introducao.pdf
- [7] Kitani, Edson Caoru (2005). *Sistema de visão artificial: Uma aplicação em mecatrónica*. Dissertação apresentada para conclusão de especialização em Mecânica Fina. São Paulo: Universidade São Judas Tadeu.
- [8] Ruidias, Sandro Mossmann (2005). *Extração e análise de características de imagens digitais para construção de um modelo de reconhecimento de padrões*. Dissertação apresentada para conclusão de licenciatura em Sistemas de informação. Novo Hamburgo: Universidade de Feevale.
- [9] Augusteijn, M. F.; Clemens, L.E. (1996). *A neural-network approach to the detection of texture boundaries*. Vol:9. Engineering Applications of artificial Intelligence.
- [10] Giró, Salvador (2009). *Soluciones de visión artificial para aplicaciones industriales específicas*. Automática e Instrumentación, Artigo de revista científica nacional nº 409, pp.63-66.
- [11] Reiss, Mário Luiz Lopes (2007). *Reconstrução Tridimensional Digital de objectos à curta distância por meio de luz estruturada*. Dissertação apresentada para conclusão de doutoramento em ciências cartográficas. São Paulo: Universidade Estadual Paulista.
- [12] Ready, John F. (1997). *Industrial Applications of Lasers*. Second Edition. Boylston Street, Chestnut Hill. Academic Press.

- [13] Fraden, Jacob (2003). *Handbook of Modern Sensors. Physics, Designs and applications*. Third Edition. San Diego, California. Springer.
- [14] Ott, Melanie (1997). *Capabilities and Reliability of LEDs and Laser Diodes*. Technology Validation Assurance Group. NASA Goddard Space Flight Center.
- [15] Silva, Rafael Franklin; Costa, José Aniceto (2009). *Sensor Óptico por reflexão difusa com múltiplas faixas de detecção e com saída binária sequencial*. VIII Semetro.
- [16] <http://industrial.omron.eu/en/products/catalogue/sensing/default.html>
- [17] http://www.stiscanners.com/measuring_light_curtains/.html
- [18] www.chasqueweb.ufrgs.br/~valner.brusamarello/inst/aula_11.pdf
- [19] Silva, Tiago Granja da (2010). *Investigação experimental de técnicas de Reconhecimento de Padrões em sistemas automáticos*. Dissertação apresentada para conclusão de mestrado integrado em Engenharia Mecânica. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [20] Urban, E.; Mclean ,E.;Wetherbe,J. (2004) *Tecnologia da informação para gestão. Transformando os negócios da economia digital*. Terceira Edição. Porto Alegre. Editora Bookman
- [21] Bahgat, Phiroz (2005). *Pattern Recognition in Industry*. First Edition. San Diego, California. Elsevier.
- [22] Theodoridis, Sergios; Koutroumbas Konstantinos (2006) *Pattern Recognition*. Terceira Edição. San Diego, California. Elsevier.
- [23] Castro, Armando António Monteiro de; Prado, Pedro Paulo Leite do (2002) *Algoritmos para reconhecimento de padrões*. Universidade de Taubaté.
- [24] Feucht, D. (1977) *Pattern Recognition, Basic Concepts and Implementations*. Computer Design.
- [25] Bryan, L.A; Bryan E.A. (1997). *Programmable Controllers. Theory and Implementation*. Second Edition. Atlanta, Georgia. Industrial Text
- [26] Magalhães, P. A. (2010). *Apontamentos da disciplina de Computação Industrial*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [27] Manual de Instruções da OMRON. *F3EM Measuring Light Curtain in Robust aluminium housing*.
- [28] Manual de Instruções do PLC - *CP1L_Datasheet (P20E-EN-01) CPU Units and Expansion Units*

- [29] Manual de programação do PLC - *CP1L_Programming_Manual (W451-E1-03)*
- [30] Manual de Instruções da HMI - *V075-E1-08+NS-Series+RefManual*
- [31] Manual de Instruções da HMI - *V099-E1-05+NS-Series+UsersManual*

Nota: Todas as referências web indicadas estavam disponíveis à data de submissão da dissertação.

ANEXO A: Plataforma de testes

Tabela 15 - Lista de peças da esteira transportadora

Número	Designação	Quantidade
1	Suporte do esticador	2
2	Cantoneira do esticador	2
3	ISO 4762 M3 x 12 --- 12N	28
4	Anilha 3-5,50x1mm	24
5	Veio	1
6	Suporte do veio	2
7	Roda dentada	1
8	Casquilho	1
9	Corrente transportadora – TPRF 2040	-
10	Varão M4	2
11	Cantoneira de apoio ao tapete	2
12	Placa de suporte	2
13	Veio motor	1
14	Casquilho	1
15	Roda dentada do veio motor	1
16	Caixa de rolamentos	2
17	Espaçador	3
18	SKF_Deep Grove Ball Bearing_6000-2RSH	4
19	Hexagon Nut ISO - 4032 - M4 - W - N	4
20	ISO 4027 - M3 x 5-N	8
21	Washer ISO 7089 - 3	4

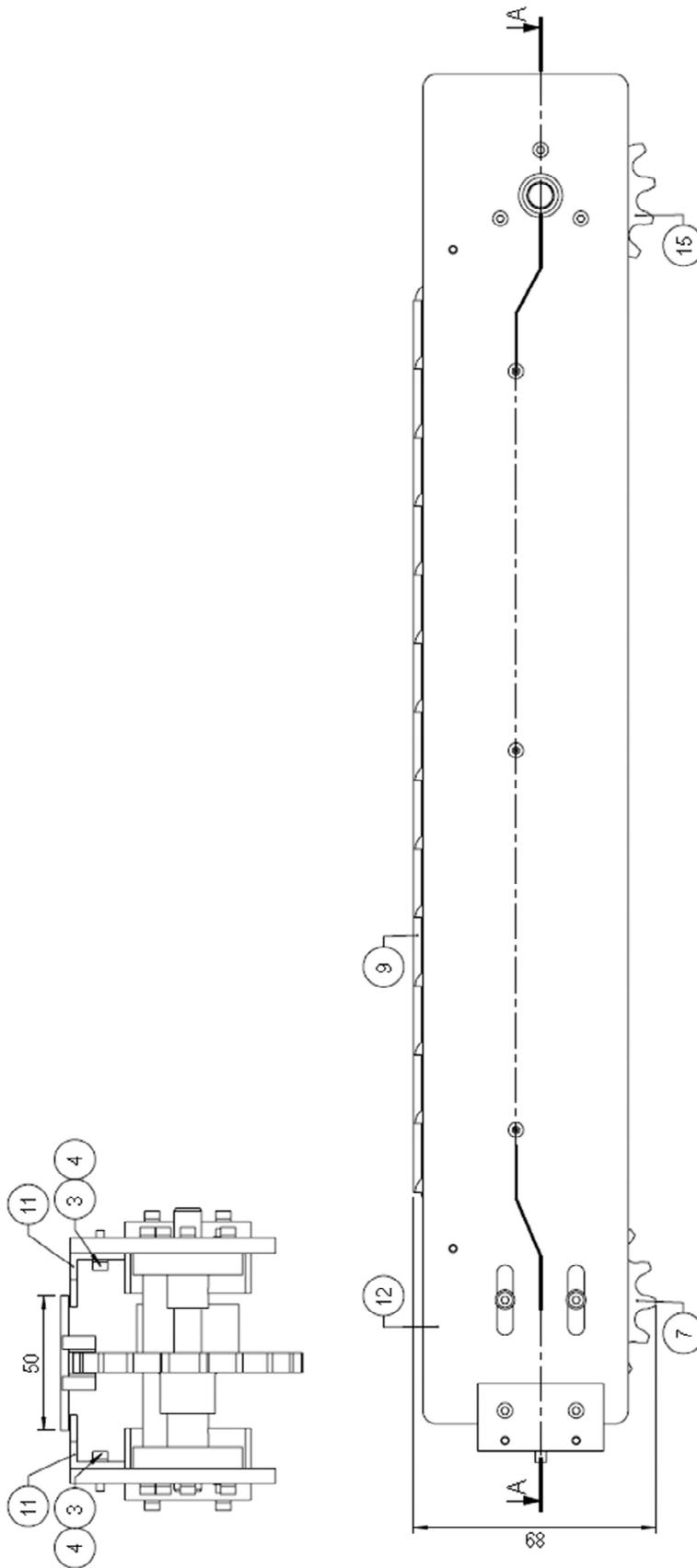


Figure 1 - Vista de frente (à esquerda) e vista de lado (à direita)

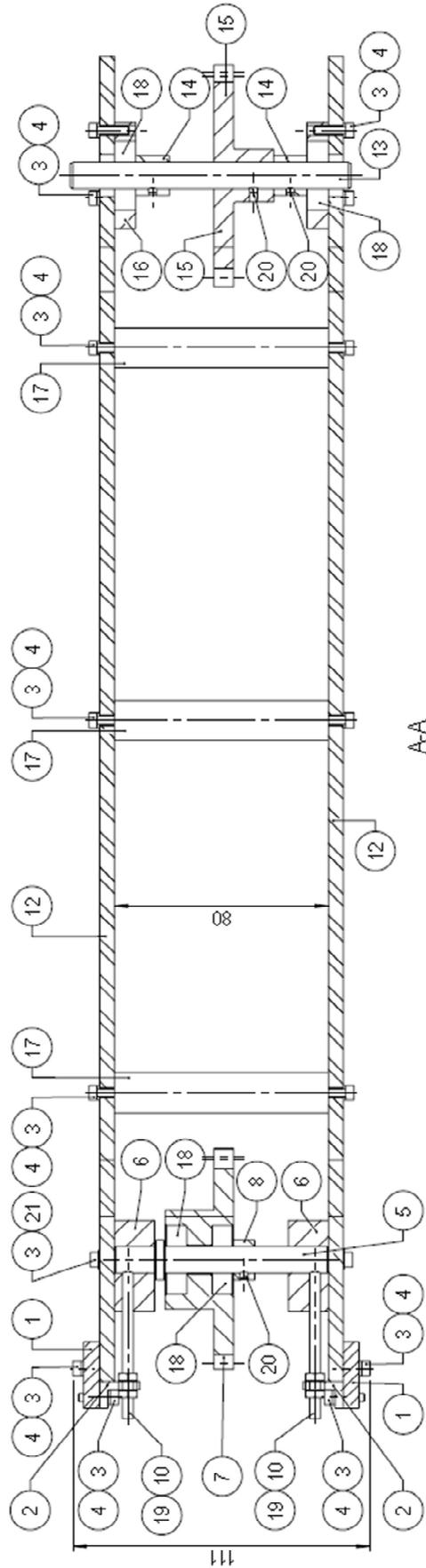


Figure 2 - Vista de cima em corte

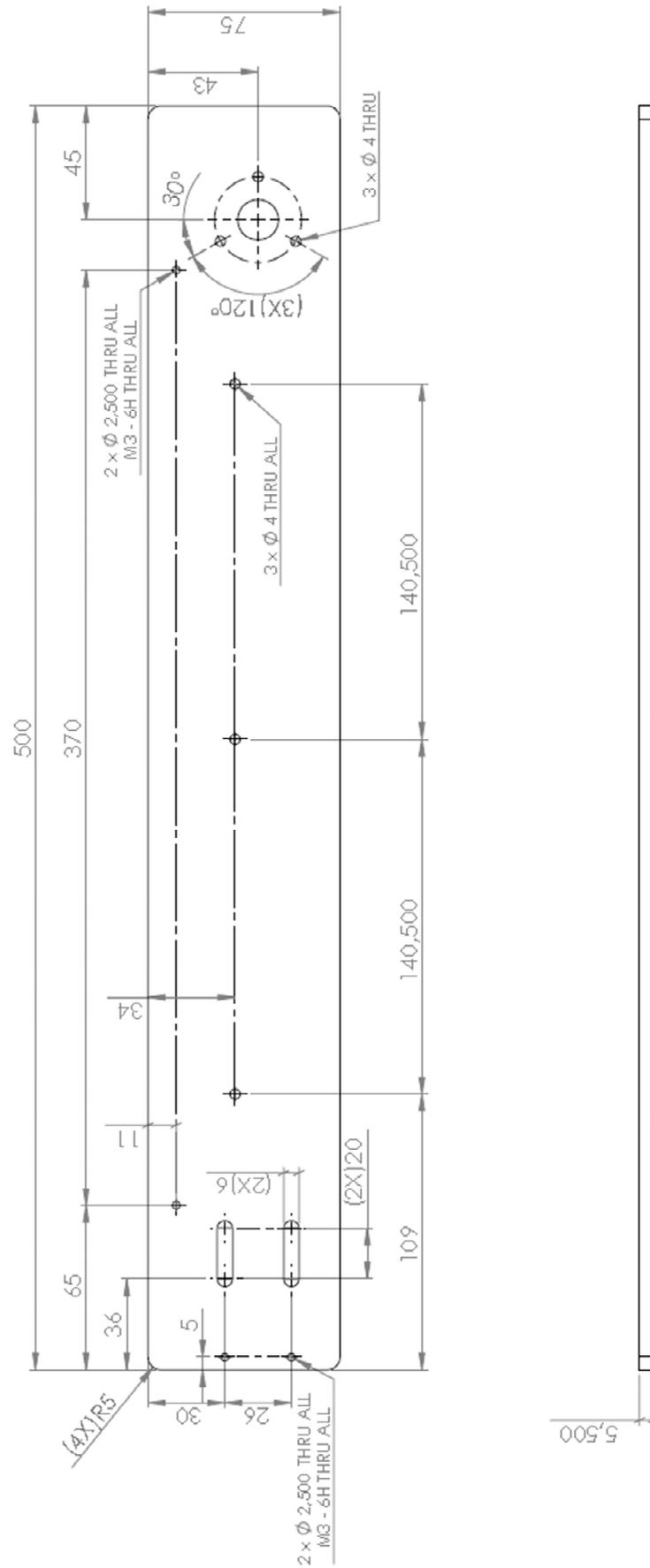


Figure 3 - Placa de suporte dimensionada (peça 12).

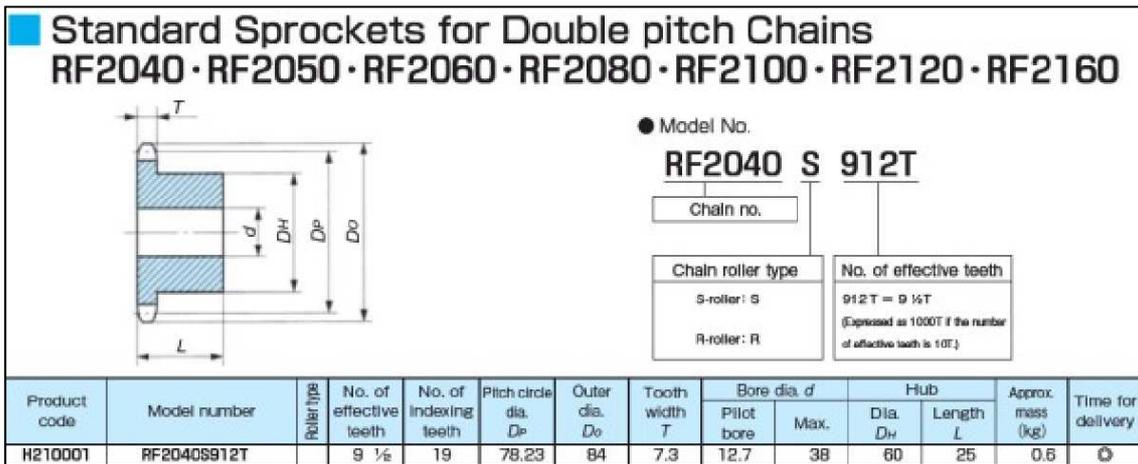


Figure 4 - Rodas dentadas da esteira transportadora.

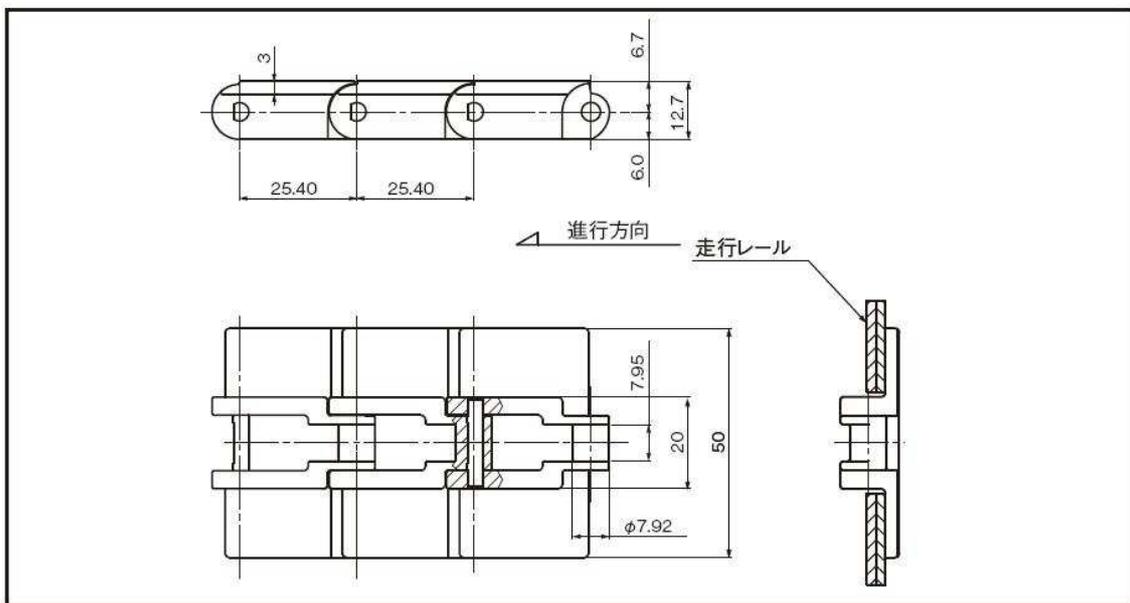


Figure 5 - Correntes transportadoras TPRF 2040.

INDUCTION MOTORS
Single-Phase
3W (1/249 HP)
Frame Size 2.36 in.sq.(60mm sq.)

GEAR SAFETY STD.

■ Specifications — Continuous Rating

Model	Output Power		Voltage	Frequency	Current	Starting Torque		Rated Torque		Rated Speed	Capacitor
	Pinion Shaft Type	Round Shaft Type				HP	W	oz-in	mN·m		
2U3GB-AUL 2U3A-AULA			115	60	0.14	3.5	25	2.9	21	1450	1.5

●These products are impedance protected.

Figure 6 - Motor utilizado na plataforma de testes

CPU Units

Type	CP1L-M40 (40 points)	CP1L-M30 (30 points)	CP1L-L20 (20 points)	CP1L-L14 (14 points)	
Item Models	CP1L-M40□□□□	CP1L-M30□□□□	CP1L-L20□□□□	CP1L-L14□□□□	
Control method	Stored program method				
I/O control method	Cyclic scan with immediate refreshing				
Program language	Ladder diagram				
Function blocks	Maximum number of function block definitions: 128 Maximum number of instances: 256 Languages usable in function block definitions: Ladder diagrams, structured text (ST)				
Instruction length	1 to 7 steps per instruction				
Instructions	Approx. 500 (function codes: 3 digits)				
Instruction execution time	Basic instructions: 0.55 µs min. Special instructions: 4.1 µs min.				
Common processing time	0.4 ms				
Program capacity	10K steps		5K steps		
Number of tasks	288 (32 cyclic tasks and 256 interrupt tasks)				
Scheduled interrupt tasks	1 (interrupt task No. 2, fixed)				
	Input interrupt tasks		4 (interrupt task No. 140 to 143, fixed)		
(Interrupt tasks can also be specified and executed for high-speed counter interrupts and executed.)					
Maximum subroutine number	256				
Maximum jump number	256				
I/O areas	Input bits	24: CIO 0.00 to CIO 0.11 and CIO 1.00 to CIO 1.11	18: CIO 0.00 to CIO 0.11 and CIO 1.00 to CIO 1.05	12: CIO 0.00 to CIO 0.11	8: CIO 0.00 to CIO 0.07
	Output bits	18: CIO 100.00 to CIO 100.07 and CIO 101.00 to CIO 101.07	12: CIO 100.00 to CIO 100.07 and CIO 101.00 to CIO 101.03	8: CIO 100.00 to CIO 100.07	6: CIO 100.00 to CIO 100.05
	1:1 Link Area	1,024 bits (64 words): CIO 3000.00 to CIO 3063.15 (CIO 3000 to CIO 3063)			
Serial PLC Link Area	1,440 bits (90 words): CIO 3100.00 to CIO 3189.15 (CIO 3100 to CIO 3189)				
Work bits	8,192 bits (512 words): W000.00 to W511.15 (W0 to W511) CIO Area: 37,504 bits (2,344 words): CIO 3800.00 to CIO 6143.15 (CIO 3800 to CIO 6143)				
TR Area	16 bits: TR0 to TR15				
Holding Area	8,192 bits (512 words): H0.00 to H511.15 (H0 to H511)				
AR Area	Read-only (Write-prohibited): 7168 bits (448 words): A0.00 to A447.15 (A0 to A447) Read/Write: 8192 bits (512 words): A448.00 to A959.15 (A448 to A959)				
Timers	4,096 bits: T0 to T4095				
Counters	4,096 bits: C0 to C4095				
DM Area	32 Kwords: D0 to D32767		10 Kwords: D0 to D9999, D32000 to D32767		
Data Register Area	16 registers (16 bits): DR0 to DR15				
Index Register Area	16 registers (32 bits): IR0 to IR15				
Task Flag Area	32 flags (32 bits): TK0000 to TK0031				
Trace Memory	4,000 words (500 samples for the trace data maximum of 31 bits and 6 words)				
Memory Cassette	A special Memory Cassette (CP1W-ME05M) can be mounted. Note: Can be used for program backups and auto-booting.				
Clock function	Supported. Accuracy (monthly deviation): -4.5 min to -0.5 min (ambient temperature: 55°C), -2.0 min to +2.0 min (ambient temperature: 25°C), -2.5 min to +1.5 min (ambient temperature: 0°C)				
Communications functions	One built-in peripheral port (USB 1.1): For connecting Support Software only.		A maximum of one Serial Communications Option Board can be mounted.		
Memory backup	Flash memory: User programs, parameters (such as the PLC Setup), comment data, and the entire DM Area can be saved to flash memory as initial values. Battery backup: The Holding Area, DM Area, and counter values (flags, PV) are backed up by a battery.				
Battery service life	5 years at 25°C. (Use the replacement battery within two years of manufacture.)				
Built-in input terminals	40 (24 inputs, 16 outputs)	30 (18 inputs, 12 outputs)	20 (12 inputs, 8 outputs)	14 (8 inputs, 6 outputs)	
Number of connectable Expansion Units and Expansion I/O Units	CP-series Expansion Unit and Expansion I/O Units: 3 max.		CP-series Expansion Units and Expansion I/O Units: 1 max.		
Max. number of I/O points	160 (40 built in + 40 per Expansion (I/O) Unit × 3 Units)	150 (30 built in + 40 per Expansion (I/O) Unit × 3 Units)	60 (20 built in + 40 per Expansion (I/O) Unit × 1 Unit)	54 (14 built in + 40 per Expansion (I/O) Unit × 1 Unit)	
Interrupt inputs	6 inputs (Response time: 0.3 ms)			4 inputs (Response time: 0.3 ms)	
Interrupt inputs counter mode	6 inputs (Response frequency: 5 kHz max. for all interrupt inputs), 16 bits Up or down counters			4 inputs (Response frequency: 5 kHz max. for all interrupt inputs), 16 bits Up or down counters	
Quick-response inputs	6 points (Min. input pulse width: 50 µs max.)			4 points (Min. input pulse width: 50 µs max.)	
Scheduled interrupts	1				
High-speed counters	4 counters, 2 axes (24-VDC input) 4 inputs: Differential phases (4x), 50 kHz or Single-phase (pulse plus direction, up/down, increment), 100 kHz Value range: 32 bits, Linear mode or ring mode Interrupts: Target value comparison or range comparison				
Pulse outputs (models with transistor outputs only)	Pulse outputs	Trapezoidal or S-curve acceleration and deceleration (Duty ratio: 50% fixed) 2 outputs, 1 Hz to 100 kHz (CCW/CW or pulse plus direction)			
	PWM outputs	Duty ratio: 0.0% to 100.0% (specified in increments of 0.1% or 1%) 2 outputs, 0.1 to 6553.5 Hz or 1 to 32,800 Hz (Accuracy: ±5% at 1 kHz)			
Analog control	1 (Setting range: 0 to 255)				
External analog input	1 input (Resolution: 1/256, Input range: 0 to 10 V). Not isolated.				

Figure 7 - Características do PLC CP1L M30

