



**António Miguel
Sousa e Cunha**

**Sistemas automáticos e rastreabilidade para
linhas de produção**



**António Miguel
Sousa e Cunha**

Sistemas automáticos e rastreabilidade para linhas de produção

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Este trabalho teve o apoio financeiro dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - FCT - Fundação para Ciência e Tecnologia; e CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

O júri / The jury

Presidente / President

Professor Doutor Rui António da Silva Moreira

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogais / Committee

Professor Doutor José Paulo Oliveira Santos

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro (orientador)

Professor Doutor Pedro Nicolau Faria da Fonseca

Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Agradecimentos / Acknowledgements

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao professor José Paulo Santos pela orientação e por todo apoio, incentivo e conhecimento transmitidos ao longo desta dissertação.

Também quero deixar o meu profundo agradecimento à Atena - Automação Industrial, Lda. por me ter dado a oportunidade de fazer parte da sua equipa através do estágio nas suas instalações, nomeadamente no departamento de Projeto Elétrico e Automação. Agradeço, em particular, toda a equipa deste departamento e ao Engenheiro Abílio Borges pela comunicação transparente, partilha de conhecimento, disponibilidade, coordenação e espírito de ajuda que possibilitou a concretização efetiva dos projetos desenvolvidos.

Partilho também o meu grande e especial sentimento de gratidão pela minha família, nomeadamente aos meus pais e avós, pois sem o incentivo e apoio da parte deles, esta etapa da minha vida não se teria realizado.

Agradeço também à Beatriz, pelo incentivo, todo o carinho e ajuda ao longo deste período.

Por último, mas não menos importante, deixo também um agradecimento aos meus colegas e amigos que me acompanharam deste o primeiro dia do ensino superior, pelo companheirismo, amizade, partilha de bons momentos, conhecimentos e histórias de vida.

Palavras-chave

Rastreabilidade; Códigos de Barras; Código DataMatrix; Industria Automóvel; Marcação Laser; Automação

Resumo

Este documento resume o trabalho realizado numa empresa, a Atena – Automação Industrial, Lda., com o objetivo de desenvolver três sistemas automáticos que aplicam a rastreabilidade dos produtos para clientes do ramo automóvel. O contexto do estágio enquadra-se, essencialmente, na necessidade das empresas implementarem a rastreabilidade para melhorarem a qualidade, não só dos seus produtos, como também dos processos produtivos das suas linhas de produção.

O primeiro sistema implementado consiste numa máquina que faz marcação laser de códigos DataMatrix nas rodas de coroas das caixas de velocidades automóvel, com controlo dimensional do diâmetro externo das coroas e verificação da qualidade da marcação do código, para garantir a leitura eficaz por qualquer leitor de códigos de barras bidimensional. Este equipamento possui também um bastidor com um computador industrial onde corre uma aplicação desenvolvida para guardar os dados adquiridos do processo da máquina numa base de dados.

O segundo projeto é uma linha para montagem que realiza a magnetização e encapsulamento dos ímanes dos garfos seletores da caixa de velocidades DQ381. Baseia-se numa aplicação que integra um programa de visão artificial para a análise de defeitos das bases do garfos seletores.

Por último, foram desenvolvidas outras duas aplicações para uma linha de controlo de cárteres de embraiagem. Uma das aplicações executa o registo fotográfico dos cárteres e a outra gere o diretório onde as imagens são guardadas e armazena os resultados das operações dos diversos postos de trabalho da linha numa base de dados. Esta segunda aplicação também é responsável por fazer o registo dos contentores onde os cárteres são armazenados na base de dados.

Keywords

Traceability; Barcodes; DataMatrix Code; Automobile Industry; Laser Marking; Automation

Abstract

This document summarizes the work carried out in a company, Atena - Automação Industrial, Lda., with the goal of developing three automatic systems that apply product traceability to automotive industry customers. The context of the internship is essentially related to the need for companies to implement traceability to improve the quality, not only of their products, but also of the production processes of their production lines.

The first system implemented consists of a machine that performs laser marking of DataMatrix codes on the crown wheels of automotive gearboxes. This machine, in addition to the laser marking, does the dimensional control of the external diameter of the crowns and checks the quality of the code marking to guarantee the efficient reading by any two-dimensional barcode scanner. This equipment also has a rack with an industrial computer that runs an application developed to store the data acquired from the machine's process in a database.

The second project is part of the development of an assembly line that performs the magnetization and encapsulation of selector forks magnets of the DQ381 gearbox. This work consists of an application that integrates an artificial vision program for the analysis of defects in the selector fork bases. Finally, two other applications were developed, inserted in another project - a clutch housing control line. One of the applications performs the photographic registration of the housings, while the other manages the directory where the images are saved and stores the results of the operations of the various workstations on the line in a database. This second application is also responsible for inserting in the database the containers where the housings are stored.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos e motivações	2
1.3	Apresentação da empresa	2
1.4	Guia de leitura	5
2	Revisão do Estado da Arte	7
2.1	Códigos de barras e códigos 2D	8
2.1.1	Códigos de Barras	8
2.1.1.1	EAN/UPC	9
2.1.1.2	Code 128	10
2.1.1.3	ITF	11
2.1.1.4	Code 39	12
2.1.2	Códigos 2D	12
2.1.2.1	Código QR Code	12
2.1.2.2	Código DataMatrix	13
2.1.3	Impressão e marcação de códigos de barras e 2D	14
2.1.3.1	Impressão <i>inkjet</i>	15
2.1.3.2	Laser	17
2.1.3.3	<i>Dot peening</i>	18
2.1.3.4	Gravação eletroquímica	20
2.1.4	Leitura de códigos de barras e códigos 2D	20
2.1.5	Verificação da marcação de códigos	24
2.1.5.1	ISO/IEC 15416	24
2.1.5.2	ISO/IEC 15415	24
2.1.5.3	ISO/IEC TR 29158	27
2.2	RFID – <i>Radio-Frequency Identification</i>	27
2.2.1	Componentes de um sistema RFID	28
2.2.1.1	Leitor RFID	28
2.2.1.2	<i>Tags</i> RFID	29
2.2.1.3	Antenas	29
2.2.2	Frequências e princípios de operação	29
2.3	RTLS – <i>Real-Time Location Systems</i>	32

3	Automação industrial e sistemas de controlo	33
3.1	Sistemas de automação e controlo industrial	33
3.2	Metodologia	35
3.2.1	Projeto elétrico	36
3.2.1.1	Análise de riscos	36
3.2.1.2	Esquema elétrico	39
3.2.2	Aplicações – Interface de comunicação	39
4	Caso de estudo 1 - Sistema automático de rastreabilidade para a linha de produção da roda de coroa e montagem das caixas de velocidades	41
4.1	Apresentação	41
4.2	Equipamento proposto	43
4.3	Projeto elétrico	46
4.3.1	Segurança da máquina	46
4.3.2	Esquema elétrico	47
4.4	Implementação (programação)	47
4.4.1	Controlador	47
4.4.2	Interfaces homem-máquina	48
4.4.3	Sistema Laser	49
4.4.3.1	Ajuste das configurações do sistema laser	52
4.4.3.2	Automatização do processo	53
4.4.4	Sistema de visão	53
4.4.4.1	Configuração da câmara e da iluminação	53
4.4.4.2	Programa de análise de imagem	54
4.4.5	Aplicação	56
4.4.5.1	Interface de comunicação	56
4.4.5.2	Base de dados	57
4.4.5.3	Interface gráfica	57
4.4.6	Integração dos diversos sistemas – Modo automático	58
4.4.6.1	Posto de carga	59
4.4.6.2	Posto de medição	60
4.4.6.3	Posto de marcação	60
5	Caso de estudo 2 - Linha de magnetização e controlo de garfos	63
5.1	Apresentação	63
5.2	Proposta de solução para o sistema de visão artificial	65
5.3	Implementação	67
5.3.1	Configuração das câmaras	67
5.3.2	Aquisição de imagem e análise de defeitos	67
5.3.3	Interface de comunicação	68
5.3.4	Interface gráfica	69
6	Caso de estudo 3 - Linha de controlo de cárteres de embraiagem JT	71
6.1	Apresentação	71
6.1.1	Proposta da solução	74
6.2	Desenvolvimento da aplicação de fotografia	75
6.2.1	Interface de comunicação com o PLC	75

6.2.2	Aquisição de imagem	75
6.2.3	Interface gráfica	76
6.3	Desenvolvimento da aplicação de rastreabilidade	77
6.3.1	Base de dados	78
6.3.2	Comunicação com o PLC	78
6.3.3	Gestão de imagens e pastas	79
6.3.3.1	Descarga de cárteres	79
6.3.3.2	Fecho de contentores	80
6.3.4	Interface gráfica	81
7	Resultados experimentais	83
7.1	Caso de estudo 1	83
7.2	Caso de estudo 2	84
7.3	Caso de estudo 3	84
8	Conclusões	87
8.1	Trabalho futuro	87
	Anexos	95
A	Esquemas Elétrico	97
B	Caso de estudo 1 - Sistema automático de rastreabilidade para a linha de produção da roda de coroa e montagem das caixas de velocidades	101
B.1	Cadeias de segurança	101
B.2	Interfaces homem-máquina	103
B.2.1	Coluna e indicador luminosos	103
B.2.2	Painel de comando	104
B.2.2.1	Consola HMI	105
B.2.3	Parâmetros da marcação laser	107
C	Caso de estudo 2 - Linha de magnetização e controlo de garfos	109
C.1	Aplicação de visão artificial – interface gráfica	109
D	Caso de estudo 3 - Linha de controlo de cárteres de embraiagem JT	113
D.1	Aplicação de rastreabilidade	113

Lista de Tabelas

2.1	Tecnologias de marcação e compatibilidade de materiais (28)	15
2.2	Comparação ente as diversas tecnologias de marcação baseada em vários fatores (28)	15
2.3	Métodos de marcação laser (27; 28)	19
2.4	Alguns dos parâmetros de verificação na norma ISO/IEC 15416 (44; 45) .	25
2.5	Parâmetros de verificação na norma ISO/IEC 15415 (25; 44; 45)	26
2.6	Características das tecnologias de LF. Adaptado de (46) e de (52)	31
3.1	Métodos do objeto <i>S7Client</i> para comunicar com um autômato da Siemens	40
B.1	Comando e sinais do painel de comando do equipamento	105

Lista de Figuras

1.1	Exemplos de montagens elétricas e mecânicas de equipamentos	3
1.2	Método de trabalho da Atena.	4
2.1	Estrutura típica dos códigos de barras. Adaptado de (9)	9
2.2	Família de símbolos EAN/UPC	10
2.3	Código de barras Code 128 (17)	11
2.4	Exemplo de codificação dos pares '03' e '67' no código ITF (15)	11
2.5	Código Code 39 (21)	12
2.6	Estrutura do código QR Code. Adaptado de (23)	13
2.7	Estrutura do código DataMatrix. Adaptado de (24)	14
2.8	Impressão <i>inkjet</i> contínua. Adaptada de (29)	16
2.9	Exemplo de aplicação da impressão <i>inkjet</i> contínua (31)	17
2.10	Sistema de marcação <i>laser</i> . Adaptada de (32)	17
2.11	Exemplo duma peça marcada com a tecnologia <i>dot peening</i> (35)	19
2.12	Processo de gravação eletroquímica (38)	20
2.13	Leitor de códigos 2D fixo SR-1000 da Keyence. Fonte: https://www.keyence.com/products/vision/barcode/sr-1000/	21
2.14	Sistema de leitura de leitor de código de barras. Adaptado de (39)	21
2.15	Sistema de leitura de um leitor 2D ou câmara. Adaptado de (40)	22
2.16	Exemplo de melhoramento de imagem com aplicações de iluminação. Adaptado de (40)	23
2.17	Verificação da qualidade de impressão de um código de barras. Adaptado de (44)	25
2.18	Diferenças no cálculo do contraste do código. Adaptado de (45)	27
2.19	Alimentação de uma <i>tag</i> através de indução pelo campo magnético alterado gerado pelo leitor (50)	30
2.20	Princípio de funcionamento de uma <i>tag</i> que usa <i>backscattering</i> (50)	31
3.1	Hierarquia dos sistemas de controlo e automação industrial (54)	33
3.2	Arquitetura de comunicação PROFINET (58)	35
3.3	Processo de análise e redução de riscos de acordo com a norma EN ISO 12100	37
3.4	Estrutura das aplicações para rastreabilidade e visão artificial.	40
4.1	Caixa de velocidades parcialmente montada (a coroa é o elemento que não se encontra desfocado)	42
4.2	Características principais das coroas	42
4.3	Código alfanumérico existente na coroa	42

4.4	Equipamento proposto	43
4.5	Esquema de implementação do sistema de controlo da máquina	44
4.6	STEP 7 - configuração da rede PROFINET	48
4.7	Organização do programa	48
4.8	TIA Portal - configuração da rede PROFINET entre o PLC e a consola TP700 Comfort	49
4.9	Página do ciclo automático da HMI	50
4.10	<i>Lighter</i> - ambiente de desenvolvimento de documentos para gravação	51
4.11	Testes de gravação para se obter os parâmetros ideais da aplicação laser	53
4.12	Procedimento estabelecido no sistema laser	54
4.13	Sistema de visão artificial no posto de marcação	55
4.14	Sherlock Embedded – ambiente de desenvolvimento e deteção dos códigos alfanumérico e DataMatrix	56
4.15	Diagrama temporal da comunicação entre a câmara e o PLC	56
4.16	Diagrama temporal da comunicação entre PC e PLC	57
4.17	Página principal “Geral” da aplicação de rastreabilidade de coroas	58
4.18	Fluxograma da execução de tarefas durante o ciclo automático	59
4.19	Posto de medição	60
4.20	Posto de marcação	61
5.1	Características principais do garfo seletor.	63
5.2	Planta da linha de magnetização	64
5.3	<i>Hardware</i> para o sistema de visão e arquitetura da comunicação/acionamento entre os dispositivos	66
5.4	Disposição das câmaras e da iluminação em cada posto de controlo visual (rodado +90° em relação à disposição real)	66
5.5	Histograma da região central da peça de plástico de um garfo seletor	68
5.6	Halcon — ambiente de programação e análise de defeitos	69
5.7	Página principal da aplicação do sistema de visão	70
6.1	Cárteres de embraiagem	71
6.2	Planta da linha de cárteres de embraiagem	72
6.3	Dispositivos selecionados para a fotografia e a rastreabilidade dos cárteres	74
6.4	Cronograma da comunicação entre a aplicação de fotografia e o PLC	75
6.5	Página principal da interface gráfica da aplicação de fotografia	77
6.6	Cronograma da comunicação entre a aplicação de rastreabilidade e o PLC	79
6.7	Gestão de pastas - manipulação de imagens temporárias	80
6.8	Ficheiro compilador das regiões de interesse de cada cárter com a identi- ficação do contentor	81
6.9	Composição da pasta de um contentor	81
6.10	Página principal da interface gráfica da aplicação de fotografia	82
7.1	Resultado final da marcação laser do código DataMatrix nas coroas	84
A.1	Esquema elétrico – distribuição de potência e comando para os elementos motores	98
A.2	Esquema elétrico – alimentação, comunicação Rs-232 e integração na ca- deia de segurança do sistema de marcação laser	99

A.3	Esquema elétrico – sinais digitais entre PLC e sistema de marcação laser	100
B.1	Cadeia de segurança geral do equipamento	102
B.2	Cadeia de segurança das barreiras imateriais	102
B.3	Outros elementos homem-máquina implementados no equipamento	103
B.4	Painel de controlo do equipamento	104
B.5	Páginas da consola HMI	106
B.6	Parâmetros otimizados para a aplicação de gravação do <i>DataMatrix</i> nas coroas	107
C.1	Página “Vision”	109
C.2	Parâmetros com área mínima de $0,5mm^2$ ou $0,6mm$ de diâmetro equivalente	110
C.3	Parâmetros com área mínima de $0,5mm^2$ ou $2mm$ de diâmetro equivalente	110
C.4	Página “General” – configurações gerais da aplicação	111
C.5	Página “PLC” – monitorização das variáveis de comunicação e monitori- zação do estado geral dos postos de controlo visual	111
D.1	Página de consulta de cárteres na base de dados	113
D.2	Página de consulta de contentores na base de dados	114
D.3	Sub-página <i>Geral</i> da <i>Configurações</i>	114
D.4	Sub-página <i>Estado do PLC</i> da <i>Configurações</i>	115
D.5	Sub-página <i>Base de Dados</i> da <i>Configurações</i>	116

Lista de Acrónimos

2D bidimensionais. i, vii, 8, 12, 14, 17, 18, 20–24, 27, 49, 84, 87

AIs GS1 *GS1 Application Identifiers*. 11, 13, 14

auto-ID identificação automática. 7, 8, 28

CAN *Control Area Network*. 34

CPS *Cyber-Physical Systems*. 1

DB *Data Block*. 40, 47, 56, 68, 69, 75, 78, 79, 84

DCT *Dual Clutch Transmission*. 63

DM *DataMatrix*. 41–43, 50, 53, 61, 78, 79

DPM *Direct Part Marking*. 14, 24, 27, 87

ERP *Enterprise Resource Planning*. 33, 88

FC *Function*. 47

fps *frames per second*. 66, 74

GSD *General Station Description*. 47

GTIN *Global Trade Item Number*. 10

HF *High Frequency*. 29, 31

HMI *Human-Machine Interface*. iii, ix, 34, 44, 46–48, 58, 75, 79, 87, 105, 106

I/O *Input and Output*. 34, 45, 65

IP *Internet Protocol*. 47, 48, 67, 110, 115

IRT *Isochronous Real-Time*. 35

ITF *Interleaved 2 of 5*. i, 11, 12

LF *Low Frequency*. v, 29, 31

MES *Manufacturing Execution System*. 34, 88

NRT *Non-Real-Time*. 35

OB *Organization Block*. 47

OSI *Open Systems Interconnection*. 35

PLC *Programmable Logic Controller*. ii, viii, ix, 34, 36, 38–40, 43–45, 47–50, 53–58, 60, 61, 65, 67–69, 72–76, 78, 79, 84, 85, 100, 110

PROFIBUS *Process Field Bus*. 34

RFID *Radio-Frequency Identification*. i, 8, 27–30, 32, 72

ROI *Region of Interest*. 54, 78

RT *Real-Time*. 35

RTLS *Real-Time Location Systems*. i, 8, 32

SCADA *Supervisory Control and Data Acquisition*. 34

SQL *Structured Query Language*. 57, 78

TCP/IP *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*. 34, 39, 40

UHF *Ultra-High Frequency*. 29, 31

UPS *Uninterruptible Power Supply*. 44

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

Esta dissertação foi elaborada no âmbito de um estágio realizado na empresa Atena – Automação Industrial, Lda. Tem como finalidade descrever os métodos e procedimentos utilizados no desenvolvimento e implementação de alguns sistemas automáticos com rastreabilidade de produtos em linhas de produção.

Ao longo deste documento, serão apresentados e explorados conceitos da rastreabilidade e as diversas tecnologias de suporte à rastreabilidade. Adicionalmente, são descritos 3 casos práticos, projetos realizados pela Atena para clientes do ramo da indústria automóvel.

Contexto do problema

Nos dias de hoje, enfrenta-se uma nova revolução industrial, a Indústria 4.0. O setor industrial é confrontado pela competitividade num mercado globalizado e a necessidade de responder rapidamente às alterações do mercado. A presença num mercado competitivo só é possível através de mudanças radicais nos processos de fabricação atuais (1). A Indústria 4.0 traz novas abordagens, impulsionadas pelo desenvolvimento das tecnologias da informação e comunicação (ICT), como a Análise Avançada de Dados (*Big Data and Advanced Data Analytics*), *Cloud computing*, *Cyber-Physical Systems* (CPS), Internet das Coisas (IoT), operação remota, interfaces inteligentes, impressão 3D e a robótica. A integração das ICT nos sistemas de processos industriais, como também a integração das cadeias de abastecimento e dos consumidores na cadeia de valor das empresas são abordagens da Indústria 4.0 que promovem processos inteligentes e produtos inteligentes, num ecossistema autónomo e flexível com conectividade entre sistemas, equipamentos, produtos e pessoas, capaz de fornecer eficazmente informação em *real-time* e transparente à cadeia de valor, garantindo uma permanência sólida num mercado exigente e competitivo (1; 2).

Por outro lado, é evidente que as cadeias de distribuição e os sistemas de produção são cada vez mais complexos devido aos requisitos de disponibilidade da informação em tempo real e das operações logísticas inerentes a estes e, conseqüentemente, a rastreabilidade dos produtos torna-se uma ferramenta imprescindível (3; 4). Também, dado que as cadeias de distribuição são cada vez mais globais, é frequente as empresas procurarem o mesmo material proveniente de diversos fornecedores e subcontratar diversos

fornecedores em múltiplas etapas dos processos produtivos. Desta forma, a qualidade do produto é determinada pela qualidade de todos os fornecedores. Apesar de haver mecanismos como período de experimentação/avaliação, certificações, pagamentos diferenciados e período de garantia do produto, o *recall* de produtos (pedido de devolução por parte do fabricante quando é descoberto algum problema de segurança ou defeito no produto que possa colocar o consumidor em risco) é amplamente observado em várias indústrias como a agroalimentar, a farmacêutica, automóvel e a eletrónica, e a determinação da fonte do problema de qualidade é muitas vezes difícil de atingir (5). Assim sendo, a implementação de sistemas de rastreabilidade permite a deteção e controlo de problemas atempadamente nas diferentes fases da vida do produto, assegurando uma grande vantagem num mercado global e competitivo (3).

1.2 Objetivos e motivações

A realização de um estágio numa empresa de automação faz a ponte dos conhecimentos adquiridos nas diversas disciplinas abordadas pelo curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica com desafios em contexto real. Um estágio promove a aproximação do estagiário e a integração deste na dinâmica do mercado do trabalho, o conhecimento do *know-how* na área de atuação da organização empresarial, neste caso a automação industrial, e também adquirir novos conhecimentos técnicos e práticos através do contacto e interação com profissionais experientes.

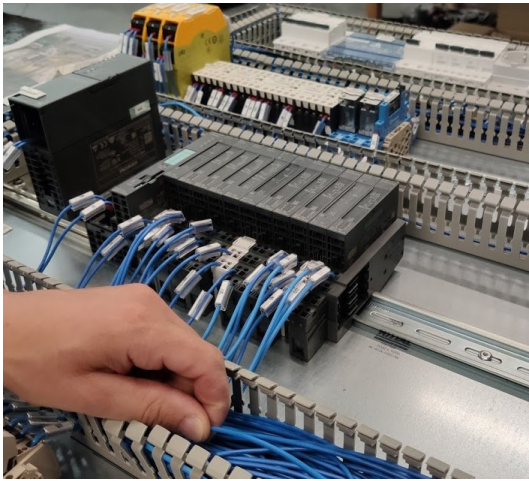
Os objetivos do estágio a que este documento se refere são a inserção do estagiário numa equipa de trabalho da Atena no departamento de Projeto Elétrico e Automação para o desenvolvimento de um equipamento automático para realizar a rastreabilidade de coroas das caixas de velocidades com recurso a marcação laser de códigos DataMatrix com controlo dimensional das coroas, e o desenvolvimento de duas aplicações: uma inserida na construção de uma linha para magnetização e encapsulamento dos ímanes dos garfos seletores da caixa de velocidades DQ381, com o objetivo de fazer a análise de defeitos desses garfos com visão artificial; e outra para fazer a rastreabilidade das operações realizadas em cárteres e o respetivo registo fotográfico numa nova linha de controlo deste produto. A boa execução destas soluções é imperativa, uma vez que se trata de projetos essenciais à produção diária dos produtos dos clientes.

Com a execução destes projetos, pretende-se também fazer um estudo das tecnologias usadas na rastreabilidade de produtos, protocolos e interfaces de comunicação usadas em ambientes industriais.

1.3 Apresentação da empresa

A “Atena – Automação Industrial, Lda.” é uma empresa com mais de duas décadas de experiência no mercado da automação industrial e dedica-se ao desenvolvimento e integração de equipamentos à medida do cliente. Em 1993, foi criada com o intuito de dar resposta às lacunas sentidas no setor industrial português, trabalhando nas áreas da informática e automação industrial, serviços e também alimentar e biomédica. É composta por uma equipa técnica especializada e multidisciplinar, de aproximadamente 70 colaboradores, distribuída pelos ramos do Projeto Mecânico, Projeto Elétrico/Automação, Documentação, Maquinação, Montagem Elétrica e Montagem Mecânica. Na figura 1.1

podem-se observar dois momentos na montagem de um equipamento industrial.



(a) Montagem de um quadro elétrico



(b) Montagem de um sistema mecânico

Figura 1.1: Exemplos de montagens elétricas e mecânicas de equipamentos

Uma das prioridades da Atena é a satisfação dos clientes, regendo-se pela qualidade, inovação e fiabilidade dos equipamentos desenvolvidos. Consequência deste princípio, é a Certificação do Sistema de Gestão da Qualidade pela norma NP EN ISO 9001:2015 e a certificação de Sistema de Gestão Ambiental pela norma NP EN ISO 14001:2015, garantindo as estruturas e rotinas de trabalho que vão de encontro à qualidade no serviço prestado, com os ideais de boas práticas ambientais em *background*.

Metodologia da empresa

Percecionar o negócio do cliente e conhecer as suas necessidades são o ponto de partida fundamental para apresentar as melhores soluções. Desde que o cliente faz o pedido, o projeto passa por diversas fases, esquematizadas na figura 1.2, sendo estas:

1. Pedido cliente

Esta é a primeira fase onde o cliente expõe o problema, dando detalhes sobre o contexto fabril deste como as condições de trabalho, a exposição a óleos e poeiras, e os objetivos e deteções a serem verificadas nos produtos que a máquina a ser desenvolvida terá que manipular;

2. Análise técnica e proposta comercial

Reconhecidos os objetivos do cliente, há uma consulta de tecnologias existentes no mercado que satisfazem os requisitos do cliente. Proceda-se à escolha daquelas que, preferencialmente, têm a melhor relação preço/fiabilidade. Nalguns casos, como por exemplo a implementação de sistemas de visão artificial, estudos são realizados com amostras dos produtos para se verificar se as deteções pretendidas são possíveis com recurso a visão artificial. Após estes procedimentos, é realizado o orçamento e, caso o cliente fique recetivo à proposta comercial fornecida, o projeto avança para as fases seguintes;

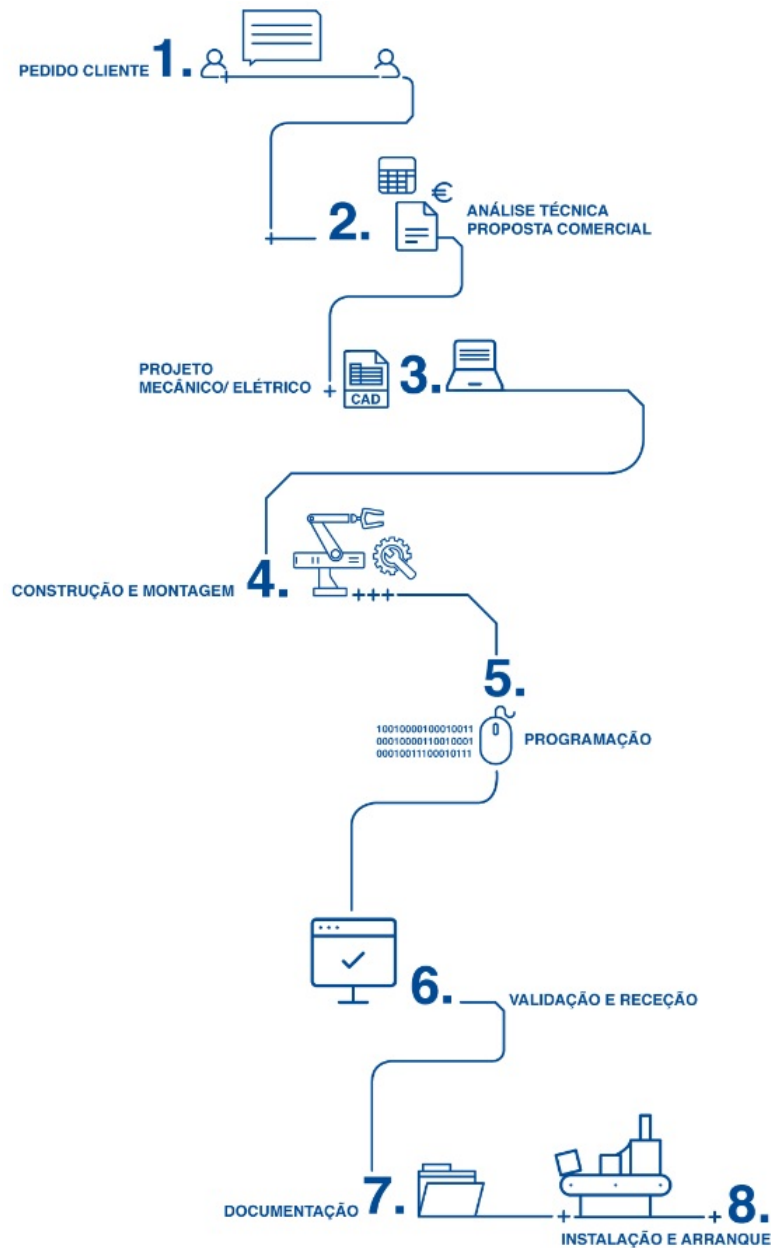


Figura 1.2: Método de trabalho da Atena.

3. Projeto mecânico/elétrico

Nesta fase é quando o equipamento começa a ganhar forma virtualmente. A equipa do projeto mecânico é responsável pelo desenvolvimento estrutural, seleção e integração de sistemas mecânicos, de atuadores pneumáticos e hidráulicos, e de sensores para efetuar as deteções dos vários elementos, necessários para a execução das tarefas do processo do equipamento.

O projeto elétrico é realizado por outra equipa cuja função é selecionar todos os dispositivos de controlo e comando, de proteção elétrica e humana, de sinalização e definir as distribuições elétricas de potência e comando entre estes.

4. **Construção e montagem**

A quarta fase é quando o projeto ganha forma física. As equipas de maquinação e de montagem elétrica e mecânica trabalham em conjunto para realizar a montagem do equipamento;

5. **Programação**

Automatização dos movimentos e das tarefas realizadas pelo equipamento;

6. **Validação e receção**

O equipamento está concluído e em funcionamento. O cliente é recebido nas instalações da Atena para realizar testes funcionais ao equipamento. Caso não se verifique alterações a se realizar no equipamento, o cliente valida o equipamento.

7. **Documentação**

Compilação do esquema elétrico e hidráulico e/ou pneumático, ficheiros CAD do equipamento, verificação de todas as normas de segurança de máquinas e por fim atribuição da certificação CE do equipamento;

8. **Instalação e arranque**

Instalação e arranque do equipamento no chão de fábrica do cliente, dando formações aos operadores e outros intervenientes no equipamento sobre os procedimentos a ter em conta durante a execução automática das tarefas e também os procedimentos a realizar quando algum alerta é lançado pelo equipamento.

1.4 Guia de leitura

Este documento está organizado em 8 capítulos, incluindo o presente:

1. **Introdução** Este capítulo introdutório explica o contexto da rastreabilidade no âmbito da Industria 4.0 e da forma como esta pode enaltecer a necessidade cada vez maior de se aplicar a rastreabilidade dos produtos em ambientes industriais. Também são expostos as motivações e os objetivos do estágio que este documento se refere.
2. **Estado da Arte** Revisão da definição de rastreabilidade e dos tipos de tecnologias que a suportam, tais como os códigos de barras e o RFID, e os diversos métodos para identificar um produto.
3. **Automação industrial e sistemas de controlo** Esta secção do documento tem o propósito de fazer uma introdução de como os sistemas de automação são constituídos e como é que a informação flui desde o chão de fábrica até ao nível empresarial. É dado grande ênfase ao PROFINET em relação aos outros protocolos de comunicação utilizados a nível industrial, pois é o protocolo mais atual e que existe na maioria dos controladores dos equipamentos desenvolvidos pela Atena.
O capítulo 3 apresenta ainda os métodos usados no desenvolvimento de equipamentos industriais na Atena no projeto elétrico e automação.
4. **Caso de estudo 1** Sistema automático para a rastreabilidade das coroas e aplicação para registar os resultados das tarefas realizadas numa base de dados.

5. **Caso de estudo 2** Aplicação para realizar a análise de defeitos dos garfos seletores da linha de magnetização e encapsulamento dos ímanes dos garfos.
6. **Caso de estudo 3** Descrição do desenvolvimento de duas aplicações, uma para efetuar um registo fotográfico dos cárteres e a outra para fazer um registo em base de dados dos resultados operacionais dos diversos postos de trabalho da linha de controlo de cárteres.
7. **Resultados experimentais** Observações feitas ao desempenho do equipamento descrito no caso de estudo 1 e das diversas aplicações referidas nos restantes casos de estudo.
8. **Conclusões** Por fim, neste capítulo são apresentadas conclusões do trabalho realizado e também são dadas sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão do Estado da Arte

As cadeias de distribuição e os sistemas de produção são cada vez mais complexos e globais, consequência da integração do conceito da Indústria 4.0 nas empresas que eleva a competitividade no mercado mundial. Por outro lado, o *recall* de produtos é amplamente verificado em várias indústrias e a origem do problema de qualidade nem sempre é determinada (3; 5). Assim, rastreabilidade é uma ferramenta que desempenha um papel importantíssimo no que toca à eficiência das cadeias de distribuição (6) e dos sistemas de produção (3).

Segundo (4), e tendo como referência a norma ISO 8402, a rastreabilidade é a capacidade de aceder ao histórico, ao uso ou localização de um artigo ou atividade através de identificações gravadas. Acrescenta ainda que a importância da rastreabilidade está presente na norma da gestão da qualidade ISO 9001:2015, que realça este requerimento nas secções 8.5.2 (identificação e rastreabilidade) e 8.6 (responsabilidades das pessoas).

Na Indústria 4.0, várias fontes, como produtos inteligentes e CPS, geram uma grande quantidade de dados que são essenciais para uma rastreabilidade eficaz (6) e os sistemas de rastreabilidade digitais proporcionam benefícios notáveis como segurança, precisão, eficácia, controlo em tempo real e reduzido custo laboral. Ou seja, a implementação das tecnologias de rastreabilidade vem resolver problemas relacionados com a dificuldade de monitorizar os processos em tempo real para, por exemplo, localizar disfuncionamentos e defeitos que ocorram nos sistemas produtivos, como também problemas relacionados com incoerência de informação registada no sistema e a monitorização dos produtos ao longo da cadeia de valor para evitar o roubo, o desaparecimento inexplicável ou entregas incorretas de produtos, o que conduz a um mau controlo de inventários, aumento do custo laboral e má produtividade, colocando em causa a qualidade dos produtos e dos processos (3).

Adicionalmente, e pela mesma razão da heterogeneidade das fontes de dados, os sistemas de rastreabilidade devem auxiliar na interoperabilidade dos sistemas e na integração da informação (6), assim como, devem-se considerar várias tecnologias de rastreabilidade porque cada uma tem as suas vantagens e desvantagens face às mudanças das propriedades do material e às diversas operações de fabrico ao longo dos processos produtivos (4).

Os sistemas de rastreabilidade baseiam-se, sobretudo, em tecnologias de identificação automática (auto-ID). Estas tecnologias têm a capacidade de localizar e acompanhar objetos, produtos, ativos e pessoas ao longo da cadeia de valor, recolhendo e transferindo informação com intervenção humana muito limitada ou mesmo nenhuma, o que potencia-

liza a captura de informações essenciais dos produtos em tempo real, a toma de decisões atempadamente e a eliminação de erros provenientes de atividades manuais. Existem diversas tecnologias auto-ID que podem ser utilizadas na rastreabilidade, mas as mais frequentes são os marcadores óticos como os códigos de barras e os códigos bidimensionais (2D), o *Radio-Frequency Identification* (RFID) e os *Real-Time Location Systems* (RTLS) (3).

2.1 Códigos de barras e códigos 2D

A introdução manual de dados e a recolha de dados tornaram-se problemáticas desde o início da identificação de produtos devido, principalmente, a erros humanos. Avanços tecnológicos nas décadas de 1960 e de 1970 permitiram a codificação de produtos que melhorou a precisão e a rapidez do processamento de informação. Assim, uma das primeiras formas de codificar a identificação de produtos foi através da tecnologia dos códigos de barras, que simplificou a gestão de inventários e melhorou a rapidez de “*checkout*” dos produtos nas indústrias de retalho e mercearia (7). Em 26 de junho de 1974, um pacote de chicletes foi o primeiro produto a ser descodificado por um leitor de código de barras em loja (8).

Os códigos de barras consistem em arranjos de linhas pretas paralelas ou pequenos módulos (quadrados) num fundo branco. Enquanto os códigos de barras tradicionais, também conhecidos por códigos de barras lineares ou unidimensionais (1D), com linhas pretas paralelas ao longo de uma direção têm pouca capacidade de codificação de dados, os códigos 2D (constituídos por módulos, como por exemplo, o *Quick Response* (QR) *code*) podem armazenar até 7089 caracteres. Esta tecnologia é das mais baratas e a mais usada tecnologia auto-ID no mundo. Porém, o requerimento de linha de visão para efetuar a leitura, a pouca segurança de dados, deterioração devido à sujidade em ambientes adversos e a capacidade de apenas leitura são as principais desvantagens desta tecnologia (3).

2.1.1 Códigos de Barras

Segundo (9), existem diversos tipos de códigos de barras lineares. Os códigos de barras mais comuns são a família EAN/UPC, o Code 128, ITF, Code 39 e o Codabar. Os códigos de barras lineares normalmente apresentam a estrutura representada na figura 2.1.

As diversas partes identificáveis na figura mencionada anteriormente são:

- **Quiet Zone** – Margem do código de barras (à esquerda e à direita) e ambas devem ter pelo menos de 7 a 10 vezes a largura de uma barra estreita que é a largura mínima de um elemento;
- **Caracteres Start e Stop** – Estes são caracteres que indicam o início e o final dos dados codificados. Estes dependem do tipo do código de barras. O código de barras Code 39 usa o “*” para início e fim. O Code 128 usa um dos caracteres designados por *Start A*, *Start B* ou *Start C* para sinalizar o início do código e um padrão para a finalização. Por outro lado, os códigos EAN e ITF usam, em vez de caracteres, um padrão de barras que indicam o início e o fim da mensagem;

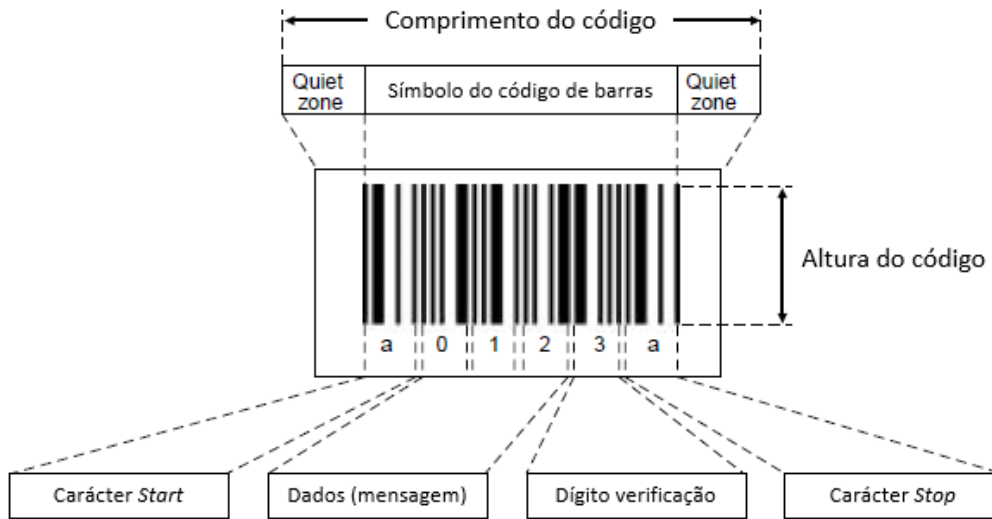


Figura 2.1: Estrutura típica dos códigos de barras. Adaptado de (9)

- **Dados (mensagem)** – Informação codificada, como por exemplo caracteres numéricos, alfabéticos, etc., da esquerda para a direita. A codificação de dados é feita através duma combinação de barras (pretas) e espaços (brancos) largos e estreitos. As diversas barras e espaços são construídos baseando-se na largura da barra mais fina em proporções de 1:2 até 1:3, que são as mais comuns. Porém, nos códigos das categorias EAN e Code 128, uma vez que estes usam até 4 dimensões diferentes entre espaços e barras para codificar um carácter, estes podem ter uma razão de 1:2, 1:3 ou 1:4. Isto significa que um método de impressão com pouca resolução não é indicada para estes dois tipos de códigos;
- **Dígito de verificação** – É um valor numérico calculado para evitar erros de leitura e é colocado diretamente após os dados do código de barras. Durante a ação de leitura, o *scanner* (leitor de códigos de barras) calcula o valor através dos dados adquiridos e confere o resultado com este dígito. Se o valor calculado corresponder ao dígito de verificação é porque não houve nenhum erro de leitura;
- **Altura e comprimento** – O comprimento do código de barras inclui, além do próprio símbolo, as *quiet zones*. Se todo o comprimento do código não se encontrar dentro do campo de visão do *scanner*, este não poderá efetuar a sua leitura. Já a altura do código deverá ser mais alta quanto a impressora permitir para que a leitura seja facilitada ao *scanner*, sendo recomendável que a altura seja maior que 15% do comprimento do código de barras.

2.1.1.1 EAN/UPC

A família de símbolos EAN/UPC foram os primeiros e são os códigos de barras mais aplicados pela GS1 pelo mundo inteiro.

A GS1 é uma organização global, neutra e sem fins lucrativos que traz transparência e eficiência à cadeia de distribuição. Foi a GS1 que introduziu o código de barras em 1974. Assim sendo, as normas criadas pela GS1 proporcionam uma linguagem comum levando as empresas a trocar informação crucial, desde a produção até ao consumidor

final, pelo mundo inteiro, impulsionando vários setores, desde retalho e saúde até aos transportes e à logística. “*Business is easier when you speak the same language as your costumers, suppliers and partners*” (8).

Os códigos de barras que pertencem a esta família de símbolos são o EAN-13 (figura 2.2a), o UPC-A (figura 2.2c), o EAN-8 (figura 2.2b) e o UPC-E (figura 2.2d) (10).

O UPC-A é o tipo de código de barras mais comum no Norte da América e está em uso desde 1974 (11). Por outro lado, o EAN-13 é o mais reconhecido na Europa, sendo usado dentro e fora desta; é o código equivalente ao UPC-A (12). Já o EAN-8 é uma versão mais condensada do EAN-13 (13), assim como, o UPC-E é uma versão mais compacta do UPC-A (14). Estas versões mais compactas são aplicadas em produtos mais pequenos onde o espaço é muito limitado para a colocação dos respetivos códigos mais “completos” (13; 14).



Figura 2.2: Família de símbolos EAN/UPC

Estes códigos codificam apenas dígitos numéricos correspondentes ao *Global Trade Item Number* (GTIN), que é uma das Chaves de Identificação GS1 para identificar inequivocamente produtos, e pode ser composto até 14 dígitos (15).

O EAN-13 e o EAN-8 codificam 13 e 8 dígitos do GTIN respetivamente; os códigos UPC-A e UPC-E são utilizados para codificar 12 dígitos do GTIN, mas no caso do UPC-E, este apenas codifica 6 dígitos através da supressão dos dígitos “0”, como simplificado nas figuras 2.2c e 2.2d (10; 15).

Esta família de códigos é usada sobretudo em produtos que passam nos pontos de venda, podendo também ser aplicada em ambientes logísticos e nas cadeias de distribuição (10).

2.1.1.2 Code 128

O código de barras Code 128 (figura 2.3) foi desenvolvido pela Computer Identics Corporation em 1981 (16), sendo mais denso e versátil que a maioria dos códigos de barras, pois permite codificar muita mais informação que um código de barras regular no mesmo espaço. Adicionalmente, este pode codificar todos os 128 caracteres ASCII (letras, números, pontuação, etc.) e sem limite de comprimento de informação (17).



Figura 2.3: Código de barras Code 128 (17)

O GS1-128 é um subconjunto do Code 128. Por acordo entre a GS1 e a AIM (Association for Automatic Identification and Mobility), o uso do carácter FNC1 (*Function 1 Symbol Character*) no Code 128 logo a seguir ao carácter *start* tem sido reservado exclusivamente para o sistema GS1. O GS1-128 permite codificar todas as Chaves de Identificação GS1 e também atributos como a data de validade, o lote, entre outros, através do uso de *GS1 Application Identifiers* (AIs GS1) (15).

Este código é apenas usado nas cadeias de distribuição e em ambientes logísticos (18).

2.1.1.3 ITF

O código de barras *Interleaved 2 of 5* (ITF) é um código apenas numérico, codificando os dígitos aos pares, como se fosse apenas um. Ou seja, enquanto que outros códigos usam combinações de barras e espaços para codificar um carácter, no ITF um dígito é codificado com duas barras largas e três barras estreitas enquanto que o seu par é codificado com dois espaços largos e três espaços estreitos, num total de 5 barras e 5 espaços. Daí a origem do seu nome, dois em cada cinco espaços ou barras são largos (15; 19). Um exemplo do método de codificação no ITF é mostrado na figura 2.5.

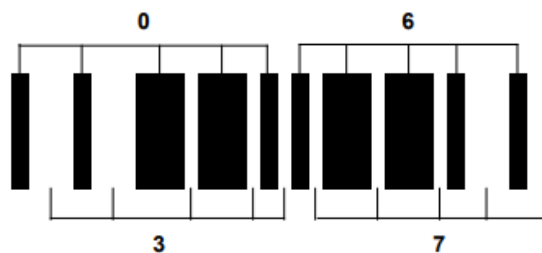


Figura 2.4: Exemplo de codificação dos pares '03' e '67' no código ITF (15)

O ITF pode codificar informação de qualquer comprimento, desde que a quantidade de dígitos seja par. Caso seja ímpar, um "0" é acrescentado no início da mensagem. Por outro lado, a simbologia dos caracteres é auto-verificável, ou seja, um erro de leitura não leva à interpretação de outro dígito, sendo a utilização de um dígito verificador facultativa (19).

O sistema GS1 também usa este tipo de código, o ITF-14, para codificar a Chave de Identificação GS1 GTIN. Porém, a GS1 requer o uso de um dígito verificador (15). Tal como o Code 128, este código é apenas aplicado na distribuição global e na logística, usado principalmente na impressão em caixas de cartão ondulado, pois não necessita de uma impressão com muita qualidade (18).

2.1.1.4 Code 39

Code 39 (figura 2.5) é um código de barras desenvolvido pela *Intermec Corporation* em 1975. Adicionalmente ao carácter *start* e *stop* (“*”), consegue codificar também dígitos numéricos (0 a 9), alfabéticos (A a Z) e alguns símbolos (-, ., (espaço), \$, /, +, %) num total de 43 caracteres. O nome deste código de barras surge da composição do padrão de codificação de cada carácter, onde 3 em 9 barras e espaços são mais largos (20). À semelhança do código ITF, a codificação é auto-verificável, não necessitando de um dígito de verificação, apesar de ser recomendável a sua implementação (21).



Figura 2.5: Código Code 39 (21)

Este código foi o primeiro a codificar números e letras, num tamanho variável (sem limite) e, dada a versatilidade de codificação, cedo se tornou bastante usado na indústria militar, automóvel e também de na indústria eletrónica (20; 21).

2.1.2 Códigos 2D

Ao contrário dos códigos de barras, os códigos bidimensionais contêm informação disposta horizontal e verticalmente, o que permite armazenar mais informação numa forma muito mais densa. Consequentemente, podem ser aplicados em produtos eletrónicos e em outros produtos pequenos onde o espaço é bastante limitado. A grande vantagem dos códigos bidimensionais é a codificação de informação com métodos de reconstrução e correção de erros, o que permite a leitura da informação mesmo que o código esteja parcialmente danificado. Porém, não é usual estes códigos apresentarem a informação codificada juntamente com o símbolo à semelhança dos códigos de barras, levando à perda total da informação quando o código está demasiado danificado (22). Dentro dos códigos 2D destacam-se o DataMatrix e o QR Code.

2.1.2.1 Código QR Code

QR Code (*Quick Response*) é um código de leitura muito rápida desenvolvido pela *DENSO WAVE* em 1994. Existem dois formatos: o QR Code propriamente dito com toda a gama de capacidade de informação e o Micro QR Code com reduzidas dimensões e restrições na capacidade de dados.

Este código possui 4 níveis de correção de erros, o L, M, Q e H que permite restaurar informação até 7, 15, 25 e 30% de área danificada, respetivamente, através do método de Reed-Solomon.

Vários padrões existentes na simbologia QR Code (figura 2.6) tornam-no bastante rápido de ler. Os 3 padrões localizadores (o Micro QR Code apenas tem um) permitem determinar a rotação do código; o padrão de alinhamento é usado para corrigir a distorção dos módulos; o padrão de sincronização determina as coordenadas dos módulos dentro

do símbolo; e o padrão de informação é lido antes da descodificação da informação, pois este indica que nível de correção foi aplicado no código. Além disso, o QR Code tem que ter uma margem mínima de largura de 4 módulos (o Micro QR Code apenas requer um espaço de dois módulos) (23).

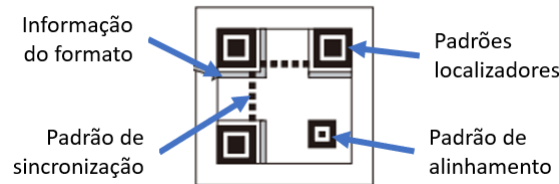


Figura 2.6: Estrutura do código QR Code. Adaptado de (23)

Adicionalmente, o QR Code possui dimensões que vão de 21 x 21 módulos até 177 x 177 módulos (Versões 1 a 40, em passos de 4 módulos por lado), com capacidade máxima para 7089 caracteres numéricos, 4296 alfanuméricos ou 1817 caracteres Kanji. Já o Micro QR Code, pode ter dimensões de 11 x 11 até 17 x 17 (Versões M1 a M4, de dois em dois módulos) com capacidade máxima de 21, 13 ou 5 caracteres numéricos, alfanuméricos e Kanji respetivamente.

O sistema GS1 utiliza a simbologia QR Code (exceto o Micro QR Code) para aplicar todas as Chaves de Identificação GS1 e atributos através de AIs GS1 nos mesmos moldes que o GS1-128 a nível de estruturação de informação (15).

2.1.2.2 Código DataMatrix

O DataMatrix foi desenvolvido pela *International Data Matrix* em 1987. A simbologia DataMatrix está normalizada na norma ISO/IEC 16022 e a versão mais recente do código é a ECC200. Esta versão em relação às anteriores (ECC000, ECC050, ECC100, e ECC140) possui uma maior capacidade para eliminar erros: através do método de Reed-Solomon é possível reconstruir a informação quando uma parte do código está danificada, a partir de uma parte do código mais pequena, até 40% de dano (24).

A informação de um DataMatrix é disposta numa matriz bidimensional preenchida por módulos quadrados. Esta matriz tem em todo o seu perímetro um padrão de localização composto por duas zonas: um padrão de alinhamento em forma de “L” e o padrão de intervalo (figura 2.7). Desta forma, o leitor pode localizar o código em qualquer posição, com qualquer rotação e identificar o tamanho do código mesmo com alguma distorção. Adicionalmente, o código DataMatrix deve ter uma margem (*quiet zone*) mínima de largura igual à de um módulo (25). A estrutura deste código é ilustrada na figura 2.7.

O código DataMatrix (ECC200) pode ter duas configurações: quadrada ou retangular, e tem sempre um número par de linhas e colunas. Na forma quadrada, existem 24 tamanhos que vão de 10 x 10 até 144 x 144, atingindo uma capacidade máxima de 3116 caracteres numéricos ou 2335 alfanuméricos. Por outro lado, na forma retangular, existem apenas 6 padrões, nomeadamente 8 x 18, 8 x 32, 12 x 26, 12 x 36, 16 x 36 e 16 x 48 módulos. Esta última configuração apenas tem capacidade para, no máximo, 98 caracteres numéricos ou 72 caracteres alfanuméricos. Além de números e letras, codifica outros caracteres ASCII (15; 25).



Figura 2.7: Estrutura do código DataMatrix. Adaptado de (24)

O sistema GS1 também usa o DataMatrix, o GS1 DataMatrix, tal como usa o QR Code e o GS1-128, podendo codificar todas as Chaves de Identificação GS1. O primeiro carácter da informação a codificar é o FNC1, especificando o código como GS1, e diversos AIs GS1 podem ser também codificados num código GS1 DataMatrix juntamente com as Chaves de Identificação (15).

2.1.3 Impressão e marcação de códigos de barras e 2D

A aplicação de códigos de barras e de códigos 2D é usualmente realizada através de uma das seguintes formas: aplicar o código numa embalagem ou etiqueta, geralmente através de métodos de impressão *inkjet* ou impressão térmica, ou marcar o código diretamente no objeto através de métodos de *Direct Part Marking* (DPM). Tipicamente, os códigos de barras são aplicados através das tecnologias de impressão *inkjet* e térmica. Para DPM, os códigos 2D são preferíveis devido, não só à densidade de informação, mas também à capacidade de reconstrução de informação em caso de dano (26).

Na marcação direta, os métodos são divididos em métodos intrusivos e métodos não intrusivos. Na aplicação de métodos intrusivos, a superfície do objeto é alterada através de abrasão, decapagem, vaporização, etc.. Por outro lado, os métodos não intrusivos dão uma camada adicional, com o código, ao objeto (27).

Os benefícios da DPM são, tipicamente, maiores que os de outras opções, nomeadamente a aplicação de etiquetas. O uso de etiquetas é simples e o contraste dos códigos é alto e uniforme. Por outro lado, a marcação direta oferece maior durabilidade, robustez, flexibilidade da marcação e pode prevenir a falsificação de produtos (27). Para muitas aplicações, como a identificação de dispositivos médicos, peças automóveis e outros produtos onde a rastreabilidade em todos os ciclos de vida é importante, a DPM é a solução mais duradoura (26). Para as indústrias automóvel e aeroespacial, os métodos mais usados são a marcação a laser, impressão *inkjet* contínua, *dot peening* e gravação eletroquímica. A DPM pode ser usada numa grande variedade de materiais mas cada material tem propriedades diferentes, como a rugosidade e a capacidade de suportar tensões mecânicas e térmicas, o que pode trazer novos desafios à tarefa de marcar diretamente um código num objeto. Na seleção de uma destas tecnologias, é importante focar no material que vai ser marcado (tabela 2.1), na flexibilidade do processo, nos custos, na velocidade de marcação, na produtividade e na possibilidade de automatizar o processo de marcação (tabela 2.2) (28).

Tabela 2.1: Tecnologias de marcação e compatibilidade de materiais (28)

		Alumínio	Cobre	Titânio	Ferro	Aço	Magnésio	Cerâmica	Vidro	Sintéticos
Laser	CO ₂								✓	✓
	Estado sólido	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
<i>Inkjet</i> contínuo		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Dot peening</i>		✓	✓		✓	✓				✓
Gravação	ele-troquímica	✓	✓	✓	✓	✓	✓			

Tabela 2.2: Comparação ente as diversas tecnologias de marcação baseada em vários fatores (28)

	Laser	<i>Inkjet</i> contínua	<i>Dot peening</i>	Gravação eletroquímica
Flexibilidade (marcação em superfícies difíceis, distância entre a peça e o dispositivo)	Alta	Média	Média	Baixa
Investimento	Alto	Médio	Baixo	Baixo
Facilidade de integração (comunicação com um autómato na célula de produção e espaço necessário para instalação e manutenção)	Alta	Alta	Média	Baixa
Tipo de método de marcação (sem contacto - a peça não é tocada pelo aparelho de marcação; contacto - a peça é tocada pelo aparelho)	Sem contacto	Sem contacto	Contacto	Contacto
Resistência da marca à abrasão	Alta	Baixa	Alta	Alta
Mobilidade (facilidade de mover o equipamento para outras localizações da linha de produção)	Baixa	Alta	Alta	Alta
Tensão térmica e química	Sim	Não	Não	Sim

2.1.3.1 Impressão *inkjet*

As impressoras *inkjet* (jato de tinta) são geralmente as impressoras mais usadas para a impressão de códigos numa embalagem ou em etiquetas (26). Adicionalmente, esta

tecnologia também pode ser usada para marcar diretamente objetos (27).

Com o método de *inkjet*, gotículas de tinta são pulverizadas para a etiqueta ou objeto e o solvente contido na tinta evapora-se permanecendo apenas o pigmento na superfície do objeto. Diversas tintas especiais são desenvolvidas pelos fabricantes para cada material, de forma a melhorar a adesão da tinta ao objeto. Existem dois tipos de impressão por *inkjet*: *drop-on-demand* (DOD) e o contínuo (27).

O tipo de impressão *drop-on-demand* gera apenas as gotículas de tinta necessárias durante a impressão e são usadas maioritariamente em ambiente de escritório. Por outro lado, num ambiente industrial em que são exigidas impressões em diversos materiais e num panorama onde é necessário imprimir em produtos que estão em movimento ao longo de uma linha de produção, as impressoras do tipo *inkjet* contínuo são extremamente úteis, não descartando a utilidade das impressoras DoD para a impressão de grandes caracteres em caixas de cartão e impressão de códigos em etiquetas (29; 30).

Numa impressora *inkjet* contínua (figura 2.9), as gotículas de tinta são produzidas constantemente. Uma bomba de alta pressão faz a tinta chegar ao *nozzle*, onde as gotas são geradas através de um cristal piezoelétrico. Estas gotas passam por uns elétrodos de carga, adquirindo uma carga elétrica seletivamente através de sinais vindos do controlador da impressora. Após a carga seletiva, estas passam por umas placas de deflexão eletricamente carregadas e, consoante a carga que as gotas de tinta adquiriram anteriormente, são projetadas para o objeto ou são diretamente enviadas para o reservatório. As gotas podem ser defletidas em vários pontos mas apenas numa direção, ou seja, numa linha (27; 30).

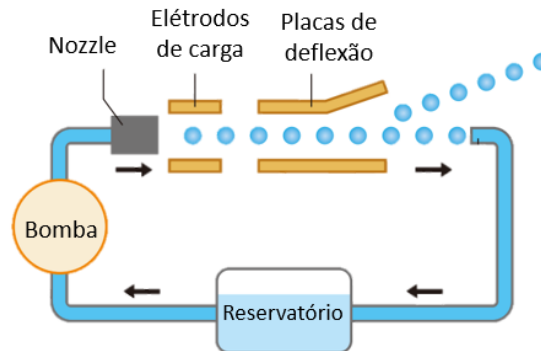


Figura 2.8: Impressão *inkjet* contínua. Adaptada de (29)

A impressão *inkjet* contínua é uma tecnologia que suporta a impressão de códigos DataMatrix devido à forma distinta dos pontos que são formados, permitindo uma boa leitura dos códigos. As cabeças de impressão podem ser colocadas mais longe que as de outro tipo de impressoras e ainda assim garantem uma impressão de códigos bastante limpa e clara. Adicionalmente, é uma tecnologia sem contacto e não danifica o objeto a marcar, o investimento em impressoras deste tipo é menor que de um laser e garantem grande velocidade de marcação, usam tintas de secagem rápida e podem conter especificações extras que garantem flexibilidade de automação do processo de impressão, sendo uma boa opção de escolha em relação ao investimento-productividade para baixos e médios volumes de produção. Contudo, é necessário garantir que a superfície do objeto está muito bem limpa, o que pode exigir novas tarefas e tempo ao processo produtivo; outro ponto negativo desta tecnologia é a pouca durabilidade dos códigos marcados nos

objetos em relação à marcação por laser ou *dot peening*, uma vez que podem não tolerar os mesmos abusos e maior parte deles podem ser removidos com certos solventes (28).

Na figura 2.9 estão representados um exemplo de impressão e um exemplo de instalação de uma cabeça de impressão de um impressora *inkjet* contínua.



(a) Exemplo de impressão

(b) Exemplo de instalação de uma cabeça de impressão

Figura 2.9: Exemplo de aplicação da impressão *inkjet* contínua (31)

2.1.3.2 Laser

A tecnologia laser (*Light Amplification by Stimulated Emission Radiation*) é uma solução bastante popular na marcação de códigos permanentes numa peça. Os sistemas de marcação laser aplicam marcações de alta qualidade incluindo códigos de barras e 2D e códigos alfanuméricos, numa grande gama de materiais e em diversas condições de produção, de forma rápida, limpa, necessitando de pouca manutenção (28).

Um sistema de marcação a laser tem o princípio de funcionamento idêntico ao que é ilustrado na figura 2.10: uma fonte laser emite um raio que é refletido em dois espelhos controlados por ação de motores, passando por uma lente de foco. Desta forma, o raio laser atinge o objeto realizando marcações num plano 2D (32).

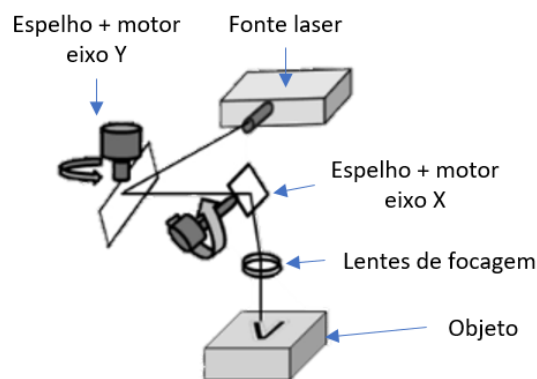


Figura 2.10: Sistema de marcação *laser*. Adaptada de (32)

Uma fonte laser consiste num meio ativo, composto por um determinado material

com propriedades específicas que absorve energia proveniente de uma fonte de luz ou de energia elétrica. Durante a absorção de energia pelo meio ativo, são produzidos fótons que vão amplificando a sua potência. Assim que a luz adquire intensidade suficiente, é emitido o raio laser (33).

Os tipos de laser são distinguidos de acordo com o meio ativo onde o raio laser é criado. Os tipos padrão de laser usados para marcação são os laser de gás, como por exemplo o de CO₂, e os de estado-sólido, como é o caso do Nd:YAG (Neodímio : Ítrio-Alumínio-Granada), tendo estes uma subcategoria de laser de fibra, por exemplo o FAYb (27).

Os laser de gás são adequados para marcar materiais sintéticos e vidro. Por outro lado, os metais só podem ser marcados por este tipo de laser em certos casos. Os de estado-sólido são ideais para marcar quase todo o tipo de materiais, sendo os lasers de fibra muito eficientes, mais pequenos e com longo período de serviço. Os laser de fibra possuem fibra ótica enriquecida com material dentro do núcleo, obtendo longas regiões de meio ativo. As fibras óticas têm um elevado quociente entre a área superficial e volume, permitindo um arrefecimento bastante eficiente (33).

Quando um material é marcado com recurso a um sistema laser, a interação entre o material e o laser em si (comportamento de absorção), criam um contraste no objeto que é resultado da remoção de material ou da alteração das suas propriedades (tabela 2.3. A forma como o material reage ao laser depende dele mesmo, como também do laser e dos parâmetros de marcação configurados (nomeadamente a potência, a velocidade de varrimento e a frequência de pulso, sendo estes cuidadosamente determinados em testes praticados no material (27).

As principais vantagens da marcação laser são: é uma tecnologia sem contacto com a peça; grande velocidade do processo; grande contraste e qualidade da marcação, mesmo em superfícies irregulares; alta eficiência em grandes volumes de produção, grande precisão e repetibilidade com um baixo custo de operação e reduzida manutenção; é uma tecnologia que opera mesmo em condições fabris adversas; fácil automatização e integração nos processos de fabricação. Contudo, apresenta algumas desvantagens como um grande investimento inicial, a exposição da peça a tensões térmicas o que pode comprometer a sua integridade, e também a necessidade de estabelecer um procedimento de segurança, como a instalação de uma cápsula, para isolar os raios laser e proteger as pessoas ao redor deste sistema (28; 34).

2.1.3.3 *Dot peening*

Dot peening (35), também conhecido por micropercussão, é uma tecnologia onde infor-mação é estampada na superfície do produto através de um pino de metal duro. Esta tecnologia pode ser usada para marcar texto e códigos 2D, sendo, dentro dos códigos 2D, o código DataMatrix o mais usado (figura 2.11).

Há dois tipos principais de máquinas de marcação de *dot peening*: pneumáticas e eletromagnéticas, tendo, cada uma, a possibilidade de serem fixas ou manuseadas manualmente (portáteis) (27). As eletromagnéticas são projetadas para aplicações menos exigentes, onde a profundidade de marcação não é um requisito crítico ou a peça a marcar tem uma superfície pouco dura, como por exemplo o alumínio. Por outro lado, os dispositivos de *dot peening* pneumáticos são sistemas mais robustos e desenhados para aplicações em ambiente industrial com condições de trabalho muito exigentes (36).

Tabela 2.3: Métodos de marcação laser (27; 28)








Métodos de marcação	Descrição gráfica	Princípio	Materiais
Remoção		Remoção do revestimento superficial	Metais revestidos como alumínio anodizado, metais lacados, ou compósitos como placas de circuitos
Gravação		Vaporização parcial do material, o contraste é criado pela reação com o oxigênio do ar	Metais, cerâmicas, e alguns sintéticos
Têmpera		Aquecimento local do material abaixo do ponto de fusão	Certos metais como o titânio
Mudança de cor/branqueamento		Alteração ou eliminação de certos aditivos no material	Predominantemente sintéticos
Espuma/Carbonização		Fundição local do material, formando uma espuma	Alguns sintéticos
Fundição/Remoção térmica		Alteração da refletividade do material	Metais, sintéticos, e vidro
Gravação interna		Micro fraturas no interior do material	Vidro e acrílico

Figura 2.11: Exemplo duma peça marcada com a tecnologia *dot peening* (35)

A variação no contraste visível para o leitor é obtida através da distinta refletividade da luz nos pontos estampados (código) e na superfície do objeto (fundo do código). Ou seja, quanto maior a profundidade de penetração da caneta na peça, maior será a eficácia de leitura do código marcado (27). A profundidade de marcação é afetada por alguns fatores: força de marcação, distância entre a caneta e a peça, dureza do material e o ângulo da caneta (37).

As vantagens da marcação por *dot peening* são, essencialmente, um investimento inicial relativamente baixo e a marcação de informação tecnicamente “indestrutível”, pois esta é embutida na peça e, em particular, como a peça fica apenas sujeita a tensões

mecânicas, sem tensões térmicas ou químicas adicionais, assegura que as propriedades do material não sejam alteradas durante o processo de marcação. Contudo, há custos associados à manutenção regular e substituição dos pinos devido ao desgaste que estes sofrem durante o processo de marcação e, em peças mais finas, o *dot peening* pode ser uma limitação quando não há substância suficiente para marcar sem perfurar a peça (27; 28).

2.1.3.4 Gravação eletroquímica

A gravação eletroquímica remove camadas de material por meios de eletrólise.

O processo passa por, primeiro, obter um molde com o negativo do código a marcar (figura 2.12 - 1) e colocá-lo muito justo na superfície da peça. Depois, um carimbo (figura 2.12 - 2 e 3) é embebido com uma solução eletrolítica (solução aquosa que contém elementos eletrólitos e tem capacidade de conduzir eletricidade) indicada para o material da peça a marcar e pressiona o molde contra o objeto, o que significa que apenas a zona pretendida a marcar é atingida pela solução eletrolítica. Por fim, a eletrólise é iniciada através da aplicação de corrente elétrica entre a peça e o carimbo, removendo camadas muito finas à superfície do objeto (27; 38).

A região erodida na superfície da peça promove uma maior reflexão ou absorção da luz, criando o contraste necessário para identificar o código marcado. A gravação eletroquímica permite fazer gravações muito precisas: com a apropriada solução eletrolítica e o tempo mais adequado de eletrólise, é possível remover camadas entre $2,5$ até $100\mu m$ (27).

Além da marcação muito precisa, este método permite obter bons resultados em metais cuja dureza é bastante elevada e é a tecnologia mais barata das referidas neste capítulo. Porém, esta tecnologia só pode ser utilizada em materiais metálicos, condutores de eletricidade, e são necessários moldes para cada código, o que torna esta tecnologia muito pouco flexível em termos de materiais onde possa ser usada e no nível de automação (28).

2.1.4 Leitura de códigos de barras e códigos 2D

Um leitor (*scanner*) de códigos é um dispositivo com luz, lentes e um sensor que captura e descodifica a informação de um código. Na figura 2.13 é ilustrado o *scanner* comercial SR-1000 da Keyence.

Os primeiros *scanners* de códigos de barras utilizados são baseados na tecnologia laser, os *laser scanners*. Estes leitores usam, como fonte de luz, raios laser e, através da oscilação de um espelho, fazem o varrimento de todo o código. Um diodo fotoelétrico recebe a luz refletida pelo código de barras, criando um sinal analógico que depois é convertido num sinal digital. A vantagem desta tecnologia é o facto da luz laser não divergir, o que possibilita a leitura de códigos de barras a distâncias consideráveis. A

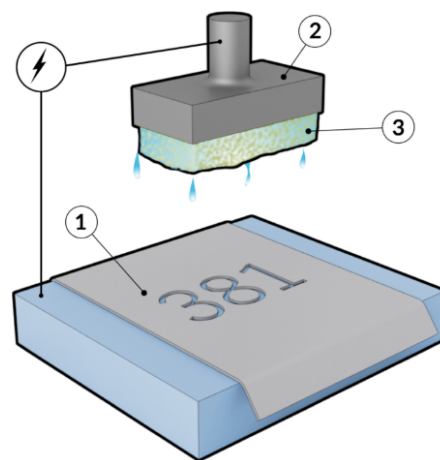


Figura 2.12: Processo de gravação eletroquímica (38)



Figura 2.13: Leitor de códigos 2D fixo SR-1000 da Keyence. Fonte: <https://www.keyence.com/products/vision/barcode/sr-1000/>

desvantagem reside na capacidade de ler apenas códigos de barras e, porque as condições de leitura são raramente perfeitas (má qualidade de impressão, baixo contraste, dano ou distorção dos códigos de barras), o número de leituras incorretas ou de não leituras é geralmente alto (39).

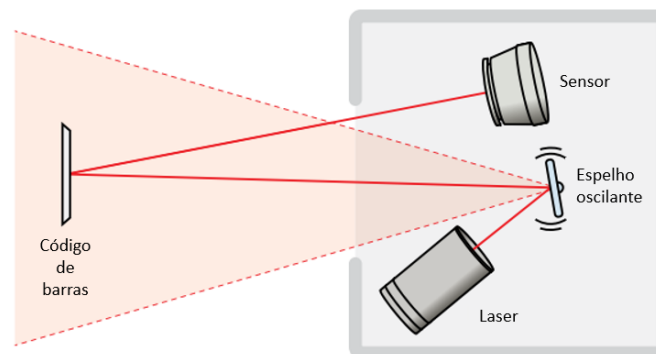


Figura 2.14: Sistema de leitura de leitor de código de barras. Adaptado de (39)

Por outro lado, os códigos 2D (e também códigos de barras) podem ser lidos através de tecnologia de Imagem 2D, como leitores de códigos 2D e sistemas de visão artificial (15).

Os leitores de código 2D possuem um sensor de área idêntico ao que é encontrado nas câmaras digitais. Têm também um microprocessador, que através de um software de processamento de imagem, localiza e descodifica os códigos. As características predominantes neste tipo de tecnologia (40) são:

- Resolução de imagem

Um dos parâmetros diferenciadores na escolha de um sensor de imagem ou câmara é a resolução de imagem. Na escolha da resolução do sensor, um dos critérios a ter em conta é o número de pixels que a característica mais pequena do objeto terá na imagem. Ou seja, é a quantidade de pixels que vão representar cada módulo, no caso de um código 2D, ou a barra mais fina de um código de barras.

A resolução mínima do sensor, para cada dimensão, pode ser calculada pela seguinte equação (41):

$$SR = MF \times \frac{FOV}{SF} \quad (2.1)$$

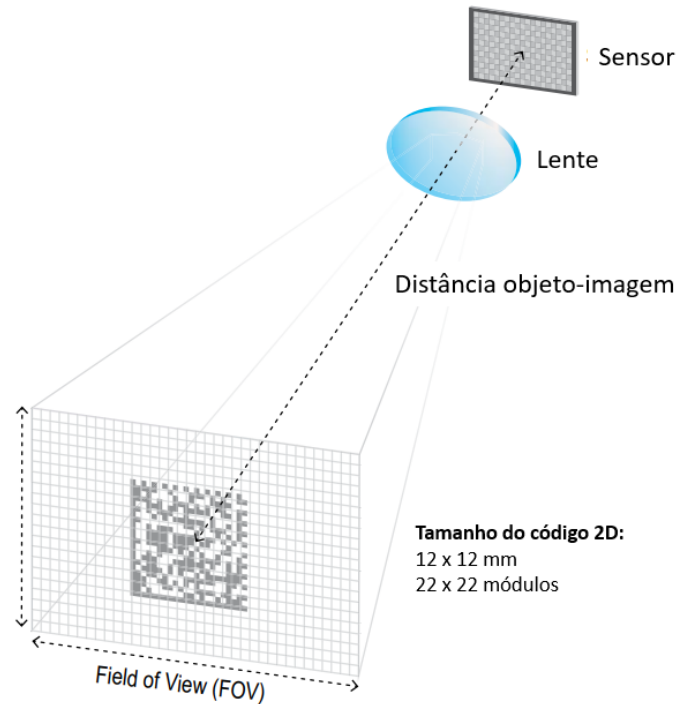


Figura 2.15: Sistema de leitura de um leitor 2D ou câmara. Adaptado de (40)

Na equação 2.1, SR é a resolução do sensor (em pixels) para a dimensão calculada, MF é o número de pixels da característica mais pequena, FOV é a dimensão do campo de visão (*Field of View*) em mm e SF é o tamanho da característica mais pequena, também em mm .

Considerando o exemplo da figura 2.15, se se considerar um FOV igual a $78 \times 50mm$, 4 pixels por módulo e cada módulo tem $0,54mm$ ($12 \div 22$), aplicando a equação 2.1 para cada dimensão, obtém-se uma resolução para o sensor mínima de 578 pixels para uma dimensão e de 370 pixels para a outra. Isto significa que, um leitor comum com resolução de 752×480 pixels é adequado para a leitura nessas condições.

- Lentes

As lentes são determinantes para uma boa aquisição de imagem. As especificações das lentes são essencialmente a distância focal e abertura da lente (42). A distância focal está diretamente relacionada com a distância objeto-imagem e a ampliação e pode ser calculada através da fórmula 2.2 (41), onde f é a distância focal (mm), D é a distância objeto-imagem, I é a largura do sensor e W é a largura do campo de visão.

$$f = D \times \frac{I}{W} \quad (2.2)$$

A abertura da lente permite controlar a quantidade de luz que passa através desta para o sensor. A abertura é apresentada como f -número, sendo este número a razão entre a distância focal e a abertura efetiva. Quanto maior o número, mais

pequena é a abertura. Como é habitual haver grandes velocidades do obturador em aplicações de visão artificial, o uso de lentes com uma grande abertura reduz a probabilidade de as imagens ficarem com baixa qualidade. Adicionalmente, a abertura de lente afeta também a profundidade de campo (distância à qual os objetos permanecem focados): tipicamente, aberturas mais pequenas, aumentam a profundidade de campo (42).

As distâncias focais mais comuns em lentes incluem 6mm , 8mm , 12.5mm , 25mm , e 50mm . Porém, lentes com distância focal menores que 12mm tendem a produzir imagens com elevada distorção (41).

Os leitores de qualidade oferecem opções de montagem de lentes *S-mount* e *C-mount*, e os mais recentes têm auto focagem ou lentes líquidas, o que evita ajustes manuais da lente e garantem flexibilidade em aplicações com várias distâncias imagem-objeto (40).

- Iluminação

A iluminação é um fator importante, determinante para um bom sistema de visão e um leitor de código 2D. A partir da iluminação, pode-se estabelecer bons contrastes e reduzir bastante o tempo de processamento da imagem. Os leitores industriais de códigos oferecem várias opções de iluminação integrada e também externa, dependendo do ambiente e da aplicação. Na figura 2.16 são apresentadas três técnicas de iluminação: iluminação difusa, iluminação direta (*dark-field*) e iluminação com *domme* difuso, que permite obter bons contrastes em etiquetas e peças marcadas por DPM com grande contraste, em peças marcadas por *dot peening* e laser, e em superfícies com grande reflexão e curvilíneas, respetivamente.

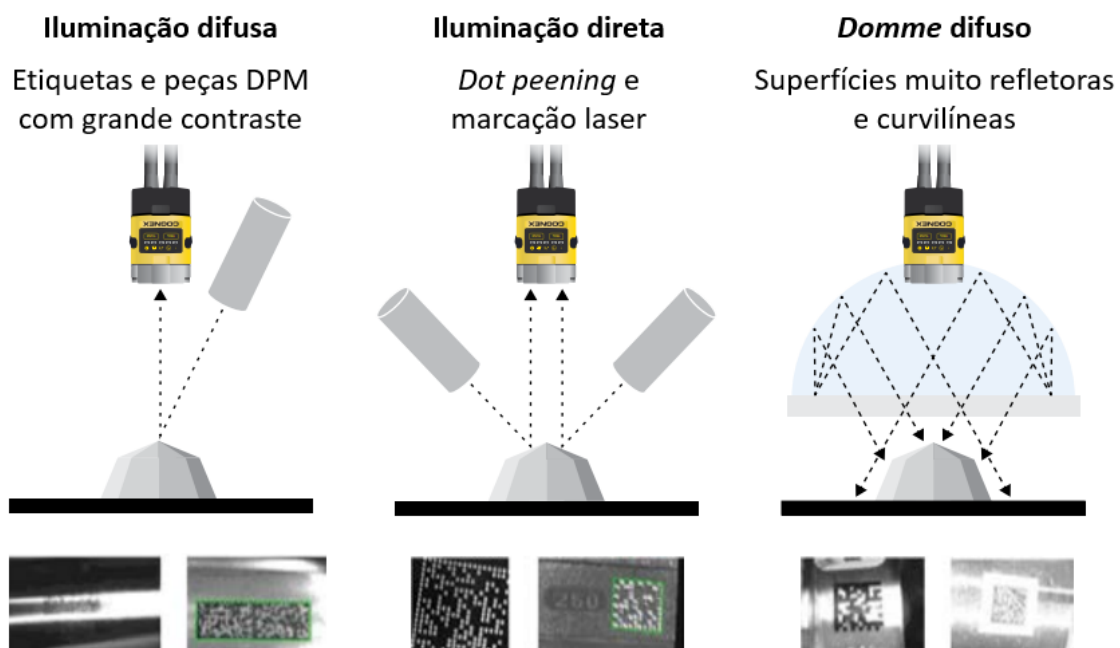


Figura 2.16: Exemplo de melhoramento de imagem com aplicações de iluminação. Adaptado de (40)

A escolha de um leitor de códigos de barras ou de códigos 2D começa por determinar: quais simbologias o leitor tem capacidade de decodificar; se consegue ler códigos com bastante ruído (como os que são realizados por DPM); o tipo de aplicação, se vários produtos passam com grandes velocidades e em grandes quantidades numa linha de produção, os leitores fixos são a melhor solução, caso se trate de um ambiente logístico de cargas e descargas, um leitor manual é o mais adequado; o tipo de comunicação que o leitor oferece, de forma a integrar na rede da aplicação, para enviar a informação decodificada; e o custo do equipamento, sendo este menor nos leitores de códigos de barras, mas, em contrapartida, os leitores de códigos 2D oferecem a possibilidade de ler ambos os tipos de códigos, mesmo em situações mais adversas em termos de imagem, e mecanicamente são mais resistentes (43).

2.1.5 Verificação da marcação de códigos

Desde a produção até à distribuição e retalho, os códigos de barras e 2D são usados em vários setores e, uma falha de leitura de um código pode ser catastrófica, provocando vários custos associados à redução da produção de linhas de fabrico, reimpressão de códigos nos produtos e até devoluções destes. De forma a garantir uma boa qualidade de marcação dos códigos, e que estes possam ser lidos por diversos leitores de códigos com sucesso, deve-se proceder à verificação da qualidade de impressão, realizado por verificadores de códigos de barras e/ou 2D ou softwares dedicados. Enquanto muitos parâmetros como a largura da barra, a altura e a margem são especificações de construção e precisão dimensional das simbologias dos códigos, o contraste e a reflexão afeta a forma como um leitor “vê” um código. Desta forma, a verificação da qualidade de um código analisa vários parâmetros de qualidade como o contraste, a modulação, o dano do padrões de localização, entre outros, para atribuir um grau global de qualidade do código de A a F ou um numérico equivalente de 4 a 0. Um código com letra C ou melhor (por exemplo A), é considerado um código 100% legível. As três normas principais de verificação são a ISO/IEC 15416 para códigos de barras, a ISO/IEC 15415 para códigos 2D impressos em etiquetas e a norma ISO/IEC TR 29158 (conhecida por AIM DPM) para códigos 2D marcados por DPM (44).

2.1.5.1 ISO/IEC 15416

Esta norma requer 10 linhas de varrimento do código ao longo da sua altura, como representado na figura 2.17.

Em cada linha, são analisados vários parâmetros (tabela 2.4), começando pela refletividade mínima, a decodificação e o contraste mínimo entre barras e espaços adjacentes. Se falhar num destes três, um grau de classificação F é atribuído àquela linha; se passar, são analisados também os restantes parâmetros para essa linha. No final, é atribuído o grau global de qualidade do código de barras, que é a média dos graus avaliados nas 10 linhas.

2.1.5.2 ISO/IEC 15415

Nesta norma, os códigos 2D são avaliados com 8 parâmetros para o DataMatrix e o QR Code (tabela 2.5), havendo mais dois parâmetros para este último. O grau global da qualidade do código será o grau mais baixo avaliado num dos parâmetros e não a média

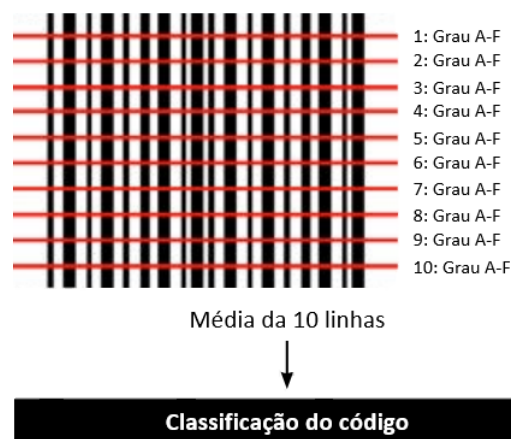


Figura 2.17: Verificação da qualidade de impressão de um código de barras. Adaptado de (44)

Tabela 2.4: Alguns dos parâmetros de verificação na norma ISO/IEC 15416 (44; 45)

Parâmetros de verificação	Descrição	Exemplo gráfico
Leitura	Verifica se a leitura do código é possível.	
Contraste do código	Verifica a diferença entre a intensidade de luz máxima e mínima dentro da área do código. Se o contraste global não for suficiente, o grau é baixo.	
Refletividade mínima	Avalia se a intensidade mínima de luz é $\leq 50\%$ da intensidade máxima de luz. Se as barras são claras, o grau é baixo.	
Contraste mínimo das arestas	Calcula a diferença mínima de refletividade entre um espaço (incluindo a <i>quiet zone</i>) e as barras adjacentes. Se o fundo estiver sujo, o grau é baixo.	
Modulação	Avalia a razão entre o contraste mínimo das arestas e o contraste do símbolo.	
Descodificação	Determina o erro entre o tamanho ideal da largura das barras e espaços e a largura detetada. Se as barras ou espaços forem demasiado largos ou estreitos, o grau é baixo.	
Defeitos	Deteta marcas ou sujidade indesejados ou erros de impressão dentro de cada elemento. Se as barras ou espaços estiverem defeituosos ou sujos, o grau é baixo.	

destes. O processo começa com um teste de passa/falha com a descodificação do código. Se não for possível descodificar o código, o grau global atribuído ao código é “F”. Caso passe, os outros parâmetros são testados.

Tabela 2.5: Parâmetros de verificação na norma ISO/IEC 15415 (25; 44; 45)

Parâmetros de verificação	Descrição	Exemplo gráfico
Leitura	Define se a leitura de um código foi válida (grau A) ou não (grau F).	
Contraste do código	Verifica a diferença entre a intensidade de luz máxima e mínima do código (incluindo a <i>quiet zone</i>).	
Desuniformidade axial	Testa a diferença de escala entre os eixos X e Y.	
Modulação	Está relacionado com o contraste do código no sentido de medir a consistência da refletividade entre áreas escuras e claras ao longo de todo o código.	
Desuniformidade da grelha	Avalia o desvio do centro de cada célula da posição ideal.	
Correção de erros não usada	Mede a quantidade de dados que a correção de dados providencia. Quanto menor for a correção de erros usada, maior é o grau.	
Danos nos padrões localizadores	Deteta qualquer dano nos padrões localizadores, inclusive na <i>quiet zone</i> .	
Danos na informação do formato	Deteta qualquer dano no padrão de informação (apenas para os códigos QR Code).	
Danos na informação da versão	Deteta qualquer dano nas zonas que identificam a versão do QR Code (apenas para os códigos QR Code e com versão 7 ou maior).	
Densidade de impressão	Quantifica e avalia a forma como a impressão dos módulos foi realizada. Se os módulos pretos excederem a dimensão ideal ou não a preencherem na totalidade, a performance da leitura é afetada.	

2.1.5.3 ISO/IEC TR 29158

Os parâmetros de qualidade e o processo de avaliação da norma ISO/IEC TR 29158 são idênticos à norma ISO/IEC 15415 mas existem algumas diferenças que otimizam o teste da qualidade em códigos 2D marcados com tecnologias DPM. A primeira é a forma como o limite global de intensidade da imagem do código é calculado (figura 2.18). Esta norma usa um algoritmo mais sofisticado para calcular os valores de intensidade das células escuras e das células claras, o que a torna mais flexível para uma variedade maior de fundos (diversas superfícies de peças). Consequência deste método de cálculo para o parâmetro de contraste do código, é a melhoria da avaliação do parâmetro de modulação. Por outro lado, esta norma permite o uso de iluminação, para além de 45°, em ângulos de 30°, 90° e iluminação com *domme*, o que permite verificações de códigos em superfícies curvas, refletoras ou em marcações realizadas com tecnologia *dot peening*.

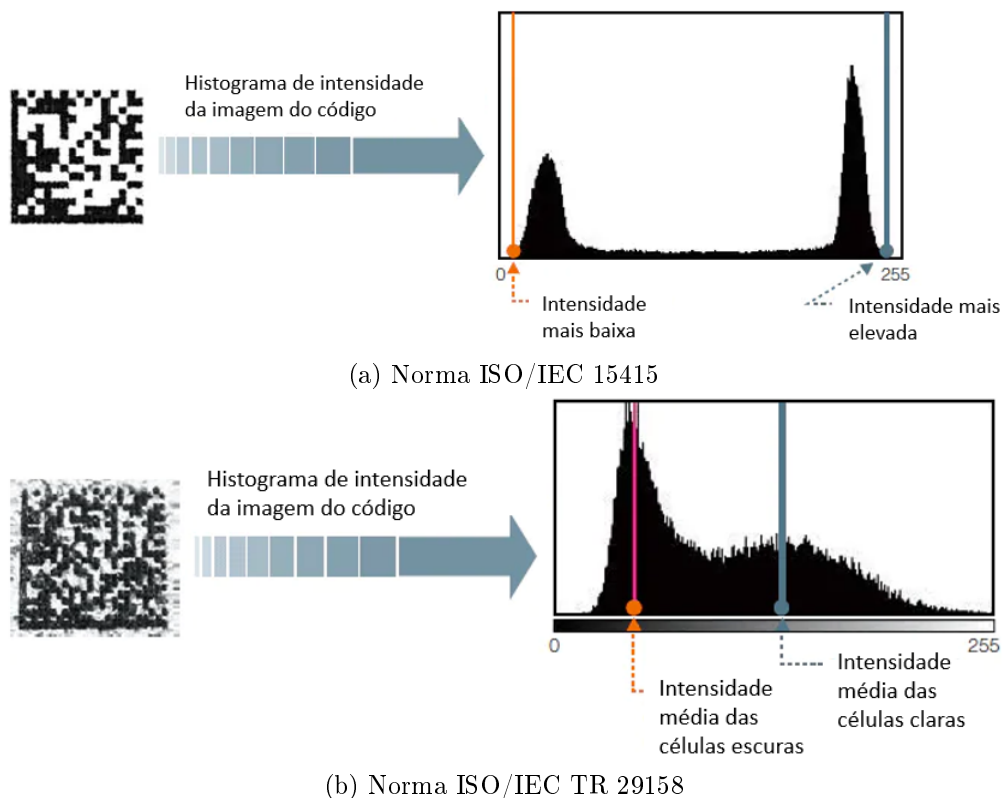


Figura 2.18: Diferenças no cálculo do contraste do código. Adaptado de (45)

2.2 RFID – *Radio-Frequency Identification*

RFID tem sido descrita como a “*world’s oldest new technology*”, uma vez que se pode remeter as origens desta tecnologia para a Segunda Guerra Mundial (46). Os alemães, japoneses, americanos e britânicos usavam o radar, que tinha sido inventado em 1935 pelo físico escocês Sir Robert Alexander Watson-Watt, para detetar a aproximação de aviões a quilómetros de distância. Porém, não tinham forma de distinguir entre os aviões aliados e os inimigos. Os alemães descobriram que, se os pilotos girassem os aviões ao

regressarem à base, o sinal de rádio refletido modificava-se. Desta forma, conseguiam diferenciar os aviões Alemães dos aviões dos Aliados (basicamente, este foi o primeiro sistema RFID passivo). Os britânicos, sob orientação de Watson-Watt, desenvolveram o primeiro sistema ativo, o *Identification Friend or Foe* (IFF): colocaram um transmissor em cada avião e, quando recebiam sinais das estações de radar, estes transmitiam um sinal de volta que identificava os aviões como aliados (47).

A primeira aplicação comercial desta tecnologia surgiu na década de 1960, na área de controlo eletrónico de artigos para combater o roubo de produtos, o que é ainda muito usado atualmente. Melhoramentos dos materiais semicondutores, como também dos aplicativos comercializados, tem levado a significativo desenvolvimento da tecnologia RFID, redução dos custos da tecnologia e, conseqüentemente, tem aumentado o interesse e procura pelas empresas (46).

O *Radio-Frequency Identification* é uma tecnologia de comunicação *wireless* usada para captura de informação (como número de série, posição, cor, data de compra, fabricante, entre outros atributos, e até medir fatores ambientais como a temperatura) de objetos, animais ou pessoas que transportam ou têm embutidas etiquetas RFID (*tags*). O processo de comunicação entre as *tags* e os leitores RFID não é sempre baseado em comunicações por radio-frequência, podendo usar indução eletromagnética (46; 48; 49).

A aplicação de códigos de barras que revolucionou os sistemas de identificação há algum tempo atrás, tem-se mostrado insuficiente e inadequada num número crescente de casos (50). Esta tecnologia de identificação automática e captura de dados permite uma identificação mais detalhada quando comparada a códigos de barras e tecnologias auto-ID anteriores. Por exemplo, com o RFID, é possível alocar códigos de identificação diferentes para produtos semelhantes e com diferentes níveis de identificação, o que acrescenta valor e promove a rastreabilidade nos processos logísticos e de produção (48). Além disto, o RFID não necessita de linha de visão entre *tag* e leitor, ao contrário do que se passa nos códigos de barras que necessitam de estar alinhados para o leitor poder efetuar a leitura do código (49). Desta forma, esta tecnologia promove melhorias significativas, em relação às outras tecnologias, na transmissão de informação em termos de velocidade, precisão, distância de leitura e capacidade de memória (incluindo reescrita de informação nesta). O RFID está presente em vários serviços como na identificação de animais, rastreabilidade de bens, pagamentos eletrónicos, bilhetes de transportes públicos, monitorização dos processos de produção e muitos outros serviços onde são exigidas formas rápidas e fáceis para identificar objetos e trocar informação (51).

2.2.1 Componentes de um sistema RFID

Um sistema RFID é composto por dois componentes: a *tag* que está alocada no objeto que se pretende identificar; e o leitor, que comunica com a *tag* para leitura e escrita de informação.

2.2.1.1 Leitor RFID

Um leitor tipicamente contém um módulo de rádio-frequência (emissor e recetor), uma unidade de controlo e um elemento de acoplamento (antena) para a *tag*. Adicionalmente, muitos leitores possuem uma interface de comunicação adicional, como, por exemplo, RS232, RS485, etc., de forma a poder ser integrado noutra sistema (PC, sistema de controlo robótico, entre outros) (50).

2.2.1.2 Tags RFID

As *tags* RFID, às vezes referidas como *transponders*, podem ser classificadas em passivas e ativas. Uma *tag* passiva não possui uma fonte de alimentação interna (bateria) e não consegue comunicar sem receber energia de um leitor por meio de sinais de radio-frequência. Por outro lado, uma *tag* ativa tem uma fonte de alimentação interna. As principais diferenças entre estes dois sistemas são (46):

- Força de sinal e distância leitor-*tag*: as *tags* ativas conseguem receber sinais mais fracos do leitor e, por isso, o alcance de comunicação entre *tag* e leitor é maior. Porém, uma *tag* passiva necessita de sinais mais fortes do leitor para alimentar o circuito interno e o sinal retornado é muito baixo, resultando numa distância menor de comunicação. Para *tags* passivas, as distâncias de comunicação vão desde alguns centímetros a alguns metros do leitor, enquanto que, para *tags* ativas, pode-se atingir centenas de metros.
- Sensores: ambos os tipos de *tags* podem conter sensores. Porém, nos sistemas passivos, a recolha de dados pelos sensores é apenas realizada quando um leitor está a comunicar. Nos sistemas ativos, as *tags* podem monitorizar as condições ambiente continuamente e enviar os dados para o leitor ou armazenar na memória interna.
- Capacidade de escrita/leitura e memória: ambos os sistemas permitem aceder à memória das *tags* para escrita e leitura de dados. Contudo, as *tags* passivas têm uma memória bastante reduzida em comparação com as *tags* ativas, podendo estas últimas ter capacidade para mais de 128kB.
- Tempo de vida: o que limita o tempo de vida das *tags* ativas é a sua bateria, que depende muito da frequência com que é requisitada para processar e/ou enviar informação. Adicionalmente as *tags* ativas são maiores e mais dispendiosas que as passivas, revelando-se uma diferença de preços bastante acentuada entre os dois tipos de etiquetas.

2.2.1.3 Antenas

A potência das *tags* e dos leitores pode ser melhorada pela natureza das antenas, nomeadamente pelo seu design e orientação. Antenas com ganho baixo geralmente emitem radiação em todas as direções de forma omnidirecional. Antenas com elevados ganho tendem a emitir sinais numa direção em particular (unidirecionais) com um alcance maior. Ou seja, quando um leitor ou *tag* está em movimento, não é praticável aplicar antenas direcionais, mas em situações restritivas a sua aplicação é válida (46).

2.2.2 Frequências e princípios de operação

A transmissão de informação entre as *tags* e os leitores de RFID baseiam-se nas leis do eletromagnetismo. Os sistemas RFID comunicam dentro da gama de frequências das ondas de rádio do espectro eletromagnético, mais precisamente em: *Low Frequency* (LF), na região entre os 30 e os 300kHz; *High Frequency* (HF), entre os 3 e os 30MHz; *Ultra-High Frequency* (UHF), na região compreendida entre os 300MHz e os 3GHz; e também na gama das micro-ondas, entre os 2 e os 30GHz. A comunicação dos sistemas RFID que operam em LF e em HF é baseada na indução eletromagnética, enquanto que os sistemas

que comunicam em UHF e em frequências micro-ondas funcionam através da captura de ondas rádio. O fenómeno de indução surge na área entre a antena do leitor numa curta distância, sendo conhecida por “*near field*”. Por outro lado, a região onde é efetuada a propagação das ondas rádio-frequência é geralmente conhecida por “*far field*” (46).

Através de várias técnicas de modulação, sinais são transmitidos nos sistemas *near field* e em *far field*. No acoplamento *near field* entre o leitor e a *tag* (figura 2.19), o leitor faz passar uma elevada corrente alternada na sua antena (que é basicamente uma bobine). Quando uma *tag* entra nesse campo eletromagnético gerado pelo leitor, é produzido um fluxo magnético na antena da *tag*, induzindo uma corrente alternada na antena desta. Depois de passar num circuito retificador, o chip da *tag* é alimentado eletricamente, transmitindo informação para o leitor através de *load modulation*. Esta técnica de modulação consiste num circuito que leva à absorção de corrente elétrica de acordo com os dados a enviar, o que conseqüentemente causa variações na tensão elétrica da antena do leitor. Estas variações são interpretadas pelo leitor e, desta forma, a comunicação é concretizada (49).

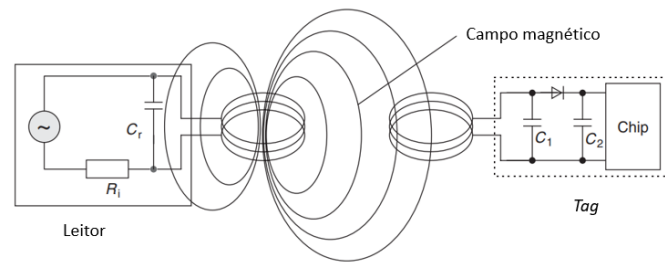


Figura 2.19: Alimentação de uma *tag* através de indução pelo campo magnético alternado gerado pelo leitor (50)

As *tags* passivas RFID baseadas em *far field* (figura 2.20) captam as ondas eletromagnéticas emitidas por uma antena (geralmente uma antena dipolo) ligada ao leitor RFID. Uma antena mais pequena da *tag* capta essas ondas, convertendo-as em tensão elétrica alternada. A energia recebida pela antena é retificada e a *tag* fica assim alimentada eletricamente. A técnica de comunicação usada neste tipo de sistemas RFID é a *backscattering*: parte da potência da onda emitida pelo leitor e que chega à *tag* é absorvida para alimentar o circuito desta, mas outra parte da potência é refletida de volta para o leitor. De forma a transmitir dados, o chip da *tag* controla um comutador que é alternadamente ligado e desligado consoante a informação a enviar. Consecutivamente, a onda refletida que chega ao leitor, tem variações de amplitude e de potência, ou seja, é modulada. O leitor possui um acoplador direcional que envia o sinal recebido para o recetor do leitor. Como referido anteriormente, uma *tag* ativa tem uma bateria que alimenta todo o circuito eletrónico, permitindo mandar sinais independentemente do leitor, mas também detetar sinais mais fracos deste e, conseqüentemente, obter maiores distâncias de comunicação. Uma *tag* activa que utiliza o *backscattering* para comunicar é, geralmente denominada por *tag* semi-ativa (49; 50).

Os sistemas de acoplamento indutivo (“*near field*”) são menos suscetíveis a interferências devido à grande atenuação do ruído. Adicionalmente, sinais de baixa frequência conseguem penetrar mais facilmente líquidos, uma vez que comprimentos de onda mais longos são menos suscetíveis à atenuação. Desta forma, os sistemas RFID que operam

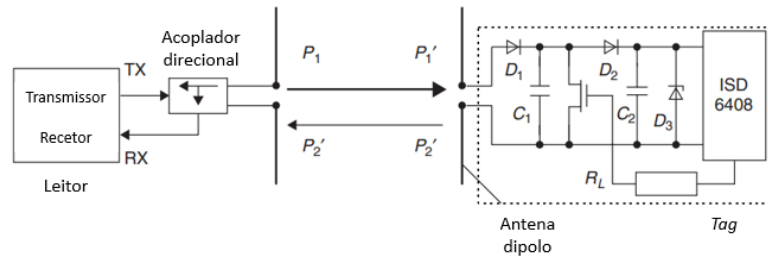


Figura 2.20: Princípio de funcionamento de uma *tag* que usa *backscattering* (50)

em LF e HF são mais indicados para aplicações em ambientes que contêm água (como humanos e animais). Por outro lado, o metal reflete os sinais de radio-freqüência, criando interferências. Os sistemas de acoplamento indutivo conseguem comunicar em ambientes metálicos dentro de certas condições (46).

Tabela 2.6: Características das tecnologias de LF. Adaptado de (46) e de (52)

	<i>Low Frequency</i> (LF)	<i>High Frequency</i> (HF)	<i>Ultra-High Frequency</i> (UHF)	Micro-ondas
Gama de frequências	30-300kHz	3-30MHz	300MHz-3GHz	2-30GHz
Modo de transmissão de energia e dados	Indução eletromagnética		Ondas de rádio-freqüência	
Distância de leitura	30 <i>cm</i>	1 <i>m</i>	<10 <i>m</i> para <i>tags</i> passivas, até 100 <i>m</i> para <i>tags</i> ativas	Até 10 <i>m</i>
Características principais	Pequeno alcance, velocidade de transmissão de dados baixa, penetra metais	Bom alcance, boa velocidade de transmissão de informação, penetra água	Muito bom alcance, grande velocidade de transmissão de dados, não consegue penetrar nem água nem metais	
Áreas de aplicação típicas	Identificação de animais, imobilização de carros	Bilhetes (por exemplo em transportes públicos), cartões de pagamentos <i>contactless</i> , controlo de acessos	Rastreabilidade de paletes e contentores	Pagamento de portagens, rastreabilidade de contentores, controlo de produção

2.3 RTLS – *Real-Time Location Systems*

Real-Time Location Systems (RTLS) são sistemas que permitem localizar a posição de um ativo ou pessoa em tempo real. Um RTLS pode consistir em diversas tecnologias, incluindo luz, visão artificial, infravermelhos, som e ultra-som, Bluetooth, Wi-Fi, RFID, ZigBee, *ultra-wideband* (UWB) e GPS (*Global Position System*). Estas tecnologias têm diferentes abordagens, e cada método atua em diferentes aplicações ou soluciona diferentes problemas consoante as suas limitações (53).

Capítulo 3

Automação industrial e sistemas de controlo

Para se desenvolver um sistema de produção automático, é necessário fazer um levantamento da estrutura desses sistemas, do tipo de periféricos que estes incorporam e a forma como comunicam entre si e com outros elementos.

Este capítulo também tem o propósito de descrever os processos e métodos aplicados na Atena durante o projeto de automação (projeto elétrico e programação) que levam ao desenvolvimento de um sistema ou equipamento de automação industrial.

3.1 Sistemas de automação e controlo industrial

Os sistemas de automação industrial tornam-se mais complexos quanto mais componentes são integrados relativamente à atuação, aquisição de informação, processamento de sinais, comunicação e monitorização. Estes sistemas são, geralmente, estruturados em vários níveis hierárquicos como ilustrado na figura 3.1.

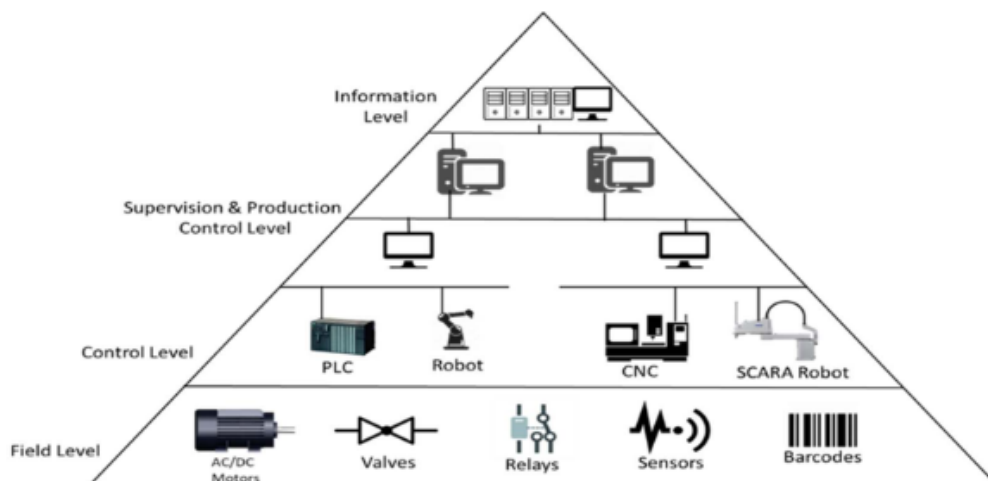


Figura 3.1: Hierarquia dos sistemas de controlo e automação industrial (54)

No topo da hierarquia temos o nível empresarial e de informação, também referido como *Enterprise Resource Planning* (ERP), onde é feita a gestão de todo o sistema in-

ustrial, como o planeamento da produção, vendas e distribuição, assim como a gestão de recursos humanos e similar. Este é seguido pelo *Manufacturing Execution System* (MES) que é um sistema de informação que liga, monitoriza e controla os sistema de fabricação de toda uma área fabril, assegurando a eficácia da execução das operações e melhorando a produtividade. O terceiro nível da pirâmide é o de supervisão e controlo de produção das células fabris baseado em sistemas *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) e *Human-Machine Interface* (HMI) para monitorizar e parametrizar máquinas e sistemas automáticos de produção. Este é seguido pelo nível fabril, composto sobretudo por controladores programáveis como *Programmable Logic Controller* (PLC) e também computadores industriais para atingir grande performance dos processos. Estes sistemas de controlo comunicam entre si e também com os sistemas SCADA. Por sua vez, estes adquirem informação e controlam diversos dispositivos em tempo real que estão distribuídos pelo nível fabril, como sensores, atuadores, módulos *Input and Output* (I/O), *drivers*, entre outros.

As redes de comunicação industriais permitem que informação seja enviada e recebida desde o chão de fábrica até ao nível empresarial e vice-versa. No nível mais baixo, redes de comunicação com curto tempo de resposta são necessárias para controlar os vários dispositivos, por forma a garantir a eficácia e eficiência dos processos de fabricação. À medida que se sobe na hierarquia, essa informação é agregada e, apesar de a transmissão de dados em tempo real não ser crítica, grandes quantidades de informação são trocadas nos níveis superiores de uma empresa (54; 55).

Protocolos de comunicação industriais

As primeiras comunicações industriais foram baseadas em interfaces de comunicação série, como por exemplo o RS232 e o RS485. Várias empresas criaram cada uma o seu protocolo de comunicação, o que resultou em diversos standards no mercado. Como muitos sistemas industriais têm um longo tempo de vida, muitos destes protocolos de comunicação ainda estão presentes na indústria, como é o caso do PROFIBUS, CAN, Modbus e o CC-Link (56).

À medida que os fabricantes procuram melhorar os processos, aumentar a produtividade e integrar as redes de comunicação fabril com a empresarial, muitos estão a recorrer à tecnologia *Ethernet*. Antes, esta tecnologia era considerada uma solução limitada às redes empresariais, mas tem provado ser uma alternativa robusta que pode atender às necessidades exigentes do ambiente de produção (57).

Desta forma, muitos protocolos de comunicação industrial têm se movido para soluções baseadas em *Ethernet*. Estes protocolos de *Ethernet* Industrial incluem o EtherCAT, o PROFINET e o EtherNet/IP. As comunicações *Ethernet* com a arquitetura *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) têm normalmente alguma latência com tempos de resposta que rondam os 100ms. Desta forma, os protocolos de *Ethernet* Industrial diferem na forma como a informação é enviada entre dispositivos garantindo a transmissão de dados em *real-time* que é exigido nos processos de fabricação (56).

A *Ethernet* Industrial possibilita a redução de custos às empresas uma vez que os sistemas de automação baseados nesta tecnologia podem oferecer mais flexibilidade e acelerar a implementação de novas aplicações no futuro e, ao mesmo tempo, assegurar a performance e a segurança de rede (57).

Como a Atena usa maioritariamente PLC da Siemens, o protocolo de comunicação

que é preferencialmente selecionado para estes controladores em novos sistemas é o protocolo de *Ethernet* Industrial PROFINET, levando até aos clientes as vantagens referidas anteriormente.

O PROFINET é um protocolo de comunicação que, para além de utilizar o padrão IEEE 802.3 (*Ethernet*), possui “três canais” que priorizam os dados de forma distintiva: *Real-Time* (RT), *Non-Real-Time* (NRT) e *Isochronous Real-Time* (IRT). Na figura 3.2 é possível verificar a arquitetura de comunicação de cada um destes canais representada no modelo *Open Systems Interconnection* (OSI) (58).

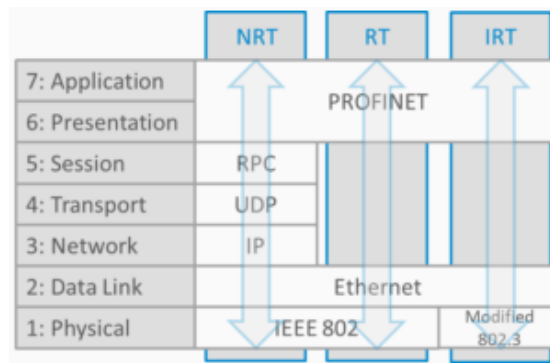


Figura 3.2: Arquitetura de comunicação PROFINET (58)

Como consequência desses diversos mecanismos de comunicação, diferentes tempos de resposta são obtidos. No canal NRT, é utilizada a arquitetura completa do modelo OSI, com tempos de resposta a aproximarem os 100ms. Já no canal RT, a camada *Ethernet* é ligada diretamente à aplicação, reduzindo o tamanho das mensagens o que resulta em tempos menores de transmissão de dados, a rondar os 10ms. Por fim, no canal IRT, tempos de resposta abaixo de 1ms são obtidos, ideais para aplicações em que o tempo de resposta é crítico, como no controlo de movimento de robôs (58; 59).

Existem essencialmente dois tipos de redes PROFINET: o PROFINET IO e o PROFINET CBA. O primeiro utiliza sobretudo os canais IRT e RT e é utilizado para aplicações que exigem aquisição de dados e controlo em tempo real, como por exemplo leituras do estado dos sensores e atualização de saídas digitais, realizar diagnósticos da rede PROFINET estabelecida entre os diversos dispositivos e ainda fazer o controlo de movimentos que exijam muita precisão, como referido anteriormente. Ao contrário deste, o PROFINET CBA utiliza o canal NRT e também o RT, sendo aplicado em situações onde o tempo de resposta não é tão crítico, como na configuração da rede, comunicação com os *gateways* (conversores de protocolos de comunicação) e também na comunicação entre máquinas (59).

3.2 Metodologia

Como introduzido no capítulo 1, o desenvolvimento de um equipamento industrial passa por diversas fases até ser concluído, quando é instalado e fica devidamente a funcionar no chão de fábrica de um cliente. Mais especificamente no âmbito do projeto de automação (área de inserção do estagiário na empresa), este pode ser dividido em duas partes: projeto elétrico e a de programação dos diversos componentes de comando e controlo.

Ainda no seguimento deste capítulo, é abordado o projeto elétrico que é comum tanto à elaboração do equipamento para rastreabilidade de coroas como ao desenvolvimento da aplicação de visão artificial e da aplicação de rastreabilidade de cárteres. Também é descrito o princípio de funcionamento da interface de comunicação desenvolvida para que as aplicações comuniquem com os respetivos controladores.

Nos capítulos seguintes, é focada maioritariamente a programação realizada para os diversos dispositivos de controlo do equipamento das coroas e também o desenvolvimento das aplicações na integra.

3.2.1 Projeto elétrico

O projeto elétrico inicia com a definição e seleção dos componentes necessários para realizar as funções do equipamento. Dentro destes componentes destacam-se os dispositivos de comando e deteção como PLC, sensores, contadores, relés auxiliares, entre outros. Depois, é necessário efetuar uma análise de risco e de segurança para os utilizadores, de modo a selecionar os componentes dos sistemas de controlo da parte relacionada com a segurança da máquina. Estando todos os dispositivos bem definidos, é necessário calcular os consumos elétricos para se dimensionar os componentes de isolamento, proteção e de transformação elétrica, como por exemplo interruptores-seccionadores, disjuntores e fontes de alimentação. Por fim, é necessário embutir toda esta informação num esquema, o esquema elétrico, que vai auxiliar os eletricitistas durante toda a montagem elétrica do equipamento.

3.2.1.1 Análise de riscos

Como construtor de máquinas e integrador de equipamentos, a Atena segue as regras técnicas de conceção e construção, de acordo com o previsto na Diretiva Máquinas (Diretiva 2006/42/CE) bem como a legislação nacional que a transpõe (Decreto-Lei n.º 103/2008).

Durante a conceção da máquina, possíveis riscos devem ser analisados e, onde necessário, devem ser aplicadas medidas de proteção para protegerem os seus utilizadores. Para este efeito, a norma EN ISO 12100 define e descreve o processo da avaliação de riscos. Este processo é uma sequência de passos lógicos que facilitam a análise e avaliação sistemática de riscos. Quando necessário, a avaliação de riscos é seguida pela redução de riscos, onde medidas de proteção são aplicadas para eliminar o quanto possível os perigos e reduzir suficientemente o nível de risco identificados. Se da aplicação das medidas de proteção resultar novos riscos, a repetição de todo o processo (avaliação e redução de riscos) pode ser necessária até atingir riscos residuais aceitáveis. Na figura 3.3 são ilustrados os processos de análise e redução de riscos.

Avaliação de riscos

A abordagem durante a conceção da máquina deve respeitar a seguinte sequência:

- Determinar as funções da máquina e estabelecer os seus limites, tais como limites físicos da máquina e o local expectável de funcionamento desta, tempo de vida da máquina, o que produz e a capacidade de produção, modos de funcionamento e funcionalidades desta, pessoas envolvidas no processo (uso pretendido mas também mau uso involuntário ou previsível derivado a distrações dos utilizadores e ações

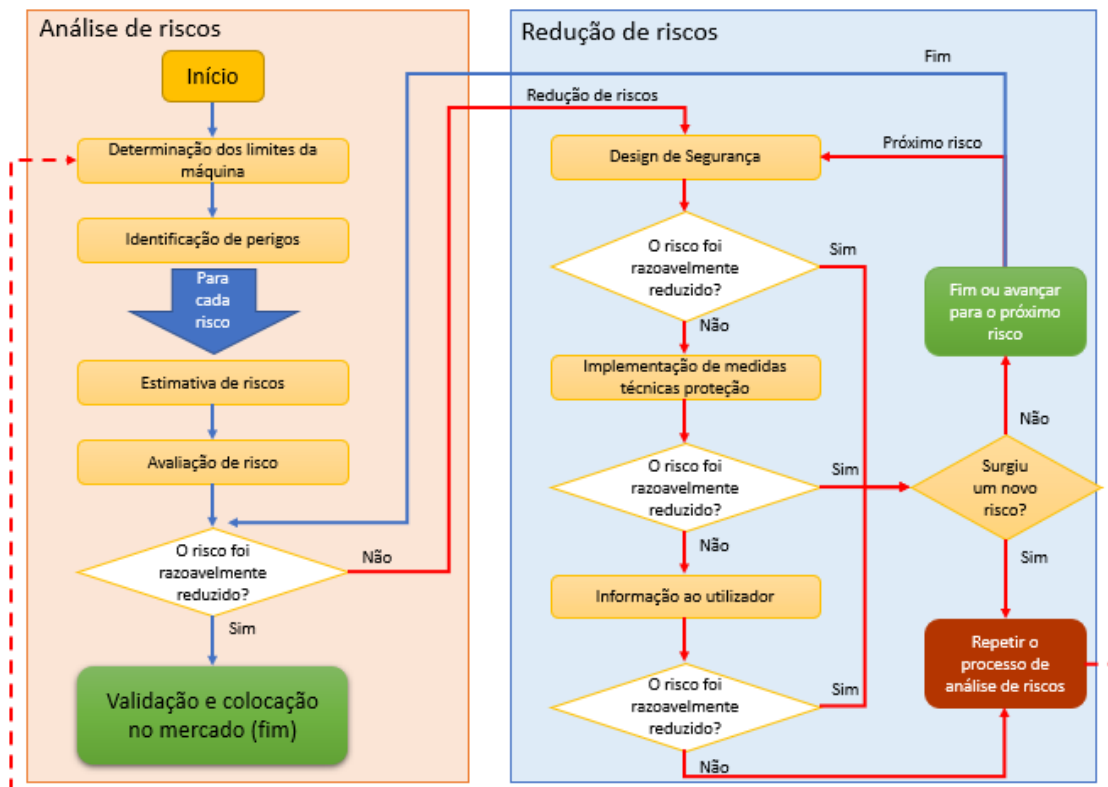


Figura 3.3: Processo de análise e redução de riscos de acordo com a norma EN ISO 12100

tomadas para manter a máquina em operação independentemente do que aconteça, entre outras).

- Identificar os perigos e situações perigosas associadas: perigos mecânico (esmagamento, cisalhamento, golpe ou decepamento, arrastamento, etc.), elétrico (contacto direto ou indireto e ainda fenómenos eletrostáticos), térmico (contactos com temperaturas extremas), perigo proveniente do ruído, de vibrações, de radiação (campos eletromagnéticos, laser, etc.), perigos associados ao uso de materiais e substâncias, perigo por desrespeito dos princípios ergonómicos durante a conceção da máquina, entre outros. Os perigos também devem ser identificados em todas as fases do tempo de serviço da máquina, além da normal operação, como no transporte, instalação e arranque, manutenção, limpeza e também no desmantelamento.
- Estimar o risco de cada perigo identificado, que é determinado pela extensão do dano que pode ser causado (lesão pequena, lesão grave, etc.) e pela probabilidade de ocorrência que é definida pela exposição dos utilizadores ao perigo, a frequência do evento e também pela possibilidade do ser humano conseguir prevenir o dano.
- Avaliar o risco e decidir se é necessário reduzi-lo.

Redução de riscos

Se a avaliação de risco mostrou que são necessárias medidas para reduzir o risco, então deve-se executar o processo de redução de riscos. Este é um processo iterativo e tem como

objetivo reduzir os riscos na máxima extensão possível, sendo a hierarquia de medidas a seguinte:

- Redução de riscos através de design de segurança

Esta é a primeira e a mais importante abordagem no que toca à redução de riscos, pois é através do design da máquina que muitos riscos são excluídos, tornando-se na abordagem mais eficiente. O design de segurança compreende: conceitos de design mecânico como aplicação dos princípios ergonómicos, evitar arestas afiadas, cantos e peças salientes, evitar pontos de esmagamento, de cisalhamento e decapeamento; conceitos de operação e manutenção, onde podem ser implementadas estações de carga e descarga automáticas, configuração e manutenção da máquina a partir de “fora”, e um conceito de operação claro através do uso de controlos e indicadores bem identificados.

- Redução de riscos através de medidas técnicas de proteção

Quando não é possível reduzir o risco através de um design de segurança do equipamento, é necessário recorrer a dispositivos de proteção técnica. Estes podem ser proteções físicas como grades e portas, e sensores de segurança como fins-de-curso de segurança de portas, barreiras imateriais, *scanners* de varrimento de área, comandos bimanuais, tapetes de segurança, entre outros; as paragens de emergência não devem ser consideradas medidas para minimizar o risco mas sim como uma medida adicional de segurança, devendo existir uma por cada posto de trabalho de um operador. A colocação de um dispositivo de proteção mecânica fixo, como é o caso de uma grade, não está integrado no sistema de controlo da máquina, e, quando bem implementado, os requisitos de segurança são imediatamente alcançados. Por outro lado, uma porta necessita de um fim-de-curso de segurança que deve estar integrado no sistema de controlo para que seja impedido o arranque de funções perigosas da máquina ou que estas parem de imediato quando a porta é aberta.

Os sistemas de controlo de segurança são constituídos sobretudo pelos sensores de segurança e botões de paragem de emergência, que por sua vez são monitorizados por uma unidade de processamento como é o caso de um relé de segurança ou de um PLC de segurança, e são considerados subsistemas do sistema de controlo da máquina que atuam em paralelo às funções operativas para realização das funções de segurança. Desta forma é possível realizar paragens seguras e arranques fiáveis do equipamento.

Um sistema de controlo de segurança fornece as funções de segurança com uma Categoria e nível de integridade de segurança (SIL) ou nível de desempenho (PL). Antes da seleção dos componentes para um sistema de controlo de segurança, é necessário determinar o nível de desempenho necessário à função de segurança que se pretende. Este é determinado em conformidade com a norma EN ISO 13849-1(PL) ou com a norma EN 62061 (SIL). Ambas as normas referem-se à gravidade dos ferimentos, à frequência ou tempo de exposição ao perigo e à possibilidade de evitar a situação de perigo.

No final é necessário verificar se o sistema de controlo de segurança concebido atinge o nível de desempenho pré-calculado para a função de segurança, de maneira a

validar a boa conceção e implementação do sistema e a redução de risco para um nível aceitável.

- Redução de riscos através de informação de uso:

Por vezes existem riscos residuais que não podem ser minimizados nem por design de segurança nem por sistemas de controlo de segurança ou proteções físicas. Assim, os operadores devem receber avisos adicionais como o uso obrigatório de equipamento de proteção pessoal, sinais sonoros e/ou visuais das medidas e cuidados a ter no manuseamento do equipamento.

3.2.1.2 Esquema elétrico

Um esquema elétrico é um modo gráfico de representar todos os circuitos de distribuição de potência, de comando e controlo e de comunicação entre os vários dispositivos da máquina. Este deve seguir uma estrutura bem organizada, identificar devidamente todos os componentes, cabos e condutores através de etiquetas bem legíveis e permanentes para que a leitura do esquema seja a mais clara possível para permitir uma correta montagem do quadro elétrico e instalação elétrica geral do equipamento industrial, mas também para que, numa futura intervenção ou alteração ao equipamento, seja possível identificar rápida e inequivocamente todo o circuito elétrico sujeito a alteração.

Na elaboração de um esquema elétrico devem-se atender às normas: IEC 61082 (“Preparação da documentação usada em eletrotécnica”), IEC 60617 (“Símbolos gráficos para esquemas”), IEC 60445 (“Princípios básicos e segurança para os interfaces homem-máquina, marcação e identificação – Identificação de terminais de equipamentos, terminações de condutores e condutores”), IEC 60757 (“Códigos para designação de cores dos condutores”), entre outras.

O *software* utilizado na Atena para o desenvolvimento de esquemas elétricos é o Eplan P8. No anexo A são ilustradas algumas páginas desenvolvidas para o caso de estudo 1.

3.2.2 Aplicações – Interface de comunicação

As aplicações necessitam de estar em comunicação com os controladores industriais para que sejam recebidos eventos da parte deles para iniciarem a execução das funções principais no momento certo, e também sejam recebidas outras informações necessárias a essas funções, como por exemplo para guardar os dados numa base de dados que o PLC tenha retido das operações efetuadas num determinado produto para efeitos de rastreabilidade.

As aplicações desenvolvidas para o sistemas implementados foram desenvolvidas no Visual Studio 2017 em C Sharp. Estas são compostas por um processo que lida com a interface gráfica, outro processo para a gestão e execução das funções principais, e ainda por outro processo responsável pela comunicação com os controladores (interface de comunicação). Relativamente a esta última, recorreu-se à biblioteca Sharp7 que fornece todos os recursos para estabelecer a comunicação com os controladores Siemens. Na figura 3.4 é representada a estrutura das aplicações e o fluxo de informação através destas, desde o controlador até aos utilizadores.

Esta biblioteca tem um objeto designado *S7Client* que permite definir um *socket* TCP/IP, com métodos para controlar a comunicação com um PLC. Na tabela 3.1 são apresentados os principais métodos usados no desenvolvimento da interface de comunicação.

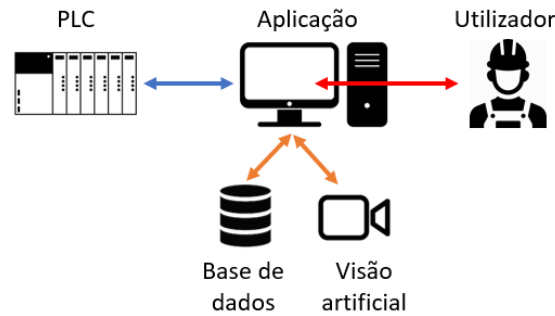


Figura 3.4: Estrutura das aplicações para rastreabilidade e visão artificial.

Tabela 3.1: Métodos do objeto *S7Client* para comunicar com um autómato da Siemens

Método	Descrição
<i>ConnectTo()</i>	Inicia ligação a um PLC
<i>Disconnect()</i>	Termina a ligação atual do objeto <i>S7Client</i>
<i>ReadArea()</i>	Função principal para leitura de dados do autómato
<i>WriteArea()</i>	Função principal para escrita de dados no autómato

A interface de comunicação, com recurso à biblioteca referida, consiste então na leitura cíclica de um ou mais *Data Block* (DB) do PLC que são blocos de memórias do controlador para obter as variáveis que traduzem eventos e informação adicional essenciais à função da aplicação. Além disso, o resultado da execução das funções inerentes ao Sharp7 permitem também fazer o diagnóstico da comunicação com o controlador, nomeadamente ao nível da comunicação TCP/IP ou se ocorreram erros relacionados com a formatação de dados durante a escrita e/ou leitura devido à inconsistência do tipo de variáveis acedidas pela aplicação.

Capítulo 4

Caso de estudo 1 - Sistema automático de rastreabilidade para a linha de produção da roda de coroa e montagem das caixas de velocidades

4.1 Apresentação

Um cliente da Atena efetuou um pedido para a construção de um equipamento que fizesse a marcação direta de um código DataMatrix (DM) num dos componentes das suas caixas de velocidades, as rodas de coroas, para ser integrado na linha de produção desse produto e fazer a sua rastreabilidade. Dentro dos requisitos do cliente, o equipamento deve efetuar o controlo dimensional do diâmetro exterior e verificar a posição correta da peça, efetuar a marcação do DM com recurso a tecnologia laser e, por fim, verificar a qualidade da marcação realizada. Adicionalmente, esta informação deve ser guardada numa base de dados.

Produto

Como referido, o produto que o equipamento tem que manipular é a coroa das caixas de velocidades (figura 4.1), que basicamente é uma roda de dentado helicoidal, e é responsável pela transmissão de potência de saída da árvore secundária para o diferencial, que por sua vez transmite potência para as rodas por intermédio dos semieixos das rodas.

Este produto tem duas categorias consoante o tipo de caixa a que pertence (DB35 e JT4), havendo dentro de cada uma diversas diversidades designadas por *rapport*, as quais podem ser 14x69, 14x59, 15x58, etc.

Na figura 4.2 estão representadas as características físicas das coroas. Cada diversidade possui um determinado diâmetro externo (D) e respetiva tolerância dimensional (cujos valores foram descritos na documentação fornecida pelo cliente). A face correta de marcação (F) do códigoDataMatrix da coroa é determinada pela distância da face do cubo da coroa em relação ao plano de referência (h), que será o plano onde a coroa é



Figura 4.1: Caixa de velocidades parcialmente montada (a coroa é o elemento que não se encontra desfocado)

colocada para ser trabalhada.

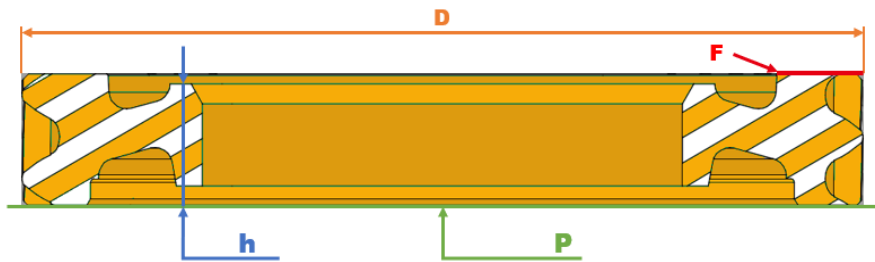


Figura 4.2: Características principais das coroas

Adicionalmente, outra característica que as coroas têm é a existência de um código alfanumérico (figura 4.3) marcado através de micropercussão na face de marcação em outras etapas do processo de fabrico prévias ao posto de trabalho destinado a este equipamento, e este deve garantir que a marcação laser do código DM não se realize sobre este.



Figura 4.3: Código alfanumérico existente na coroa

Quanto à composição da informação a ser codificada pelo DM, esta foi igualmente

detalhada pelo cliente e é composta principalmente pela referência da coroa, mais um conjunto de caracteres específicos do cliente, o último dígito do ano, o dia do ano, número de série e o *rapport*, totalizando um conjunto de 20 caracteres de informação.

4.2 Equipamento proposto

Expostas as características e verificações principais que é exigido ao equipamento realizar, a equipa da Atena propôs uma máquina, que em termos mecânicos, tem três postos de trabalho (figura 4.4): posto de carga para inserção e descarga de peças, posto de medição para efetuar os controlos dimensionais do diâmetro externo e da posição das coroas e, o terceiro, o posto de marcação e verificação onde é realizada a marcação e verificação da qualidade do código DataMatrix.

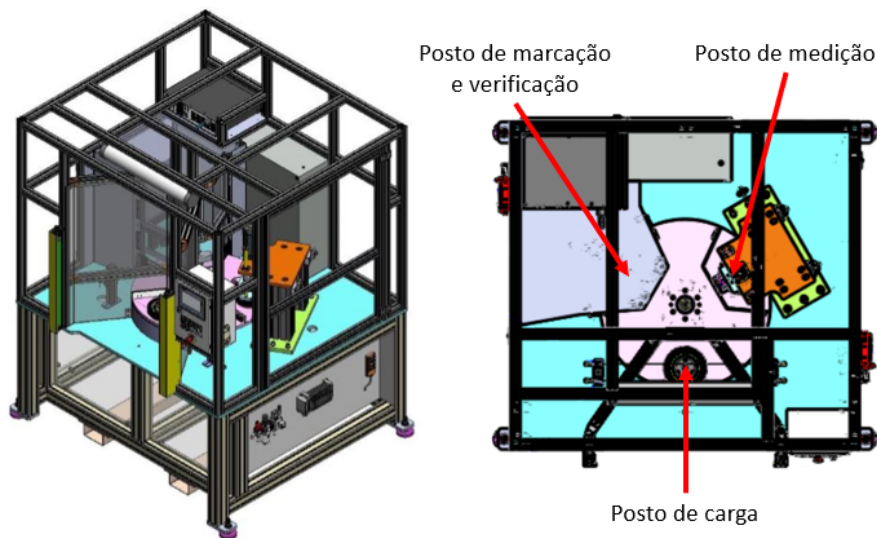


Figura 4.4: Equipamento proposto

Este equipamento foi desenhado para ser manuseado apenas por um operário, sendo que as peças são transferidas entre postos através de uma mesa rotativa que é acionada por um sistema indexador que a move em passos de 120° . Este design permite reduzir a complexidade do equipamento e obter tempos de ciclo de trabalho também bastante reduzidos.

Em termos de automação, acionamento e controlo, foram aplicados diversos componentes e sistemas com a arquitetura representada na figura 4.5.

Os dispositivos identificáveis na imagem mencionada são:

1. O *Programmable Logic Controller* (PLC) escolhido para ser o “cérebro” da máquina foi um SIMATIC S7-300 CPU 315-2 PN/DP. Este controlador é o que melhor oferece a relação custo-benefício face à dimensão relativamente pequena da máquina, apresentando bons tempos de processamento e também uma interface de *Ethernet* para PROFINET com duas portas (*switch*) onde é ligada toda a rede de comunicação do equipamento.

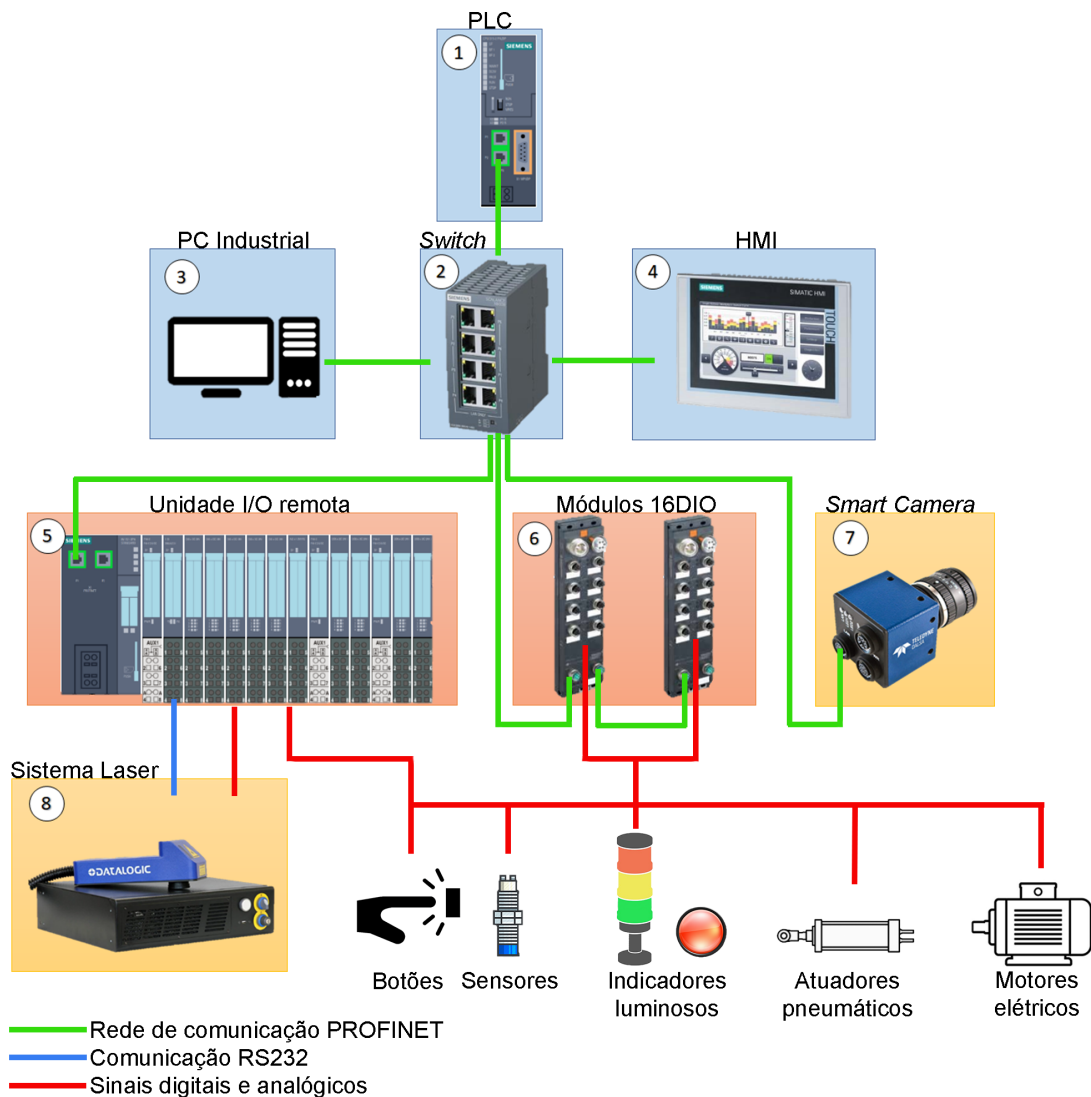


Figura 4.5: Esquema de implementação do sistema de controlo da máquina

2. *Switch* de *Ethernet* Industrial, modelo SCALANCE XB008 também da Siemens, possui 8 portas e é onde a rede PROFINET é distribuída do PLC para os diversos dispositivos.
3. PC Industrial da Siemens com certificações que garantem o bom desempenho em ambiente industrial, este dispositivo está sempre em comunicação com o PLC, de forma a receber dados por parte deste para realizar a rastreabilidade das coroas. Adicionalmente, foi instalada uma *Uninterruptible Power Supply* (UPS) para garantir a fiabilidade em guardar os dados mesmo em falha de energia elétrica.
4. Este componente é uma consola de diálogo KP700 Comfort da Siemens com funções de *Human-Machine Interface* (HMI). A HMI permite aos utilizadores serem guiados e serem alertados de eventos e de mal funcionamentos que ocorram durante o processo produtivo da máquina, assim como também aceder a determinadas con-

figurações do equipamento, verificar o estado dos sensores e movimentar os diversos elementos móveis (como cilindros pneumáticos e motores elétricos) para realizar a manutenção da máquina.

5. Este conjunto de componentes é uma unidade *Input and Output* (I/O) remota. Uma unidade I/O remota tem uma configuração de duas extremidades: uma onde podem ser instalados módulos de entradas e saídas digitais e/ou analógicas e também de comunicação; e a outra extremidade é de comunicação com o PLC. Normalmente, o uso de uma unidade remota serve para minimizar a complexidade de cablagem de todos os sensores e atuadores até ao quadro elétrico. Porém, o motivo da aplicação duma unidade I/O remota para esta máquina não se residiu na complexidade da cablagem dos diversos sensores e atuadores até ao quadro elétrico (até porque esta unidade ficou no quadro elétrico junto ao PLC), mas sim porque, dada a diversidade de módulos que eram necessários para o cumprimento de todas as funções do equipamento, era mais favorável economicamente do que utilizar módulos de entradas e saídas diretamente no controlador.

Para este efeito, aplicaram-se um ET200S com módulo de interface para PROFINET (IM 151-3 PN ST), 3 módulos de alimentação para individualizar a alimentação elétrica dos *inputs* e dos *outputs* nas diversas cadeias de segurança da máquina, 1 módulo de comunicação RS232 para efetuar a comunicação entre o controlador do sistema laser e o PLC, 5 módulos de 8 entradas digitais, 1 módulo de 2 entradas analógicas e 4 módulos de saídas digitais.

6. Estes dispositivos são módulos de 16DIO (podem-se configurar individualmente 16 portas como entradas ou saídas digitais), são compactos e possuem certificação IP67 o que permite a distribuição destes módulos diretamente pela máquina, reduzindo também a complexidade de cablagem dos sensores e atuadores. Além do mais, possuem duas entradas de alimentação elétrica, uma para alimentar o módulo em si e também os *inputs* (sensores), e a outra para alimentar os *outputs* (atuadores), o que permite individualizar a alimentação elétrica dos atuadores com a alimentação proveniente das cadeias de segurança da máquina. Adicionalmente, comunicam através do protocolo de comunicação PROFINET, sendo compatíveis com a rede instalada na máquina. Internamente, têm um *switch* que possibilita a instalação da rede de comunicação em série destes módulos, tal como foi esquematizado na figura 4.5.

A referência destes módulos é 980 ESL 700 da Lumberg, e foram instalados na máquina duas unidades.

7. Câmara inteligente (*smart camera*) *Boa Pro* da Teledyne Dalsa (BVS50-1280M-SH), é muito compacta (44x44x56mm), tem um sensor com uma resolução de 1280x960 pixels tendo cada pixel 3,7 μm , é monocromática, possui vários protocolos de comunicação de *Ethernet* Industrial (nomeadamente PROFINET) e ainda 4 I/O (2 entradas e 2 saídas digitais). Além disto, esta câmara possui processador interno que corre um *software* de visão artificial embutido, o Sherlock Embedded, tornando-se num sistema completo de visão artificial, sem necessitar de outros recursos computacionais. A lente selecionada para esta câmara foi uma M2518-MPW2 da Computar, tem uma abertura de f/1.8, distância focal de 25mm e distorção muito reduzida.

8. O sistema laser escolhido foi um Arex 50W da Datalogic (AREX 1300-1442 Fiber IR System). Este sistema de marcação laser tem uma fonte laser baseada na tecnologia de estado-sólido de fibra ótica, o que garante grande estabilidade, grande resolução de marcação e um tempo de vida do sistema extenso (tal como referido no capítulo 2.1.3.2). Este sistema de marcação emite um raio laser infravermelho de Classe 4, o que significa que radiação direta e até indireta (como a refletida em superfícies) pode provocar danos irreversíveis à visão e queimaduras na pele.

Este sistema possui um controlador e uma cabeça de marcação compacta que o torna fácil de integrar num sistema integrador (como é o caso da máquina referida neste capítulo). No controlador do sistema laser existe um conector de segurança de categoria 3 designado por INTERLOCK, em duplo canal para corte da fonte laser do sistema, e ainda um conector DB25 com entradas e saídas digitais para o comando e controlo deste sistema. Neste conector existem ainda dois canais de segurança adicionais designados por ENABLE, sendo esta segurança apenas de categoria B.

Adicionalmente, este sistema tem como características de operação 50 W de potência média, velocidade de marcação até 2000 mm/s, tem dois laser vermelhos de Classe 2 (inofensivos para a saúde humana) para regular a altura da cabeça de marcação em relação à superfície da peça através de um ponto de foco, e também para mostrar os limites de marcação.

O trabalho executado pelo estagiário no âmbito deste projeto consistiu na programação de algumas etapas e verificações do ciclo automático do programa do autómato e também de algumas páginas da interface gráfica da consola de diálogo HMI. Adicionalmente, o estagiário participou na implementação do sistema laser e do sistema de visão, onde realizou os testes de marcação para validar os parâmetros do laser para os diversos documentos e forneceu assistência no estudo da melhor posição e orientação da iluminação e na elaboração da subrotina da deteção do código alfanumérico para o sistema de visão.

4.3 Projeto elétrico

4.3.1 Segurança da máquina

Na fase do projeto mecânico, a equipa da Atena evitou maior parte dos riscos inerentes à utilização do sistema laser ao envolver o posto de marcação por materiais completamente opacos e de baixa refletividade. Porém, para efeitos de manutenção, foi necessário colocar uma porta para facilitar essa tarefa. Pelo mesmo motivo, foi colocada outra porta no posto de medição. Adicionalmente, a operação de carga e descarga de peças no gabarito da mesa rotativa, coloca o operador em elevado risco, sujeitando-o a perigos relacionados ao movimento da mesa rotativa.

Para reduzir os riscos mencionados, foram colocados dois fechos de segurança em cada porta e barreiras imateriais no posto de carga que são monitorizados, cada um, por um relé de segurança PNOZ s4 da Pilz. Além disso, implementou-se uma paragem de emergência, colocando um botão bem identificado com dois contactos normalmente fechados nos canais de monitorização do fecho de segurança da porta do posto de medição. O fecho da porta do posto de marcação possui um mecanismo de encravamento que é

acionado pelo PLC, permitindo o acesso apenas quando estão reunidas as condições de segurança no posto de marcação.

Desta forma, podem-se considerar duas cadeia de segurança: a geral que contempla as partes de segurança relacionadas com a abertura das portas e o acionamento da paragem de emergência cuja finalidade é parar todos os elementos móveis, e a das barreiras imateriais que interrompe apenas a alimentação do acionamento da mesa rotativa. No anexo B.1, é detalhado o princípio de funcionamento destes dispositivos de segurança e como estes são integrados no sistema de controlo da máquina.

Para garantir a inibição da fonte laser do sistema de marcação, o *output* da cadeia de segurança geral da máquina foi interligado à segurança do controlador laser (INTER-LOCK e ENABLE) para que este corte a alimentação elétrica da fonte laser de imediato quando as portas são abertas ou quando a paragem de emergência é acionada.

4.3.2 Esquema elétrico

Definidos todos os dispositivos necessários para o funcionamento da máquina, prosseguiu-se para o esquema elétrico. Na elaboração do esquema elétrico, toda a distribuição elétrica de potência e de comando para todos os dispositivos foi esquematizada de modo a que a montagem elétrica da máquina desenrolasse de forma simples, rápida e rigorosa. As páginas de esquema elétrico apresentadas no anexo A incluem a integração do sistema de marcação laser.

4.4 Implementação (programação)

4.4.1 Controlador

A configuração da comunicação e a programação do PLC foram realizadas no *software* STEP 7 da Siemens. Na figura 4.6 é representada a configuração da rede de comunicação PROFINET entre o PLC e a unidade remota ET200S, os dois módulos de 16DIO e a *smart camera*. Para estes últimos dispositivos, foi necessário importar os respetivos ficheiros *General Station Description* (GSD) fornecidos pelos fabricantes. Um ficheiro GSD contém informação relativa à identificação do fabricante e do próprio dispositivo, configurações, diagnóstico e alarmes, essenciais para a sua integração na comunicação com o controlador.

Após estabelecer as ligações entre os diversos dispositivos, finalizou-se a configuração de cada dispositivo, com a atribuição do nome do dispositivo PROFINET, do endereço *Internet Protocol* (IP) e dos endereços (memórias) que cada dispositivo escreve e lê no PLC.

No desenvolvimento do programa de controlo, foi usado o bloco cíclico principal *Organization Block* (OB) 1, onde são chamadas todas as *Function* (FC). Várias FC foram implementadas, cada uma para cada função de execução do PLC (estado geral do equipamento, interação com a HMI, modos de operação, comunicação com a câmara, etc.). Para uma maior organização do programa, a cada FC foi associada uma *Data Block* (DB) com o mesmo nome/número onde são armazenadas as variáveis manipuladas pela FC associada e também por outras (figura 4.7). Na programação das funções, foram utilizadas duas linguagens, LAD (*Ladder*) e STL (*Statement List*).

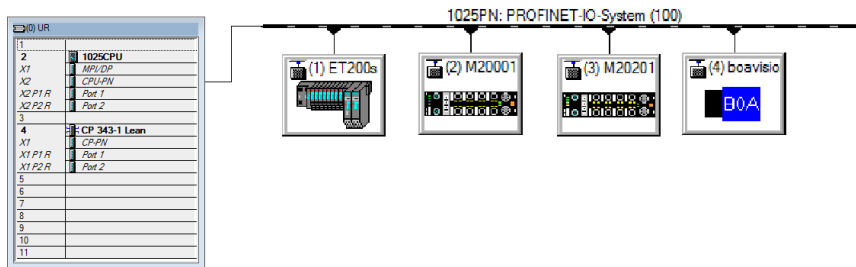


Figura 4.6: STEP 7 - configuração da rede PROFINET

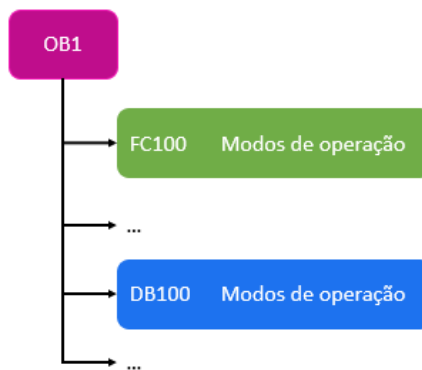


Figura 4.7: Organização do programa

O programa é constituído essencialmente por 4 partes: modo manual, para se mover os elementos móveis individualmente durante as tarefas de manutenção e para calibrar os sensores analógicos; alarmes e diagnóstico, para fazer a monitorização do estado geral da máquina e do processo; configurações, para definir os parâmetros de controlo das diversidades; e ainda o modo automático onde é efetuado todo o processo contínuo do equipamento. O ciclo automático é detalhado mais adiante na secção 4.4.6.

4.4.2 Interfaces homem-máquina

Para que o operador possa supervisionar, configurar e interagir com a máquina de forma intuitiva, foram implementados um painel de controlo com botões e sinais luminosos juntamente com a consola HMI, uma coluna luminosa no topo da máquina e um indicador luminoso no posto de carga.

A consola HMI TP700 Comfort foi programada no *software* TIA Portal. A configuração da ligação ao PLC foi simples (figura 4.8), bastando adicionar um dispositivo *proxi*, associar o ficheiro do programa PLC a este e, por fim, estabelecer a comunicação PROFINET entre o PLC e a consola, configurando também o nome e IP desta. Assim, todas as variáveis do autómato ficam disponíveis no programa da consola.

Depois de configurada, implementaram-se várias páginas que permitem: mostrar a informação relevante ao operador durante o ciclo automático; a configuração do equi-

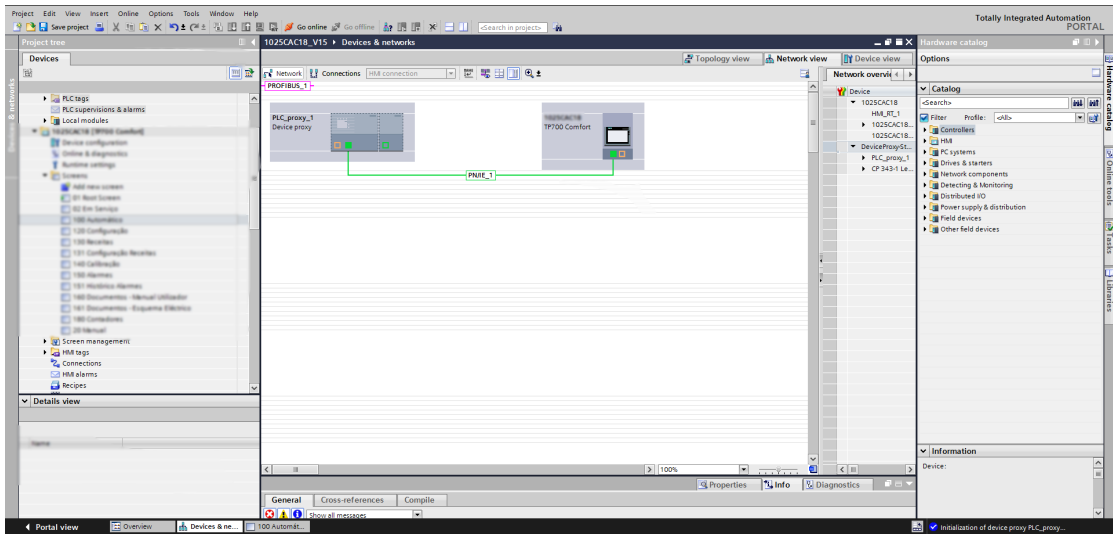


Figura 4.8: TIA Portal - configuração da rede PROFINET entre o PLC e a consola TP700 Comfort

pamento em geral (como por exemplo a configuração das horas e dos utilizadores com diferentes níveis de acesso às diversas páginas); a configuração da diversidade que o operador vai executar no equipamento; visualizar alarmes ativos e o histórico de alarmes; mover os elementos móveis do equipamento no modo manual e efetuar a calibração dos sensores analógicos.

Na figura 4.9 é representado o desenvolvimento da página do modo automático do equipamento. Para todas as páginas desenvolvidas, cada objeto ou elemento (caixas de texto, botões, etc.) que é colocado nas páginas, é lhe associada uma variável, que por sua vez está endereçada a outra do PLC. Desta forma, por exemplo, texto é mostrado nos objetos da consola a partir do PLC ou é alterada uma variável (que pode executar uma determinada função do equipamento) a partir do clique de um botão.

No anexo B.2 são ilustrados e descritos os vários dispositivos referidos que fazem interface da máquina com o utilizador e também as páginas criadas para a consola de diálogo.

4.4.3 Sistema Laser

O sistema laser possui dois softwares: Lighter e o Laser Engine. O primeiro permite gravar informação nos produtos como códigos de barras e códigos 2D, texto, gráficos e logótipos. É neste software que se edita a disposição gráfica dos elementos a gravar, define-se parâmetros do sistema laser e desenvolvem-se procedimentos automáticos e programas através da linguagem de programação do Lighter (ECMAScript). O *software* Laser Engine inicia automaticamente no arranque do sistema e é responsável por controlar o sistema de marcação, em que faz a monitorização do estado do sistema, carrega um documento guardado, permite a visualização dos limites de marcação e da pré-visualização da marcação, e realiza a marcação laser propriamente dita. No Lighter, existem comandos de marcação e de visualização de limites que funcionam como interface de comando do Laser Engine. Desta forma, o desenvolvimento de um documento

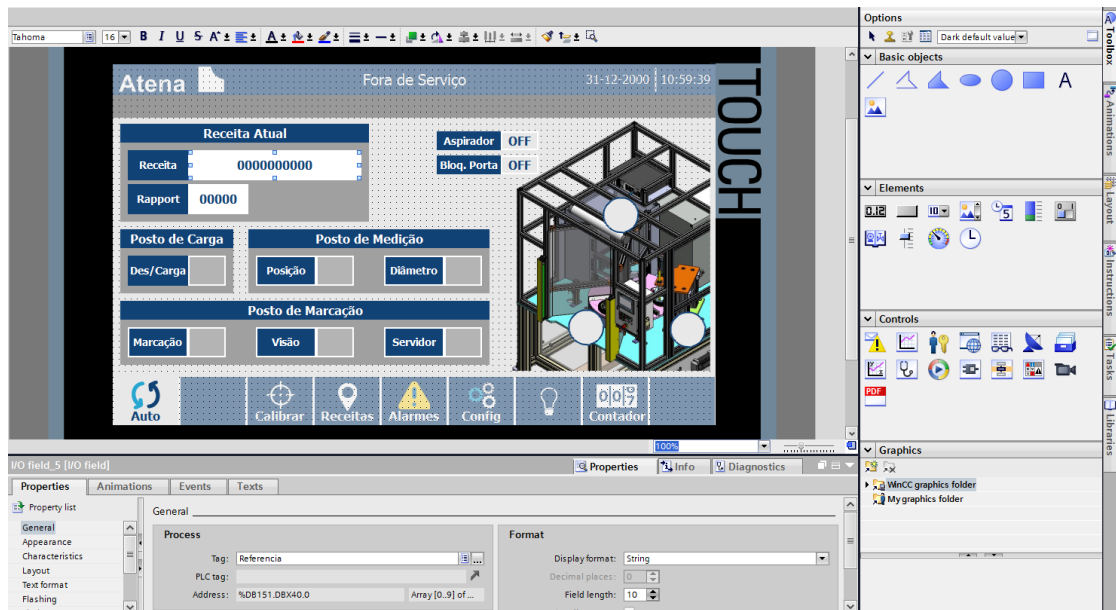


Figura 4.9: Página do ciclo automático da HMI

e execução de testes de marcação torna-se mais simples e rápido, sem a necessidade de comutar entre *softwares*.

Para a realização da marcação do código DataMatrix nas coroas, foram desenvolvidos dois tipos de documentos: um com o código DM e um texto que o acompanha, e outro com a área de marcação igual à do código com o propósito de efetuar uma limpeza, para o caso de ser necessário realizar uma regravação do código. Ou seja, se o sistema de visão detetar a qualidade má da gravação ou o código lido não corresponder à informação enviada pelo PLC, uma limpeza da área de gravação tem que ser feita para depois ser realizada uma nova ordem de gravação no mesmo local da coroa. O desenvolvimento dos documentos com os objetos para gravação foi feito no Lighter (figura 4.10).

No documento para marcação do DataMatrix, foram adicionados dois objetos que compõem o código: um retângulo com o fim de se marcar uma área branca (fundo) e, na mesma localização, um objeto do tipo código, parametrizado como DataMatrix. Ao lado dos objetos que compõem o código, foi adicionado outro objeto de texto, composto por uma letra, que identifica o tipo de diversidade, e pelo *rapport*. No documento para limpeza, apenas foi mantido o retângulo para marcação.

Os parâmetros principais e as mais importantes dos diversos objetos são:

- Geometria
 - ID — identificação alfanumérica que identifica o objeto no documento.
 - Enable* — habilitar ou desabilitar a gravação do objeto.
 - Posição — coordenadas X e Y do objeto na área de marcação do sistema laser, em mm.
 - Dimensões — comprimento e altura do objeto, em mm.
 - Ângulo — ângulo de rotação do objeto, em graus, na área de marcação.
 - Escala — escala do objeto em cada dimensão, em percentagem.

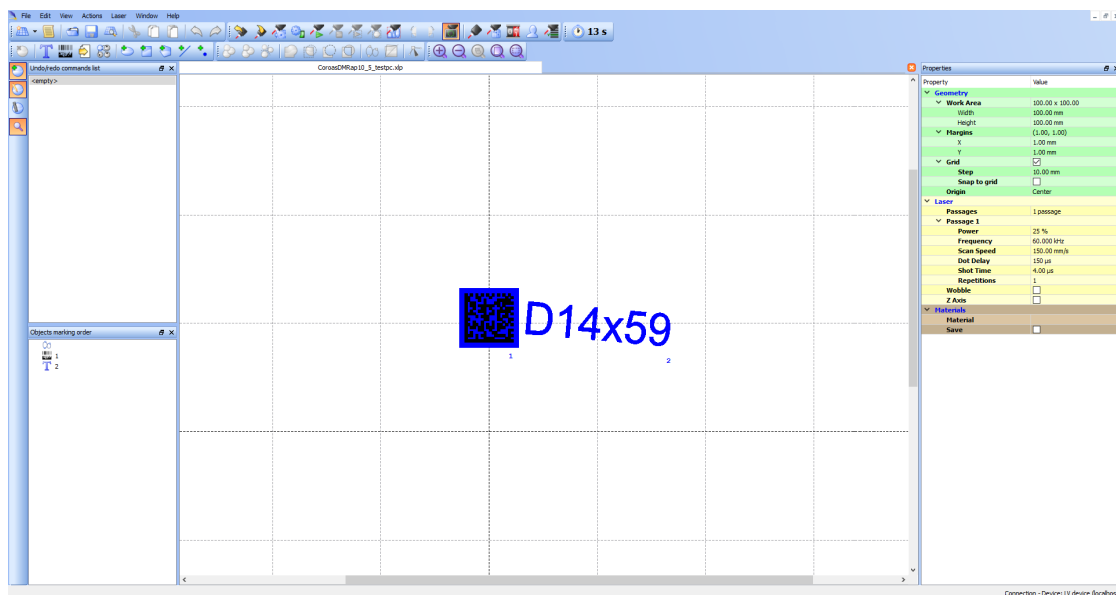


Figura 4.10: *Lighter* - ambiente de desenvolvimento de documentos para gravação

- Preenchimento

- Filling* — forma como o laser faz a marcação: *single line* (linhas paralelas numa só direção), *cross lines* (inclinação das linhas em 0° e 90°); *triple lines* (inclinação das linhas será em 0°, 60° e 120°), entre outras opções dedicadas a marcações mais específicas.
- Interline* — espaçamento entre linhas, em mm.
- Ângulo — direção das linhas paralelas de gravação, em graus: 0° a gravação faz-se da esquerda para a direita, a 90° de baixo para cima e a 180° da direita para a esquerda.
- Avançadas:
 - * Direção — bidirecional ou unidirecional (conforme o ângulo escolhido, começa nessa direção e sentido e retorna no sentido oposto, ou executa apenas num sentido, respetivamente).
 - * Opção de contorno — sem contorno, preenchimento primeiro (o sistema laser preenche primeiro e depois marca o contorno do objeto) ou contorno primeiro (o oposto da opção anterior).
 - * Tolerância — distância entre o contorno e as linhas de preenchimento, em mm.
 - * Preenchimento por: objeto ou por polígono (por exemplo, um objeto que é composto por texto, todos os caracteres são marcados ao mesmo tempo caso a opção objeto seja selecionada, caso seja a de polígono, cada carácter é marcado individualmente). A opção polígono atinge tempos de marcação menores, o que é mais indicado para ambientes industriais.

- Parâmetros personalizados do laser:

- Passagens — número de vezes que o laser executa o objeto e pode-se escolher entre 1 a 3 passagens, podendo parametrizar cada uma independentemente.
- Para cada passagem:
 - * Potência — percentagem da potência do laser utilizada na passagem.
 - * Frequência — número de pulsos por segundo, em kHz, que o sistema emite o raio laser.
 - * Velocidade de digitalização — velocidade de marcação, em mm/s. Quanto mais baixa a velocidade, mais profunda é a gravação.
 - * Tempo de disparo — tempo de duração em que o raio laser está ativo em cada pulso, em μ s.
 - * Repetições — número de vezes que a passagem é executada.

Relativamente ao objeto de código, este possui outras configurações específicas. Dentro dessas configurações, foi definido, além do tipo de código (DataMatrix), um tamanho de 18 x 18 módulos com 0,50mm cada.

Quanto à geometria, foi atribuído um ID para todos os objetos, exceto para o fundo. A posição na área de marcação de cada objeto e o ângulo para o texto que segue o código foi um processo iterativo, pois foi necessário colocar uma coroa na posição de marcação e, através do comando de mostrar os limites de marcação, verificar se os limites se situavam corretamente na face de marcação da coroa. Adicionalmente, foi atribuído uma dimensão de 11 x 11mm para o retângulo (fundo do DataMatrix), para se obter uma margem para de, pelo menos, a largura de um módulo de acordo com a norma ISO/IEC 16022, que define as características de construção de códigos DataMatrix.

4.4.3.1 Ajuste das configurações do sistema laser

O ajuste das propriedades de preenchimento e dos parâmetros personalizados do laser foi igualmente um processo iterativo, onde várias combinações de parâmetros foram testadas até se obter o melhor resultado. Como referido anteriormente, o sistema laser tem que efetuar uma marcação e, se o resultado obtido pela visão não for satisfatório ou for contraditório, este tem que ser capaz de limpar a área e regravar o código. Assim, o processo de testes consistiu em três etapas: primeiro, obteve-se uma gravação primária com ótimo contraste e sem sinais de “queimadura” na zona marcada e nos contornos dos objetos (figura 4.11a); após a obtenção dos parâmetros otimizados na primeira fase, gravou-se o código e, de imediato, efetuou-se a limpeza do mesmo, até se obter uma superfície branca, lisa, sem vestígios de código, e a área e contornos sem aspeto de queimado (figura 4.11b); por fim, na terceira etapa, realizaram-se as gravações do DataMatrix e da limpeza com os parâmetros otimizados, e gravou-se novamente o código na mesma área, de forma a confirmar se os parâmetros da marcação primária eram eficazes na regravação (figura 4.11c).

As combinações dos parâmetros utilizados nos testes consistiram em alterações no tipo de preenchimento, no número de passagens, potência (percentagem), frequência, velocidade de marcação, e também no *interline*. As configurações obtidas encontram-se no anexo B.2.3.



Figura 4.11: Testes de gravação para se obter os parâmetros ideais da aplicação laser

4.4.3.2 Automatização do processo

O *software* Lighter permite criar *scripts* de forma a tornar o processo de marcação flexível. Assim, criou-se um programa onde é configurada e estabelecida a comunicação RS232. Quando o PLC envia uma mensagem e, por intermédio de saídas digitais, ativa a entrada START MARKING do controlador do laser, o programa abre internamente o documento respetivo ao tipo de gravação (código ou limpeza), modifica a informação a codificar no DataMatrix e do texto que o acompanha, através dos ID dos respetivos objetos. Após esta preparação de informação, o controlador do sistema laser executa o processo de marcação, ativando a saída digital BUSY. Quando a gravação é terminada, esta saída digital é desativada e a END fica ativa durante 100ms. Na figura 4.12 é ilustrado um fluxograma do procedimento do sistema laser.

4.4.4 Sistema de visão

Como referido na secção 4.2, a tarefa de verificação do código alfanumérico e a leitura e avaliação da qualidade do DataMatrix é realizado pela *smart camera*. Nesta corre o *software* Sherlock Embedded que permite elaborar programas para aquisição de imagem e análise de visão artificial. Também é através deste *software* que são lidas as variáveis de comunicação PROFINET entre o PLC e a câmara.

4.4.4.1 Configuração da câmara e da iluminação

Antes de se iniciar a elaboração dos programas de análise de imagem, foi necessário implementar uma iluminação adequada para se obter uma imagem com bom contraste entre os vários elementos a detetar. A iluminação escolhida foi uma luz LED vermelha difusa, o que permite obter imagens com bom contraste por baixo custo, boa eficiência energética e reduzido tamanho. Aliada a um filtro BP635 passa-faixa vermelho, colocado na lente da câmara, garante-se a pouca influência da luz ambiente na imagem adquirida, onde toda a gama do espectro luminoso, exceto na faixa entre 615 - 645nm, é bloqueado. Isto permite proteger também a câmara dos raios infravermelhos emitidos pelo sistema de marcação laser. O processo de colocação da iluminação foi iterativo, pois foi necessário

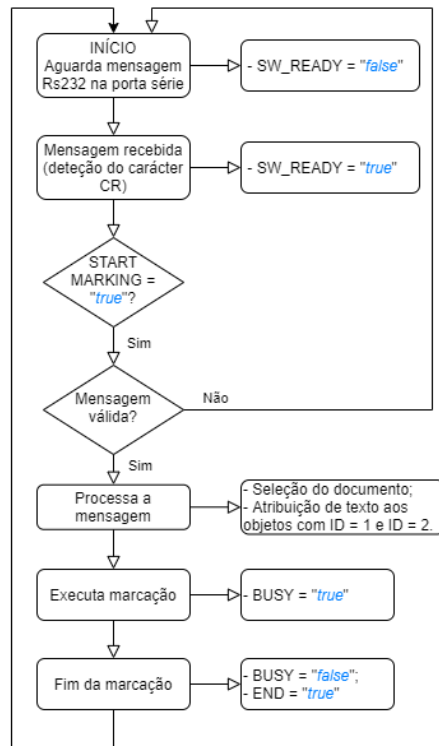


Figura 4.12: Procedimento estabelecido no sistema laser

orientar a direção da luz dentro das limitações espaciais do posto de marcação, de forma a que fosse criado um bom contraste entre o código alfanumérico e a superfície da coroa, sem prejudicar a boa leitura do DataMatrix. Adicionalmente, foi necessário colocar a câmara de forma a que o campo de visão centrasse a zona de marcação e incluísse a extensão necessária do código alfanumérico, tentando obter a maior verticalidade do sistema possível. A abertura e a focagem da lente foram ajustadas de modo a se obter uma imagem nítida e com brilho uniforme, evitando zonas com alta refletividade de luz.

A figura 4.13 mostra a disposição do sistema de visão com a cabeça de marcação laser.

4.4.4.2 Programa de análise de imagem

O programa desenvolvido no *software* Sherlock Embedded, embutido na câmara, está dividido em três partes: a da verificação de existência do código alfanumérico, a de leitura do DataMatrix e teste de qualidade da marcação, e uma terceira de comunicação com o PLC, onde são chamadas as sub-rotinas referentes a cada uma das duas verificações.

Na sub-rotina da verificação do alfanumérico foi colocada uma *Region of Interest* (ROI) para se analisar apenas a zona de provável surgimento deste código. Aplicaram-se funções de binarização e morfologia de imagem inerentes do *software* para detetar grande parte dos caracteres que compõem o código alfanumérico.

Por outro lado, na sub-rotina do DataMatrix, aplicou-se também outra ROI de modo a analisar apenas a zona de marcação do código DataMatrix. Aqui aplicou-se o algoritmo *barcode_data_matrix*, definindo-se a norma AIM DPM para verificação da qualidade do

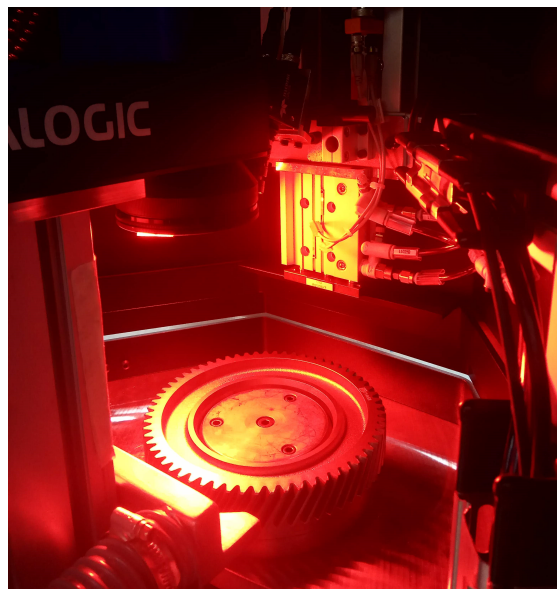


Figura 4.13: Sistema de visão artificial no posto de marcação

mesmo, uma vez que se trata de um código marcado diretamente na peça (ver secção 2.1.5).

Por fim, o programa principal do sistema de visão realiza a comunicação com o PLC via PROFINET, lendo no módulo *Output* e escrevendo informação no módulo *Input* (estes módulos são zonas de memória configurada no PLC para comunicação com a câmara). Esta tarefa é conseguida através das instruções *profinet_read_str* e *profinet_write_str* do grupo *IO:Profinet*.

Na figura 4.14 é mostrado o ambiente de programação do Sherlock Embedded com um exemplo de cada deteção.

O programa executa a leitura periódica do módulo *Output* até o envio da ordem do autómato, que também envia o número do programa pretendido (verificar alfanumérico ou ler DataMatrix e analisar a qualidade de marcação). Na figura 4.15 é ilustrado o diagrama temporal da comunicação entre o PLC e a *smart camera*. Quando é detetado o envio de uma ordem do PLC (“PLC Trig”), a câmara devolve outra variável binária com valor verdadeiro para o módulo *Input*, indicando que recebeu o evento e que começou a executar as verificações (“CAM ACK”). Após finalizar a tarefa, esta envia, além da indicação de que já terminou (“CAM Trig”), os resultados das análises: no caso da verificação do alfanumérico, indica se existe ou não código; e para a outra situação, envia se encontrou ou não um código DataMatrix, e caso tenha encontrado envia também o texto que este codifica e o grau de qualidade avaliado (de 0 a 4). Por fim, o PLC deixa de enviar a ordem e a câmara, após reconhecer que o ciclo de processamento terminou, faz *reset* às restantes variáveis.

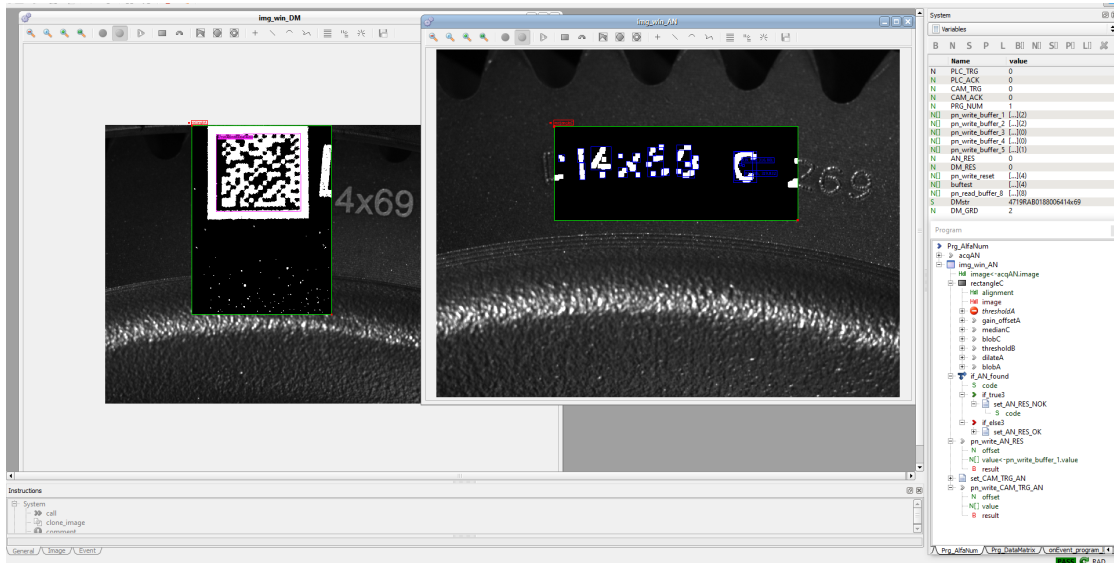


Figura 4.14: Sherlock Embedded – ambiente de desenvolvimento e deteção dos códigos alfanumérico e DataMatrix

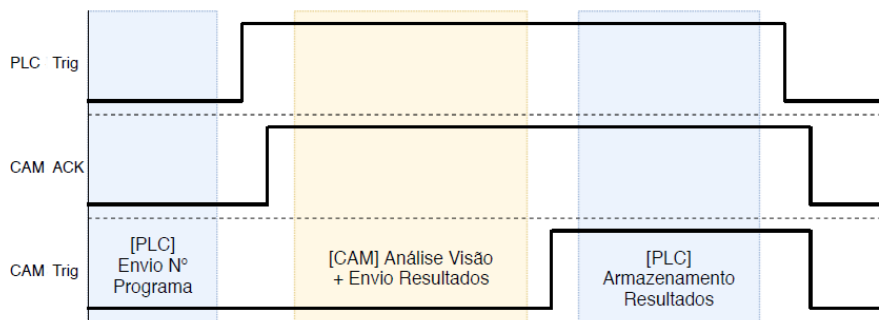


Figura 4.15: Diagrama temporal da comunicação entre a câmara e o PLC

4.4.5 Aplicação

A aplicação desenvolvida tem o propósito de guardar os resultados obtidos durante o processo da máquina numa base de dados. Esta é dividida em três partes: a interface de comunicação com o PLC, a interação com a base de dados e a interface gráfica.

4.4.5.1 Interface de comunicação

No programa do autómato foi definida uma DB para o envio de dados entre PC e PLC. Além dos dados com o fim de serem guardados na base de dados, implementaram-se outras variáveis, de carácter binário, para sinalizar eventos entre os dois elementos de comunicação. Estas variáveis foram designadas por “*PLC_Start*”, “*PLC_StartACK*” e “*PC_Job*”.

Quando as tarefas de marcação e validação são concluídas no posto de carga, o PLC coloca os dados na DB e ativa a variável “*PLC_Start*” para sinalizar à aplicação que pode iniciar a execução de tarefas. A aplicação depois de detetar o valor lógico verdadeiro

dessa variável, retorna o valor verdadeiro de “*PLC_StartACK*”, indicando ao autómato que reconheceu a ordem e que iniciou a tarefa. Após finalizar a introdução de dados na base de dados, a aplicação envia o valor verdadeiro de “*PC_Job*”. O PLC deteta a finalização de tarefas da aplicação e coloca a variável de ordem a “0”. Por fim, a aplicação faz *reset* às suas variáveis de forma a reunir todas as condições para um novo ciclo.

Na figura 4.16 está representado um cronograma do estado das variáveis de comunicação entre o PLC e a aplicação. A zona azul refere-se ao período de preparação de dados por parte do autómato, e a amarela refere-se à execução de tarefas da aplicação.

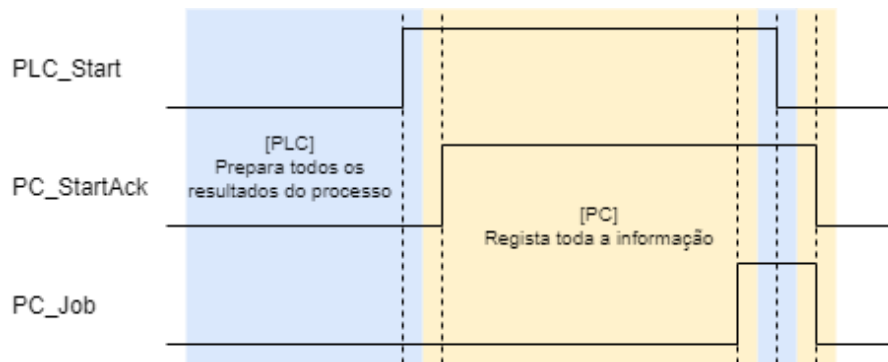


Figura 4.16: Diagrama temporal da comunicação entre PC e PLC

4.4.5.2 Base de dados

O desenvolvimento da base de dados foi realizado através do *software* SQL Server 2017. Neste foi criada uma tabela para registo dos dados de cada coroa e, durante a execução das tarefas, são feitos pedidos ao gestor de base de dados de acordo com a linguagem *Structured Query Language* (SQL).

A tabela definida consiste principalmente nos seguintes atributos: data e hora da introdução de dados na base de dados, referência da coroa, o *rapport*, o valor da medição da posição, o valor da medição do diâmetro externo, o código DataMatrix gravado, o código DataMatrix lido, e a qualidade de gravação.

4.4.5.3 Interface gráfica

A aplicação possui um menu lateral para acesso das páginas “Geral” e “Configurações”, além de permitir o *login* ou *log off* no sistema de autenticação da aplicação, e de sair da aplicação em si.

A página “Geral”, que é ilustrada na figura 4.17, mostra o turno ativo, possui comandos para pesquisar na base de dados através do tempo de registos e ilustra-os na tabela central da página, mostra também os dados da última coroa trabalhada na máquina e faz a contagem de peças conformes (“OK”) e de não conformes (“NOK”). Também tem uma caixa de texto dinâmica que mostra os eventos principais da aplicação, como por exemplo falhas na comunicação com o autómato ou exportações realizadas.

A página “Configurações” permite parametrizar alguns campos para a exportação automática de dados, entre outras definições.

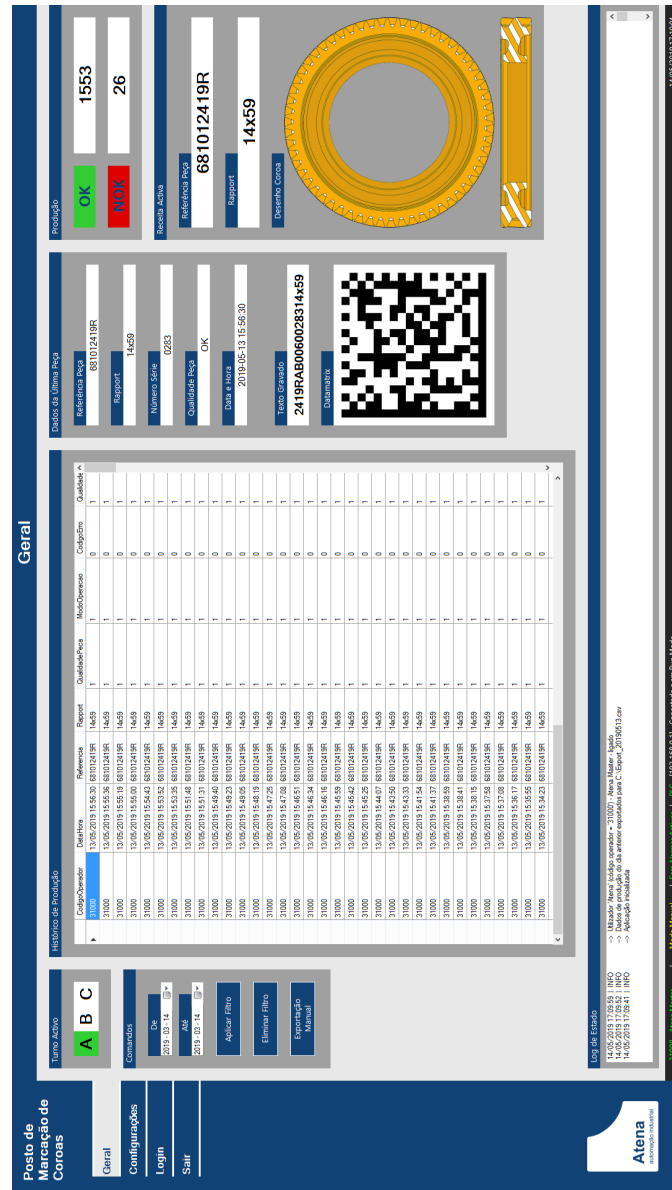


Figura 4.17: Página principal “Geral” da aplicação de rastreabilidade de correas

4.4.6 Integração dos diversos sistemas – Modo automático

Quando o equipamento se encontra no modo de operação automático, sinais digitais e analógicos e informação são transmitidos entre os vários sensores e atuadores, a *smart camera* e o sistema laser. O processo da máquina como integrante destes dispositivos é controlado pelo PLC e as etapas de execução de tarefas do equipamento são representadas na figura 4.18.

Além disto, é exigida uma configuração prévia, nomeadamente a seleção da diversidade que se vai trabalhar. A seleção da diversidade faz-se exclusivamente na consola HMI. Também é necessário efetuar o ciclo origem do equipamento, caso o “zero-máquina” não seja verificado, de modo a garantir as condições iniciais de todos os elementos móveis.

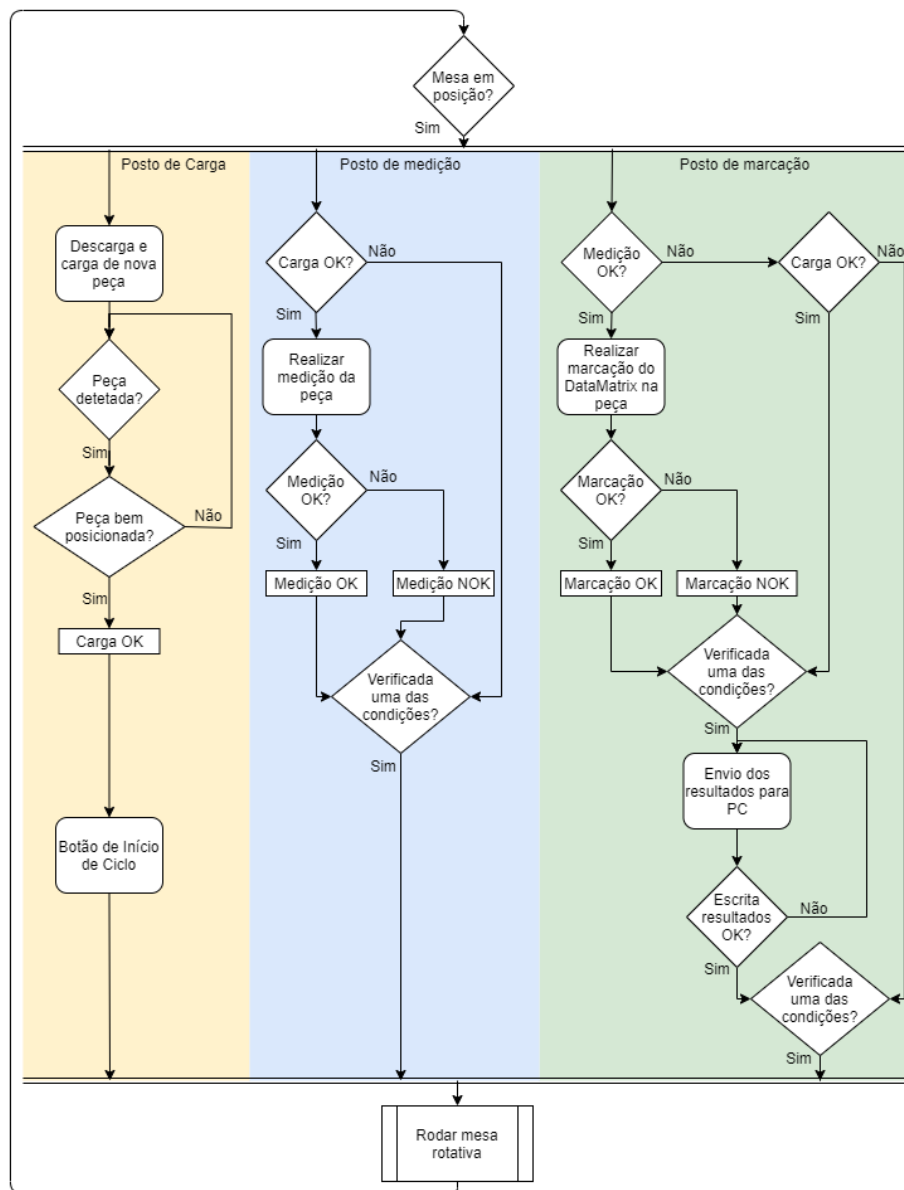


Figura 4.18: Fluxograma da execução de tarefas durante o ciclo automático

Durante o ciclo contínuo, sempre que a mesa rotativa se move e atinge a sua posição correta (determinada pelo estado ativo de um sensor existente no mecanismo de rotação da mesa), a execução de tarefas inicia nos postos de carga, medição e marcação laser. Apenas quando todos os postos acabam as respetivas tarefas, uma nova ordem para rodar a mesa é dada e, desta forma, as coroas seguem para o posto seguinte.

4.4.6.1 Posto de carga

Uma peça que tenha sido trabalhada é descarregada pelo operador. Sucessivamente, uma nova peça pode ser carregada por este. Se for verificada a presença da peça e a boa colocação desta (a presença e o bom posicionamento no gabarito da mesa rotativa

são determinados pelos sinais de dois sensores fotoelétricos) a memória de “Carga OK” é ativada. Por outro lado, também é permitido avançar o ciclo no posto de carga sem peça, por uma necessidade de vaziar as peças que se encontram nos outros postos de trabalho do equipamento.

Após a execução de tarefas do operador, este pressiona um botão, que tem como funções, além de indicar ao controlador a validação do processo, o rearme do relé de segurança de controlo das barreiras imateriais, assegurando a segurança do operador. Adicionalmente, caso se verifique o estado verdadeiro da memória “Carga OK” ou a não presença de peça, o ciclo automático aguarda o fim da execução de todas as tarefas nos outros postos de trabalho.

4.4.6.2 Posto de medição

Se existir peça, a medição inicia. É ativado o atuador de um cilindro pneumático vertical e, quando este alcança o fim de curso, é ativado o atuador de outro cilindro pneumático horizontal. Cada cilindro possui dois sensores analógicos que mandam sinais entre os 4 e os 20mA para a carta analógica do ET200S. O sinal de cada sensor é então convertido em unidades métricas, na ordem dos *mm*, e comparado com as parametrizações existentes para a referência ativa. Se se verificar que os valores convertidos de ambos os sensores se encontram no respetivo intervalo configurado na referência trabalhada, a memória de “Medição OK” é ativada; caso contrário, é ativada a “Medição NOK”. A figura 4.19 mostra a posição inicial dos cilindros pneumáticos em relação à coroa e os respetivos sensores analógicos.

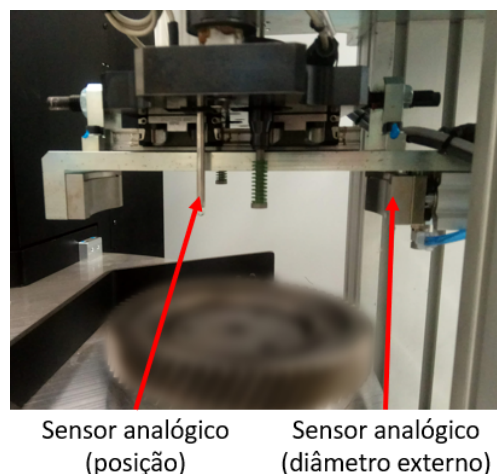


Figura 4.19: Posto de medição

4.4.6.3 Posto de marcação

Este é o posto onde as tarefas principais do equipamento são executadas. Quando chega uma coroa a este posto, são analisados os resultados dos postos anteriores. Se as memórias “CargaOK” e “MediçãoOK” estiverem ambas ativas, o PLC executa as seguintes ordens:

1. Envia um evento para a *smart camera* com a ordem para análise da existência do código alfanumérico.

2. Caso a câmara confirme a existência do código alfanumérico, o PLC atua o autorotor até que este rode 180°.
3. Manda mensagem RS232 para o controlador laser com a informação estruturada com o carácter CR no fim.
4. Ativa a entrada digital do controlador laser START MARKING.
5. Espera o fim da marcação.
6. Envia um evento para a *smart camera* com a ordem para leitura do código Data-Matrix.
7. Compara o DataMatrix lido pelo sistema de visão com a informação enviada anteriormente para o controlador laser.
8. Verificação da qualidade de marcação: se a qualidade de marcação for declarada com grau mínimo C e se a informação decodificada do DM corresponder à que foi enviada anteriormente para o sistema laser, a memória “Marcação OK” é ativada. Caso contrário, repete-se os passos 3 a 5 com a instrução de limpeza para o controlador laser e, nova e unicamente, efetuam-se os passos de 3 a 7. Se a verificação mesmo assim se mantiver inválida, é declarada “Marcação NOK”.
9. Envio da informação e do evento para o PC para guardar os dados. Se a aplicação responder que não foi possível guardar os dados, é efetuada uma nova tentativa. O reenvio da instrução repete-se apenas durante um tempo pré-definido. Se exceder o tempo, o PLC lança um alarme na consola de diálogo para que o operador possa diagnosticar o estado da aplicação.

A figura 4.20 ilustra a disposição espacial dos diversos dispositivos existentes no posto de marcação. O PC para a rastreabilidade do processo encontra-se num bastidor junto da máquina.

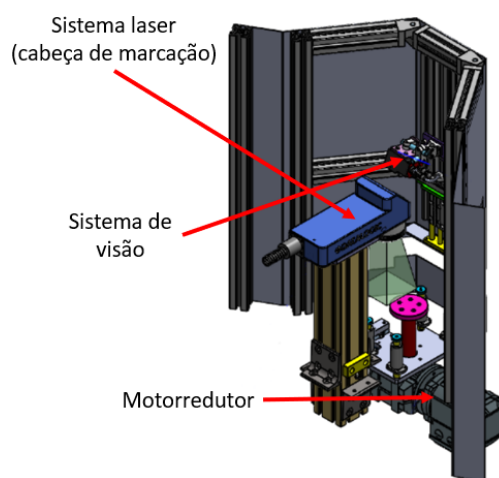


Figura 4.20: Posto de marcação

Capítulo 5

Caso de estudo 2 - Linha de magnetização e controlo de garfos

5.1 Apresentação

Este projeto trata-se de uma linha automatizada para a realização da magnetização e encapsulamento de ímanes dos garfos seletores da caixa de velocidades automática DQ381 que possui um tipo de transmissão designado por *Dual Clutch Transmission* (DCT).

Produto

Os garfos seletores têm 4 diversidades: 1/5, 2/6, 3/7 e a 4/R. Em cada garfo, independentemente da sua diversidade, tem marcado um código DataMatrix, duas peças ferromagnéticas – ímanes – (que são magnetizadas e tapadas com uma capa protetora) e quatro bases de plástico, cujas superfícies têm que ser analisadas por um sistema de visão artificial para detetar eventuais defeitos, como riscos, e até a ausência das bases de plástico (figura 5.1).

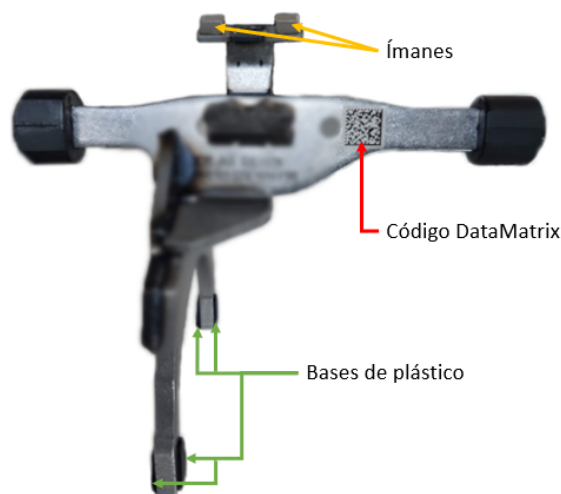


Figura 5.1: Características principais do garfo seletor.

Descrição do funcionamento geral da linha

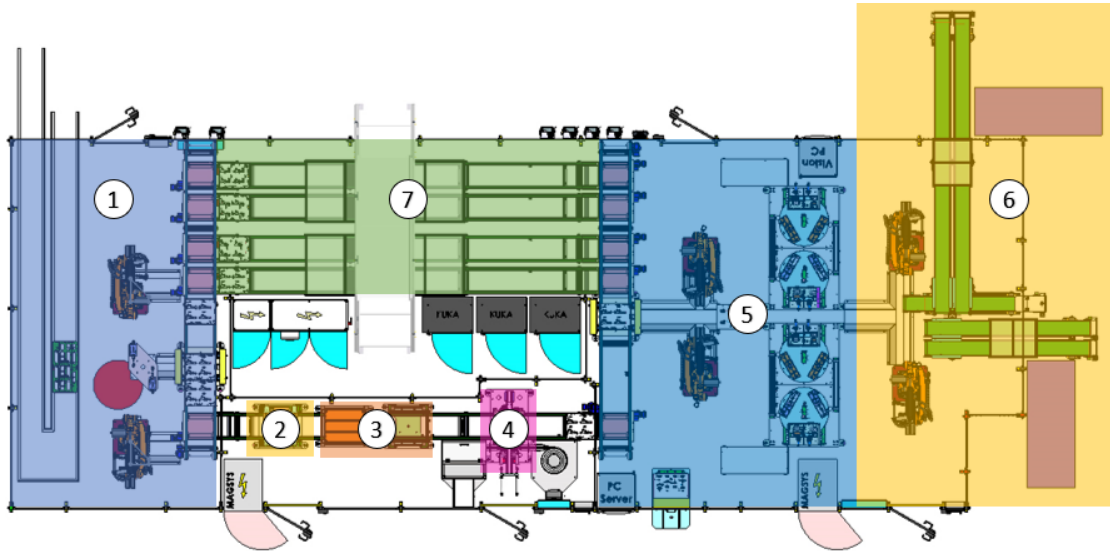


Figura 5.2: Planta da linha de magnetização

Na figura 5.2 é apresentada a planta da linha concebida pela Atena. Nesta podem-se identificar as diversas zonas dos postos de trabalho (numeradas de 1 a 7), as quais têm a seguinte sequência de operações:

1. **Célula robotizada de carga** — a paleta composta por 4 garfos de uma das diversidades chega a este posto e dois robôs (KUKA KR16) transferem os garfos para uma paleta que se encontra no transportador de carga da linha.
2. **Magnetização dos ímanes dos garfos** — neste posto, uma estação de magnetização injeta um pulso de alta tensão elétrica, magnetizando os garfos.
3. **Desmagnetização** — de forma a eliminar quaisquer resíduos magnéticos nos garfos (exceto nos seus ímanes), estes passam por duas estações de desmagnetização sucessivas.
4. **Montagem da capa protetora dos ímanes** — nesta etapa, dois sistemas mecânicos colocam uma capa protetora nos ímanes em cada garfo.
5. **Célula robotizada de controlo** — nesta zona existem dois postos de controlo visual e dois postos de controlo do processo, onde dois robôs (idênticos aos existentes na célula robotizada de carga) trabalham em paralelo, para minimizar o tempo de ciclo da linha.

Após cada garfo ser retirado da paleta, primeiro, este passa por um posto de controlo visual, onde é lido o código DataMatrix do garfo com recurso a um leitor 2D SR-1000 da Keyence e são analisados os defeitos nas bases plásticas por um sistema de visão artificial. Depois, são transferidos para o posto de controlo do processo. Este posto consiste numa mesa rotativa de três posições: uma para colocação dos garfos por estes robôs, a segunda para medir o campo magnético dos ímanes e verificar a posição da capa protetora, e a terceira para descarga dos garfos.

6. **Célula robotizada de descarga** — este é o último posto de trabalho da linha. A qualidade geral dos garfos é avaliada consoante a existência de defeitos nas bases plásticas, o valor do campo magnético dos ímanes e a posição detetada das capas protetoras. Caso os garfos tenham boa qualidade, outros dois robôs semelhantes retiram os garfos da mesa rotativa e colocam os garfos no tapete de descarga respetivo à sua diversidade; caso tenha sido verificado algum parâmetro fora dos limites aceitáveis de qualidade, o garfo é colocado no tapete das peças não conformes.
7. **Sistema de transferência de paletes** — quando os garfos são descarregados da paleta na célula de controlo, esta é transferida para o tapete que corresponde à diversidade de garfos que transporta, retornando ao transportador de carga, repetindo todo o ciclo novamente.

Nesta linha também foi implementado um servidor para monitorizar os vários postos de trabalho e guardar os resultados dos postos de controlo visual, de controlo do campo magnético e da posição das capas protetoras dos ímanes numa base de dados.

Dada a dimensão do projeto, nas próximas secções deste capítulo serão apenas detalhados os procedimentos na implementação do sistema de visão artificial, que foi o trabalho desenvolvido pelo estagiário no âmbito deste projeto.

5.2 Proposta de solução para o sistema de visão artificial

O sistema de visão artificial não realiza a rastreabilidade do produto na totalidade, mas as deteções efetuadas por este fazem parte da rastreabilidade integrante de toda a linha que é desempenhada pelo servidor.

Como referido, existem dois postos de controlo visual na zona de controlo da linha que funcionam em paralelo, mas são ambos controlados pelo mesmo sistema de visão artificial.

Na figura 5.3 está representada a arquitetura de comunicação implementada no sistema de visão. Os dispositivos aplicados são:

1. **PC Industrial** — computador industrial da Advantech (modelo AIIS-1240) e que, além de grande capacidade de processamento e de memória, possui um módulo com 16 saídas digitais que é utilizado para controlar o acionamento da iluminação.
2. **Switch de Ethernet** — este componente (EKI-5729P da Advantech) desempenha a função de estabelecer a comunicação do PC com o PLC e as câmaras. Tem duas portas Ethernet normais e mais 8 portas de Ethernet com PoE que é onde as câmaras são ligadas. O PoE permite alimentar, através do cabo de comunicação *Ethernet*, as câmaras, minimizando a passagem de cabos entre dispositivos.
3. **Módulo distribuído de I/O** — cada posto de controlo visual tem um módulo I/O distribuído (ASBV 8/LED 5-242 da Lumberg) que faz a expansão dos sinais digitais do PC para as iluminações.
4. **Iluminação** — foram selecionadas 8 unidades de iluminação em forma quadrada, cada uma com 4 segmentos de luz branca que podem ser acionados independentemente um dos outros. Cada iluminação emite luz para uma das bases de plástico do garfo seletor, ficando 4 unidades por posto de controlo visual.

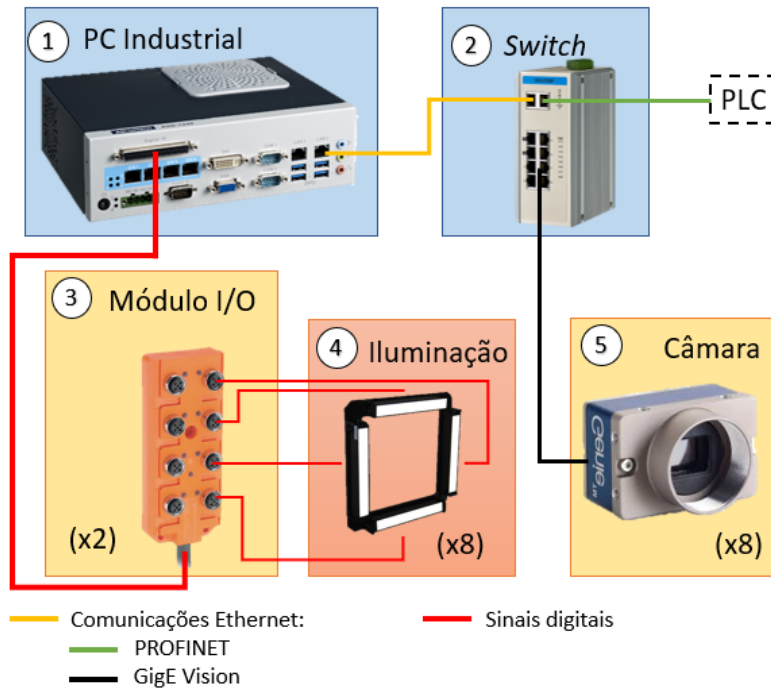


Figura 5.3: *Hardware* para o sistema de visão e arquitetura da comunicação/acionamento entre os dispositivos

5. **Câmaras** — As câmaras selecionadas foram as Genie Nano M1240 da Teledyne DALSA. São câmaras monocromáticas, cujo sensor tem uma resolução de 1280 x 1240 pixels e aquisição de imagem até 93 fps. À semelhança da iluminação, cada câmara analisa uma base de plástico dos garfos, existindo 4 por posto. Para complementar as câmaras, as óticas escolhidas foram as M3520-MPW2 da Computar, que têm uma distância focal de 35 *mm* e muito pouca distorção.

Na figura 5.4 está figurado o arranjo espacial das câmaras e das iluminações em cada posto de controlo visual para melhor se perceber como estão dispostos fisicamente em relação a um garfo.



Figura 5.4: Disposição das câmaras e da iluminação em cada posto de controlo visual (rodado +90° em relação à disposição real)

5.3 Implementação

A implementação deste sistema começou pela elaboração do esquema elétrico do bastidor que suporta o computador industrial e o *switch*, e também dos restantes dispositivos que estão nos dois postos de visão. Depois, prosseguiu-se com a configuração das câmaras e o desenvolvimento da aplicação para integrar este sistema com o controlador (PLC) da linha. O desenvolvimento da aplicação do sistema de visão pode ser dividida em três partes: a de visão, que gere diretamente as câmaras e a análise de imagem, realizada no *software* Halcon HDevelop 18.11 da MVTec, a parte de interface de comunicação com PLC e a interface gráfica para visualização do estado do sistema de visão, ambas programadas em C# no Visual Studio 2017 como referido anteriormente.

5.3.1 Configuração das câmaras

A formação da imagem e a iluminação são a base de qualquer sistema de visão artificial, uma vez que a aplicação de uma iluminação adequada pode evitar o uso de algoritmos de processamento de imagem mais complexos que podem levar também a um maior tempo de processamento. Por isso, antes de iniciar o desenvolvimento do programa de deteção de defeitos, foi necessário configurar as câmaras e a iluminação.

Primeiro, através do *software* “iDiscoveryGenie” definiu-se um endereço IP persistente para cada câmara, garantindo a mesma identidade de comunicação para cada uma, mesmo que depois de reiniciadas. Depois, utilizou-se um segundo *software*, o Spera CamExpert, para aceder aos parâmetros de aquisição de imagem, como o tempo de exposição do sensor e à imagem propriamente dita. Com uma câmara em aquisição contínua, colocou-se um garfo em posição de análise e aproximou-se a câmara do garfo em combinação com o foco da lente até se obter o maior número de pixels possível a representar a base do garfo. Consecutivamente, ajustou-se o tempo de exposição juntamente com a abertura da lente para se conseguir o menor tempo de aquisição possível sem comprometer a qualidade de imagem. Esta ação foi acompanhada pela regulação da direção da iluminação de forma a se obter uma imagem com brilho uniforme, evitando zonas das bases dos garfos com grande refletividade de luz. Por fim, testou-se para cada diversidade os ajustes efetuados, confirmando se, para essa câmara, o campo de visão e a qualidade de imagem eram compatíveis para todas as peças. O processo foi repetido para as restantes câmaras, assegurando a similaridade entre todas através da análise do histograma local na região central da peça, de modo a aproximar os valores médios, como representado na figura 5.5.

5.3.2 Aquisição de imagem e análise de defeitos

O *software* Halcon fornece um ambiente de desenvolvimento integrado (HDevelop) bastante intuitivo e dinâmico, uma biblioteca com inúmeras funções para análise de imagem e com interfaces de aquisição para vários tipos de câmaras industriais, tornando-o um *software* muito versátil que potencializa o rápido desenvolvimento de aplicações para visão artificial.

No desenvolvimento do programa da parte de visão, foram criados vários procedimentos locais. Estes procedimentos funcionam como funções que permitem aceder às câmaras individualmente, tirar fotografias de duas câmaras em simultâneo (em *multithread*), executar a análise de defeitos para uma determinada imagem e até realizar a análise em

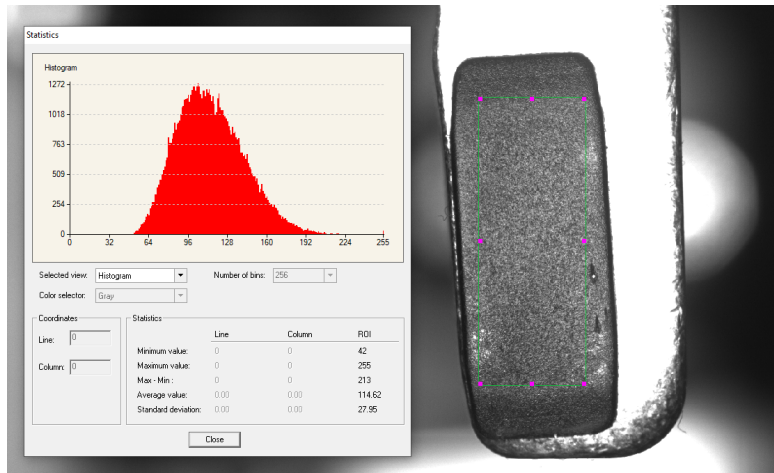


Figura 5.5: Histograma da região central da peça de plástico de um garfo seletor

quatro imagens em simultâneo, igualmente em *multithread*. Esta versatilidade permite que, através da interface gráfica, sejam mostrados todos os resultados provenientes da aquisição de imagem e análise de defeitos ao utilizador.

Cada procedimento contém funções inerentes do próprio Halcon como para inicializar uma câmara, realizar processamento de imagem, entre outras. Os principais procedimentos desenvolvidos foram os seguintes:

- ***InitAcquisition()*** – Este procedimento permite inicializar a aquisição de imagem de uma determinada câmara.
- ***GetImage()*** – Tirar uma fotografia a partir de uma câmara e obter essa imagem.
- ***WS_GetImage()*** – Procedimento para tirar as 4 fotografias do garfo num determinado posto (em *multithread*).
- ***GetDefects()*** – Executa a análise de defeitos a uma fotografia.
- ***WS_GetDefects()*** – Realiza a análise de defeitos às 4 fotos do garfo. Retorna as regiões correspondentes ao perímetro da base e dos defeitos encontrados; retorna também valores lógicos relativos à presença da base e da existência de defeitos.

Na imagem 5.6 é apresentado o ambiente de programação do *software* utilizado, onde é possível também verificar o resultado de uma análise de visão artificial.

5.3.3 Interface de comunicação

Nesta aplicação em específico, foram criados dois processos de comunicação para que as funções de visão artificial fossem executadas em paralelo para cada posto de controlo visual. Assim sendo, um processo lê as variáveis da DB 1051 do programa do PLC que correspondem aos dados do posto 1 e o outro processo lê os dados do posto 2 na DB 1061.

O processo de comunicação entre PLC e a aplicação, para cada processo, baseia-se em 3 variáveis lógicas à semelhança do que foi implementado no caso de estudo 1

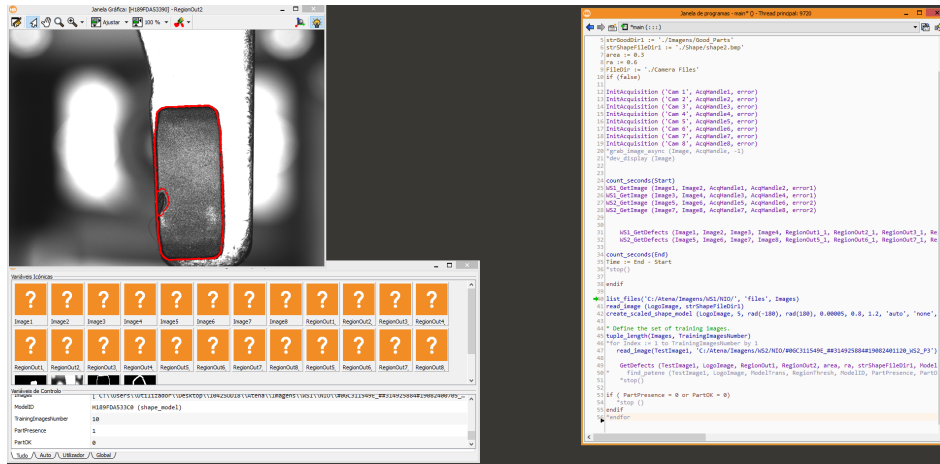


Figura 5.6: Halcon — ambiente de programação e análise de defeitos

e ilustrado na figura 4.16: *PLC_Start*, *PC_StartAck* e *PC_Job*. Quando o robô tem o garfo em posição para análise, este ativa a variável *PLC_Start*; durante as leituras cíclicas, assim que é detetado o valor lógico verdadeiro dessa variável, a aplicação envia o valor verdadeiro de *PC_StartAck*, indicando ao PLC que reconheceu a ordem e que iniciou a aquisição de imagem e a execução da análise de defeitos do garfo. Depois de terminada, a aplicação sinaliza que terminou a tarefa através da variável *PC_Job*, colocando-a a “true”; por sua vez, o PLC restaura o estado da variável *PLC_Start* e a aplicação restaura as restantes quando deteta o valor falso da variável *PLC_Start*. Adicionalmente, o PLC antes de enviar o evento para a realização da análise de imagem, transfere para a respetiva DB os caracteres que compõem o código DataMatrix, da mesma forma que a aplicação, no momento em que envia a finalização da tarefa, também envia os dados relativos à presença de cada base e a existência de defeitos em cada uma.

Através da interface de comunicação também são enviadas outras variáveis para a aplicação possibilitando, ao utilizador, visualizar o estado geral da linha, nomeadamente na zona de controlo.

5.3.4 Interface gráfica

A interface gráfica possui um menu de navegação localizado no lado esquerdo e permite aceder à página principal (“Main”), a uma secundária designada “Vision”, e ainda a uma página de configurações (“Configurations”) que contém duas sub-páginas: “General” e “PLC”. Neste menu é ainda possível realizar o *login* ou *log off* de um utilizador do sistema de autenticação implementado na aplicação, e sair da própria aplicação. A aplicação contém também um rodapé de estado que fornece informação sobre o sistema de autenticação, o modo de funcionamento da linha (modo automático, manual ou fora de serviço), o estado de comunicação com o PLC e a data e hora atuais.

A página principal da aplicação, que é ilustrada na figura 5.7, foi desenhada para transmitir de forma simples e bem visível os resultados da aquisição e análise de imagem do processo de visão artificial sincronizadamente com o funcionamento da linha, bem como o código DataMatrix do garfo a que as imagens dizem respeito, para cada posto de controlo visual. Esta contém também uma caixa de texto dinâmica na zona inferior

que mostra os eventos mais relevantes registados pela aplicação. As restantes páginas da aplicação são descritas no apêndice C.1.

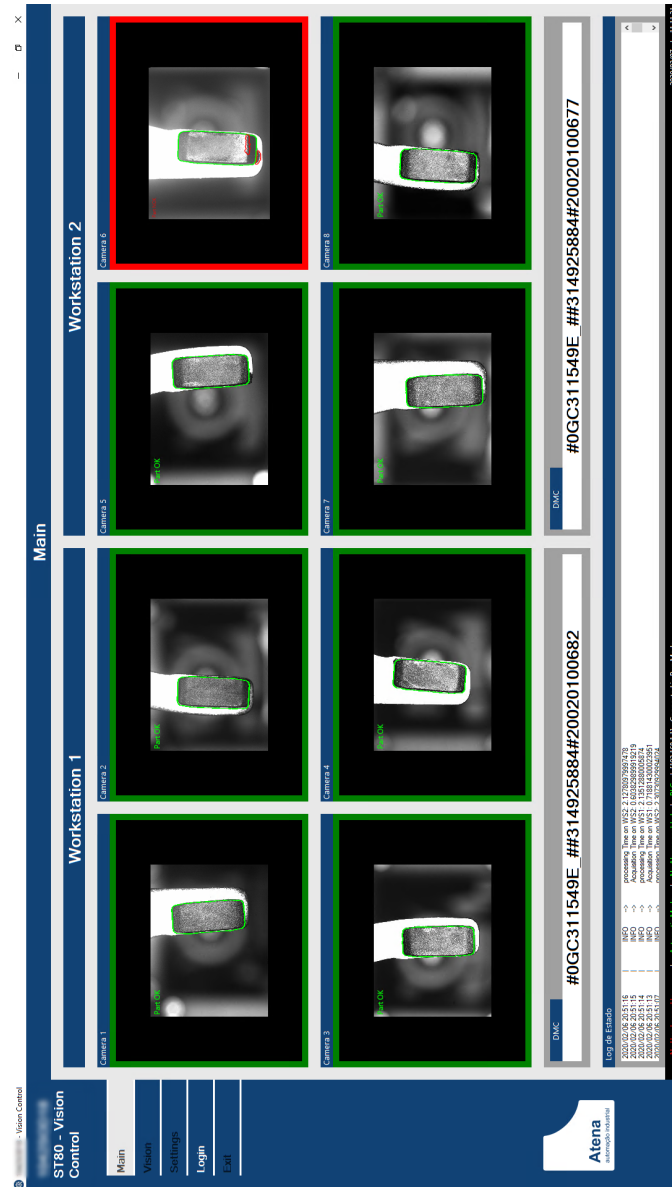


Figura 5.7: Página principal da aplicação do sistema de visão

Capítulo 6

Caso de estudo 3 - Linha de controlo de cárteres de embraiagem JT

6.1 Apresentação

Este caso de estudo está enquadrado no desenvolvimento de uma linha para controlo dos cárteres de embraiagem JT onde é feito um teste de estanquidade, realizado por uma máquina desenvolvida para o efeito, e um de controlo visual realizado por um operador, de forma a garantir a boa qualidade dos cárteres. Caso a boa qualidade do cárter seja verificada, é lhe atribuído um código DataMatrix, impresso numa etiqueta, que por sua vez é colada no cárter.

Produto

O cárter de embraiagem é uma das partes da carcaça da caixa de velocidades. Antes de chegar a esta linha, cada cárter é fabricado através de um processo de fundição e depois é sujeito a operações de maquinação CNC. Após passar pela maquinação, uma determinada informação é escrita, manualmente com marcador, numa região específica do cárter, como ilustrado na figura 6.1.



Figura 6.1: Cárteres de embraiagem

Os cárteres no final do processo são armazenados em contentores que têm uma folha de identificação. Nessa folha existem vários códigos de barras, dos quais se destacam o código que contém o número de identificação do contentor e o código que contém a referência dos cárteres que este transporta.

Objetivos

Uma das principais tarefas do processo da linha é realizar a rastreabilidade dos cárteres e dos contentores que os armazenam. A rastreabilidade está dividida em duas partes: o registo fotográfico da vista superior dos cárteres e o registo numa base de dados dos resultados das operações realizadas no cárter ao longo da linha e também dos contentores.

O estagiário foi responsável pela realização de uma aplicação para criar o registo fotográfico e de outra para implementar a rastreabilidade.

Descrição do funcionamento geral da linha

Cada cárter é colocado numa paleta que tem uma *tag* RFID. Uma sequência de transportadores transferem a paleta de um posto de trabalho para outro. Em cada posto de trabalho existe uma antena RFID para o PLC efetuar a leitura de dados e escrita de resultados na etiqueta de cada paleta. A escrita de resultados é realizada em diferentes endereços de memória da *tag*, mantendo um histórico das operações e dos respetivos resultados para cada cárter em cada ciclo.

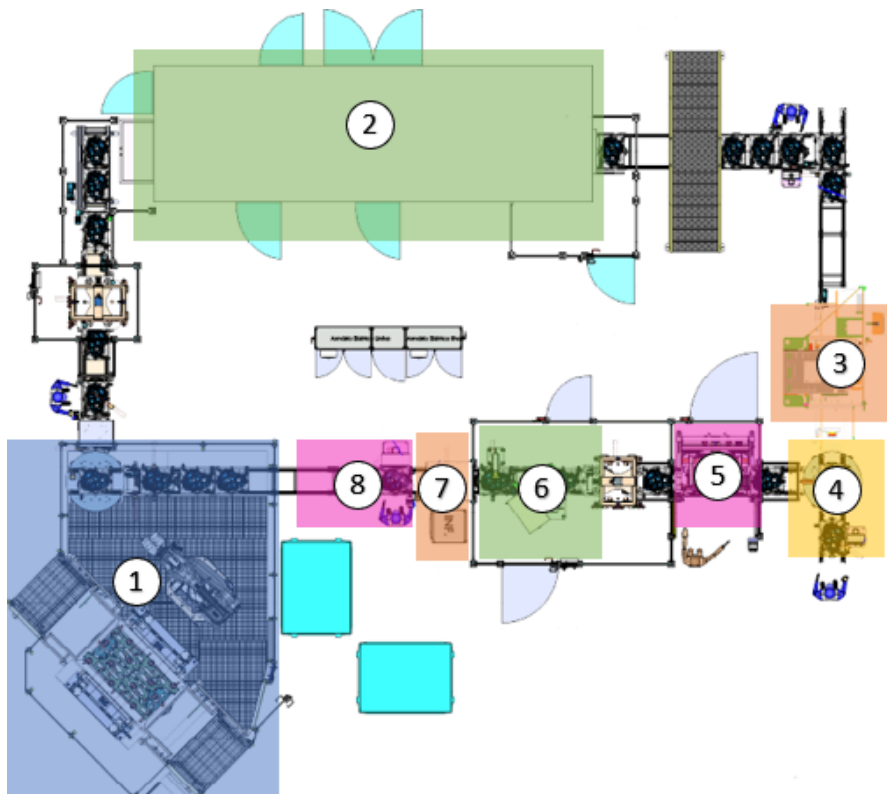


Figura 6.2: Planta da linha de cárteres de embraiagem

Na figura 6.2 é apresentada a planta da linha concebida pela Atena. Nesta podem-se identificar vários postos de trabalho (numerados de 1 a 8), os quais têm a seguinte sequência de operações:

1. **Célula robotizada de carga** — um carro AGV chega neste posto com 8 cárteres e um robô (ABB IRB6700 200-2.60) retira os cárteres do AGV, colocando-os, cada um, numa palete.
2. **Máquina de lavar** — nesta máquina, o produto é lavado, retirando alguns resíduos de óleo e/ou limalha resultante dos processos de maquinação.
3. **Máquina de estanquidade** — esta máquina tem um sistema que veda todos os orifícios do cárter e injeta ar até uma determinada pressão. Conforme o valor de fuga determinado pelo sistema, é possível verificar se o cárter tem defeitos resultantes da fundição e também da maquinação.
4. **Posto de peças não-conformes** — se o cárter que chega a este posto tiver um registo não conforme da máquina de estanquidade, este é remetido para a zona de peças NOK (não-conformes), caso contrário um virador transfere a paleta com o cárter para os postos seguintes.
5. **Posto de controlo visual** — um operador faz a inspeção das superfícies maquinadas do cárter. Se detetar algum defeito, carrega num botão de peça NOK e retira o cárter da paleta. Se o cárter não tiver nenhum defeito, o operador apenas tem que validar a operação, carregando num botão específico para o efeito.
6. **Posto de etiquetagem** — uma impressora, de impressão por transferência térmica, recebe uma mensagem RS232 do PLC com a informação da referência do cárter e mais alguns dados, os quais incluem, por exemplo, o número de série. Depois de recebida a mensagem, esta imprime uma etiqueta com o código Data-Matrix e um texto por baixo do código que representam essa informação. Por fim, um sistema mecânico coloca essa etiqueta no cárter. Adicionalmente, um leitor de códigos 2D, SR-1000 da Keyence, verifica a leitura do DataMatrix.
7. **Posto de fotografia** — neste posto, é feito o registo fotográfico da vista superior do cárter através de uma câmara que está ligada a um computador. A fotografia da vista superior do cárter captura a zona do registo manual após a maquinação, como referido anteriormente.
8. **Posto de descarga** — este é o último posto de trabalho da linha e é onde o operador retira o cárter da paleta para o armazenar num contentor. Consequentemente, os resultados das operações realizadas no cárter são enviadas para a aplicação da rastreabilidade para que o registo na base de dados seja concretizado.

Quando o contentor é fechado, ou seja, quando está completo, o operador através de um leitor de códigos de barras 2D, faz a leitura dos dois códigos de barras que identificam o contentor. Esta informação é enviada para a aplicação da rastreabilidade para complementar os registos dos cárteres e efetuar o registo do contentor propriamente dito.

6.1.1 Proposta da solução

Uma vez que se estipulou o desenvolvimento de duas aplicações distintas e como estas atuam em postos diferentes, decidiu-se utilizar dois computadores, cada um para uma aplicação. Ambos os computadores ficam num único bastidor, pois o posto de fotografia e o posto de descarga encontram-se bastante próximos, tal como é ilustrado anteriormente na planta da linha. Para estabelecer a comunicação entre cada computador e o PLC, estes foram ligados ao *switch* da rede de comunicação do sistema de controlo da linha. Por outro lado, a câmara utilizada para fazer a aquisição de imagem foi diretamente ligada ao computador da fotografia, tal como representado na figura 6.3.

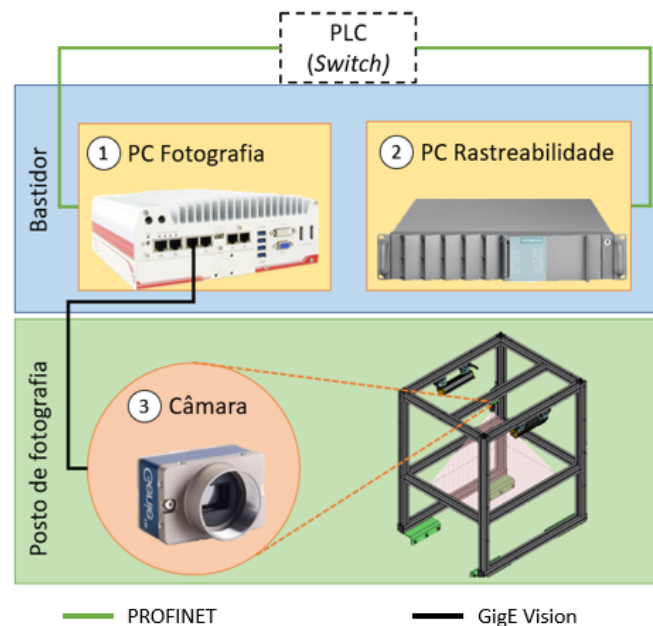


Figura 6.3: Dispositivos selecionados para a fotografia e a rastreabilidade dos cárteres

Os dispositivos escolhidos para as aplicações de fotografia e de rastreabilidade (figura 6.3), foram:

1. **PC Industrial (fotografia)** — computador industrial da Neousys (modelo Nuvo-5000E/P), que além de grande capacidade de processamento, possui 6 portas Ethernet GigE, o que é ideal para a aplicação de fotografia.
2. **PC Industrial (rastreabilidade)** — computador industrial da Siemens (modelo 6AG4112-2HU41-1GX6) com 1TB de memória para armazenamento das imagens e RAID 1 para redundância de dados, aumentando a segurança da memória.
3. **Câmara** — a câmara selecionada foi a Genie Nano M1240 da Teledyne DALSA. É uma câmara monocromáticas, cujo sensor tem uma resolução de 1280 x 1240 pixels e aquisição de imagem até 93 fps. A ótica escolhida foi a OPT-M38014MCN-1 da INFAIMON, que tem uma distância focal de 8 mm e, apesar de ter uma distorção moderada, é suficiente para o tipo de registo fotográfico que se pretende.

A implementação destes dispositivos foi esquematizada no esquema elétrico à semelhança do que foi realizado no caso de estudo anterior. As aplicações foram ambas

desenvolvidas no Visual Studio 2017 em C Sharp, com uma estrutura idêntica à que foi implementada nas aplicações anteriores.

6.2 Desenvolvimento da aplicação de fotografia

A aplicação que realiza o registo fotográfico encontra-se dividida em 3 partes: a interface de comunicação com o PLC, a aquisição de imagem e a interface gráfica.

6.2.1 Interface de comunicação com o PLC

Nesta aplicação simplificou-se o processo de comunicação com o PLC. Manteve-se o mesmo princípio em termos de leitura periódica de uma DB, mas reduziu-se o número de variáveis na partilha de eventos entre PC e PLC. Assim, sempre que uma paleta com um cárter chega ao posto de fotografia, são colocados o código DataMatrix e a variável lógica *PLC_Start* a “1” na DB pelo autómato, sinalizando à aplicação que pode tirar uma fotografia ao cárter. Esta depois de receber o evento, responde que começou a execução da tarefa, colocando o valor verdadeiro de *PC_StartAck*. Entretanto, o PLC reconhece este evento e faz o *reset* à primeira variável. Por fim, quando o registo está completo, a aplicação envia o resultado da boa ou má execução da tarefa para o PLC e coloca a “0” a variável *PC_StartAck*. A figura 6.4 resume a sucessiva partilha de eventos na comunicação entre o autómato e o PC, em que a zona azul representa a janela temporal de escrita de informação por parte do PLC e a zona amarela representa a janela temporal de envio de dados pela aplicação.

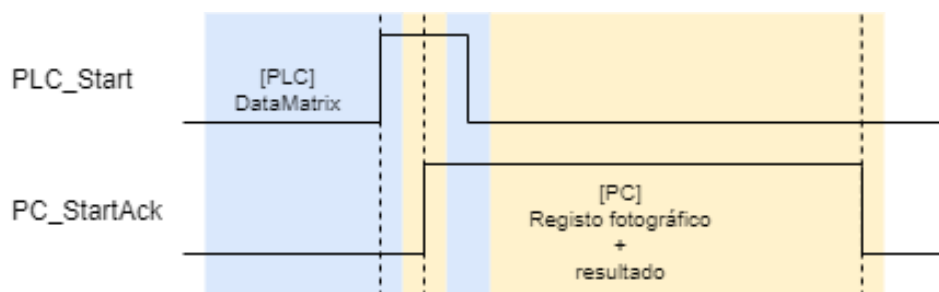


Figura 6.4: Cronograma da comunicação entre a aplicação de fotografia e o PLC

6.2.2 Aquisição de imagem

Para aceder à câmara, utilizou-se a biblioteca Sopera LT Camera SDK da Teledyne Dalsa. Através desta biblioteca, criaram-se procedimentos para gerir a inicialização da câmara e para iniciar a aquisição de imagem. Um destes procedimentos é detetar sempre que a câmara é ligada ou desligada do PC. Caso a câmara seja desligada, é ativada uma outra variável da DB, onde o autómato alerta os operadores para eventuais problemas na câmara, por via de mensagens numa HMI.

Durante o registo fotográfico, uma imagem é retirada do *buffer* da câmara e guardada como um ficheiro “*.jpeg” numa pasta partilhada na rede pelo computador da rastreabilidade. O nome do ficheiro é composto pelo código DataMatrix recebido e,

desta forma, a fotografia fica de imediato disponível no PC da rastreabilidade e devidamente identificada. Adicionalmente, uma leitura do ficheiro é realizada para confirmar se definitivamente a operação foi bem sucedida.

6.2.3 Interface gráfica

A interface gráfica é composta essencialmente por duas páginas: a principal e a de configurações. Além destas páginas, existe um rodapé na aplicação onde é informado que utilizador está autenticado no sistema de autenticação da aplicação, se o posto de fotografia está em modo automático, manual ou fora de serviço, o estado do PC, o estado da comunicação com o controlador e a data e hora do sistema.

A página principal mostra a imagem em tempo real que a câmara está a adquirir e, ao lado, o último registo fotográfico. Por baixo das imagens, é apresentado o código DataMatrix correspondente a esse último registo. Adicionalmente, uma caixa de texto dinâmica mostra eventos relevantes que aconteceram ao longo do tempo, como quebras na comunicação com o PLC e reconexões da câmara.

Quanto à página de configurações, esta é composta por 4 sub páginas: uma para configurações gerais, onde é possível configurar a localização do ficheiro de configuração da câmara e a localização da pasta partilhada pelo PC da rastreabilidade; uma página onde é possível tirar uma fotografia e guardá-la no computador da rastreabilidade com um código introduzido pelo utilizador; outra página para visualizar o estado das variáveis de comunicação do PLC; e ainda uma página para configurar os utilizadores do sistema de autenticação da aplicação.

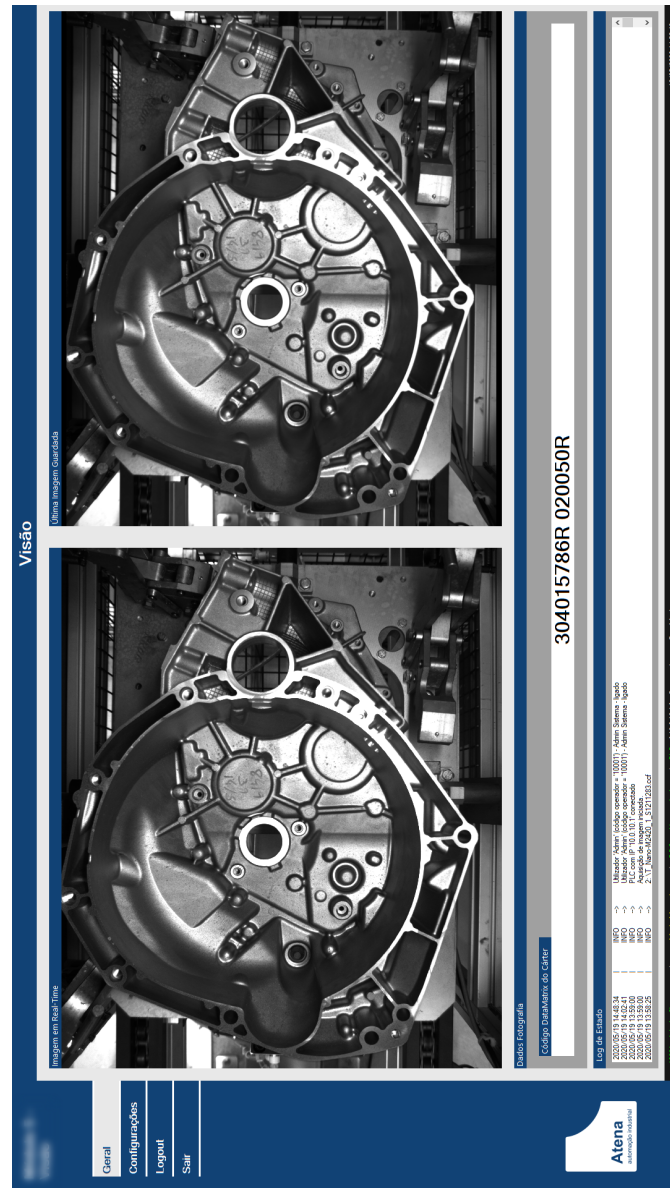


Figura 6.5: Página principal da interface gráfica da aplicação de fotografia

6.3 Desenvolvimento da aplicação de rastreabilidade

O pedido do cliente relativamente à rastreabilidade desta linha foi, além dos registos em base de dados, existir uma pasta para cada contentor com a data e hora de fecho e o respetivo código de identificação. Dentro dessa pasta, as imagens dos cárteres devem estar agrupadas em sub pastas de acordo com as camadas de cárteres que o contentor transporta, e um ficheiro de imagem deve ser gerado com a região da informação escrita manualmente de cada cárter, com o número de identificação do contentor e com a referência de cárteres. Adicionalmente, as pastas dos contentores devem ser agrupadas por referência de cárteres a que dizem respeito. Por fim, as imagens dos cárteres devem ter como nome a data e hora de quando foram descarregados da linha para o contentor e o

respetivo código DataMatrix, e ainda um texto escrito sob a imagem, na parte inferior, com o código, data e o valor de fuga determinado no teste de estanquidade.

O desenvolvimento da aplicação para rastreabilidade dos cárteres começou pelo planeamento da base de dados. Só depois foi implementada a gestão de imagens e pastas para os cárteres e contentores e a interface gráfica.

6.3.1 Base de dados

Para cumprir os requisitos do cliente, foi necessário, em primeiro lugar, criar uma tabela na base de dados com algumas configurações gerais relativas a cada referência trabalhada na linha. Esta tabela foi declarada como *TabelaRastreabilidade* e os atributos introduzidos foram: a referência de cárteres; o nome (nome corrente que identifica o tipo ou grupo de cárteres); localização da pasta para armazenar as imagens dos cárteres e as pastas dos contentores; o número de cárteres por nível (número de camadas que os contentores, para cada referência, levam); e o tipo de *Region of Interest* (ROI) que representa a localização e dimensão da região da informação escrita manualmente no cárter.

Além desta tabela, e para criar um registo individual para cada cárter e cada contentor na base de dados, foram criadas mais duas tabelas: *TabelaContentores* e *TabelaCarteres*. Na *TabelaContentores*, definiram-se alguns atributos como a data e hora de fecho, o número de identificação, a referência de cárteres, a localização da pasta do contentor e a quantidade de cárteres que são transportados. Já na *TabelaCarteres*, os atributos são numerosos, incluindo a data e hora de descarga para o contentor, o código DM, a referência, o número de identificação do contentor, a localização da imagem e o valor de fuga, estendendo-se para os restantes resultados dos diversos postos de trabalho da linha, que incluem a conformidade da execução das tarefas de cada posto, etc..

Para fazer a ponte entre a aplicação e a base de dados, instalou-se um gestor de base de dados, o SQL Server 2017. Durante a execução de tarefas da aplicação de rastreabilidade, são feitos pedidos ao gestor de base de dados de acordo com a linguagem *Structured Query Language* (SQL).

6.3.2 Comunicação com o PLC

A filosofia de comunicação implementada é bastante semelhante à da aplicação do PC da fotografia, mantendo-se as mesmas variáveis mas numa outra DB do autómato para não haver conflito de informação entre aplicações. Porém, dada a diferença de tarefas entre a descarga de um cárter e o fecho de um contentor, foi necessário acrescentar mais duas variáveis binárias, *Reg_Carter* e *Reg_Content*, para distinguir o evento da descarga de um cárter do evento de fechar o contentor. Assim, quando o operador está a descarregar um cárter para o contentor, o PLC coloca as informações para a rastreabilidade dos cárter na DB e faz o *set* de *Reg_Carter*. Por outro lado, no momento de fechar um contentor, o autómato envia os dois códigos que identificam o contentor e fornecem a referência dos cárteres que transportam, colocando também a variável *Reg_Content* com valor lógico verdadeiro. Independentemente da situação a que o evento se refere, o autómato ativa a variável *PLC_Start*, indicando à aplicação que todas as informações foram colocadas na DB. A aplicação indica o reconhecimento da ordem através do *set* da variável *PLC_StartAck*. Após a execução das respetivas tarefas, a aplicação envia para o PLC se a execução foi bem realizada ou não, fazendo também o *reset* de *PLC_StartAck*.

Um cronograma com a ativação das variáveis principais da comunicação é ilustrado na figura 6.6.

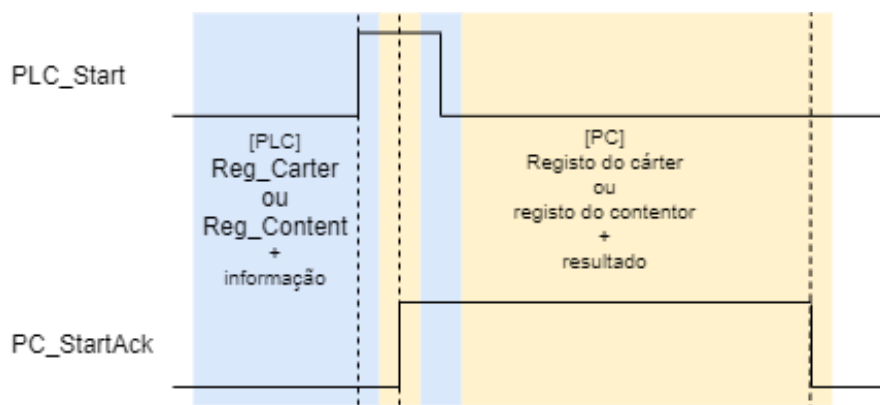


Figura 6.6: Cronograma da comunicação entre a aplicação de rastreabilidade e o PLC

6.3.3 Gestão de imagens e pastas

Os registos fotográficos do PC da fotografia são imediatamente remetidos para uma pasta do PC da rastreabilidade que é partilhada na rede, como referido anteriormente. A gestão de informação e de pastas pode ser dividida em duas partes: quando um cárter é descarregado para o contentor e quando o contentor é fechado.

Uma vez que o armazenamento de imagens é bastante acentuado, é feita uma monitorização contínua da memória disponível no disco onde as imagens são guardadas. Quando é detetado um percentual de apenas 1% de memória restante, a aplicação faz *set* a uma variável binária estabelecida na DB de comunicação do PLC para que um alarme seja lançado na HMI, à semelhança do que acontece na aplicação da fotografia quando a câmara era desligada.

6.3.3.1 Descarga de cárteres

Assim que se inicia a execução do processo de adicionar um novo cárter na base de dados, a primeira tarefa consiste em procurar a imagem correspondente ao cárter que está a ser descarregado da linha. A aplicação compara o código DataMatrix, recebido pelo PLC, com o nome dos ficheiros existentes na pasta partilha; lembra-se que a aplicação da fotografia guardou a fotografia num ficheiro cujo nome é o código. Depois de encontrada, procura-se a localização da pasta da referência a que pertence o cárter, consultando a tabela *TabelaRastreabilidade*. Como a informação de identificação do contentor em que os cárteres estão a ser guardados é adquirida apenas quando este é fechado, os cárteres são guardados dentro de uma pasta de imagens temporárias, criada na pasta da referência. Desta forma, a imagem do cárter é movida da pasta partilhada para a pasta de imagens temporárias da referência do cárter. Adicionalmente, é “estampado” um texto na imagem com o código DataMatrix, a data e o valor de fuga do teste de estanquidade. Também é dado um nome ao ficheiro que consiste na data, hora e código DM. Por fim, é adicionada uma nova entrada na tabela *TabelaCarteres* com toda a informação enviada pelo *PLC* respeitante ao cárter descarregado.

A figura 6.7 representa as diversas etapas do processo de manipulação de imagem e ficheiros para guardar um cárter. Para efeitos representativos, a pasta de imagens temporárias é designada por “TempImages”, a referência do cárter é “AAAAA” e o código é “AAAAA0001”.

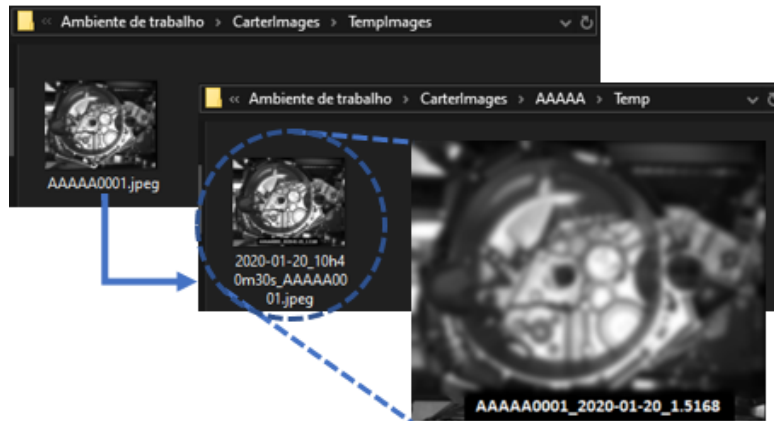


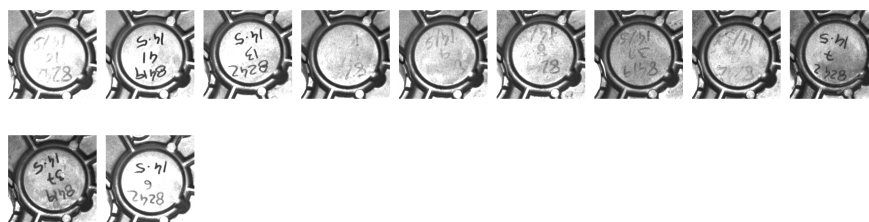
Figura 6.7: Gestão de pastas - manipulação de imagens temporárias

6.3.3.2 Fecho de contentores

Esta tarefa inicia com a criação de uma pasta com a data e hora e o número de identificação do contentor na pasta da referência. Mais uma vez, é necessário consultar a *TabelaRastreabilidade* para obter os atributos da referência em questão.

Dentro da nova pasta, é criado um ficheiro do tipo imagem, com fundo branco. Consecutivamente, todas as imagens de cárteres na pasta temporária desta referência são lidas, copiando a região do registo manual de cada imagem para o ficheiro. No final, são acrescentados os números de identificação e de referência do contentor na parte inferior do ficheiro. Um exemplo de um ficheiro gerado em fase de testes é representado na figura 6.8.

Com o ficheiro gerado, as imagens são movidas da pasta temporária para a pasta do contentor em sub pastas chamadas $N1$, $N2$, etc., de acordo com a camada em que se situam no contentor. Esta gestão é conseguida através do atributo do número de cárteres por nível lido no início da execução deste processo e a data e hora presente nos nomes das imagens dos cárteres. Por fim, as entradas da tabela *TabelaCarteres* referentes aos cárteres afetados pela gestão do contentor são atualizadas, atribuindo o número de identificação do contentor e a nova localização da imagem a cada. Adicionalmente, é adicionada uma nova entrada na tabela *TabelaContentores* com os dados do contentor fechado. Também é gerado um ficheiro **.csv* com a informação extraída da *TabelaCarteres* dos cárteres existentes no contentor. A figura 6.9 mostra a composição da pasta do contentor, onde as imagens dos cárteres estão organizadas por níveis e estão localizados a imagem compiladora e o ficheiro com a informação da base de dados dos cárteres contidos no contentor.



Gália
S010441672

Ref Carter
304015768R

Figura 6.8: Ficheiro compilador das regiões de interesse de cada cárter com a identificação do contentor

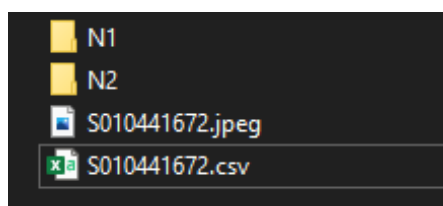


Figura 6.9: Composição da pasta de um contentor

6.3.4 Interface gráfica

A interface gráfica possui a mesma estrutura que as aplicações restantes, com um menu à esquerda para aceder às várias páginas e um rodapé com a informação do utilizador com sessão iniciada no sistema de autenticação da aplicação, o estado do modo de funcionamento do posto de descarga, a existência de alarmes na aplicação, o estado da comunicação com o autómato e a data e hora. Também é ilustrado neste rodapé a monitorização da memória disponível do disco onde as imagens são guardadas.

Nesta aplicação existe uma página principal (figura 6.10) onde são mostrados, na zona superior à direita, a imagem e os atributos principais do último cárter descarregado e, por baixo desta, os dados do último contentor fechado, inclusive a imagem compiladora. Adicionalmente, são também ilustradas a quantidade de cárteres em cada contentor por referência.

Também foram implementadas outras páginas, nomeadamente uma designada *Consultar* e uma outra declarada como *Configurações*, cujas funções são descritas no anexo D.1.

Quantidade de Cáteres das Gaias por Fichas

Referência	Quantidade
304015768R	2/80
304014939R	0/80

Resultados do último câter

Fotografia

Informações Gerais

Código Distribuidor: 304014939R A 5 0 135 0009 -B
 Referência: 304014939R
 Data e Hora: 19/05/2020 16:39:58
 Valores Estanqueidade: HR16
 Tipo Câter: 3
 Valor Pico: 1.1234
 Data e Hora: 19/05/2020 16:30:27

Resultados das GPs

Estanqueidade	Combob	OK	Fotografia	OK	Descarga	OK
NOK						
OK						
OK						
OK						

Informações da última gaila fechada

Imagem

Informações Gerais

Código Gaila: S010441672
 Referência de Cáter: 304015768R
 Número de Cáter: 11
 Data e Hora: 19/05/2020 16:27:48

Log de Estado

2020/05/19 16:46:17 - INFO -> Utilizador Admin (codigo operador = 10001) Admin Sistema Igual
 2020/05/19 16:46:21 - INFO -> Utilizador Admin (codigo operador = 10001) Admin Sistema Igual
 2020/05/19 16:46:25 - INFO -> PLC com IP 10.10.10.1 Formado
 2020/05/19 16:46:25 - INFO -> Atividade iniciada

Atena
 Engenharia de Software

19/05/2020 16:46:26

Figura 6.10: Página principal da interface gráfica da aplicação de fotografia

Capítulo 7

Resultados experimentais

Neste capítulo são descritos os testes realizados ao equipamento do caso de estudo 1 e às aplicações desenvolvidas nos restantes casos e as dificuldades enfrentadas para contornar problemas encontrados durante a fase de testes.

7.1 Caso de estudo 1

Os primeiros testes realizados à máquina foram feitos na Atena. Começou-se por verificar todo o sistema de segurança, atingindo os níveis de desempenho mínimos calculados para as funções de segurança do equipamento. Adicionalmente, a ADLaser, uma empresa de consultoria de segurança laser, validou a integração da parte relacionada com a segurança do sistema laser com a cadeia de segurança do equipamento, garantindo a plena segurança dos operadores durante a utilização desta máquina.

Quanto à programação e execução das tarefas automáticas do equipamento, surgiram alguns erros mas, dado que o método de programação foi a implementação de um ciclo passo a passo, facilmente se determinou e corrigiu a origem dos problemas. Por outro lado, os testes executados às peças de amostra fornecidas pelo cliente numa fase primária não foram os expectáveis, resultando em marcações com muito pouca qualidade. Após uma breve análise à superfície das coroas, detetou-se resíduos de óleo que causaram a absorção da radiação infravermelha do laser, impedindo que esta atingisse as peças. Após a limpeza das peças com um solvente, foi obtida a qualidade das marcações pretendidas. Todavia, a presença do óleo não foi uma preocupação para o processo final do equipamento, uma vez que as peças passam por um processo de lavagem que retira impurezas e os vestígios de óleo antes de chegarem ao posto de trabalho da linha de montagem das caixas de velocidades onde este equipamento está inserido.

A qualidade de marcação avaliada pelo sistema de visão foi de grau B, o que significa que o código DataMatrix é 100% legível e será facilmente lido por uma grande diversidade de leitores. Na figura é mostrado uma zona da coroa com o aspeto final do código marcado.

No final de se conseguir executar vários ciclos sem qualquer tipo de falha, o equipamento foi validado pelo cliente. A validação ainda nas instalações da Atena proporcionam a correção rápida de pormenores relacionados com a execução do processo e também com aspetos mecânicos, proporcionando a instalação e arranque mais rápidos nas instalações fabris do cliente.



Figura 7.1: Resultado final da marcação laser do código DataMatrix nas coroas

Com a utilização deste equipamento, o cliente poderá num futuro próximo colocar leitores de códigos 2D ao longo da linha de montagem das caixas de velocidades para automatizar o reconhecimento das coroas utilizadas em cada processo. Outra vantagem de existir um código DataMatrix gravado diretamente na peça, é a possibilidade de identificar a coroa em componentes que já estão em utilização pelo consumidor final e que, por algum defeito detetado, são facilmente identificadas as condições em que estas foram fabricadas.

7.2 Caso de estudo 2

Durante os testes experimentais à execução da linha magnetizadora de garfos seletores concluiu-se que o tempo de ciclo na zona de controlo teria que ser reduzido. Para contornar este problema, inicialmente otimizaram-se as velocidades e trajetórias dos respetivos robôs. Consequência desta abordagem, a orientação dos postos de visão foi mudada para uma posição vertical, reduzindo as sequências das trajetórias.

Para complementar a otimização do tempo de ciclo, optou-se por reestruturar a interface de comunicação com o PLC. Desta forma, implementou-se o envio de outra variável da aplicação para a DB de comunicação do controlador: logo após a aquisição de imagem, a aplicação coloca essa variável a “true”, sinalizando o PLC de que a aquisição foi terminada. Após receber este evento, o robô pode retirar o garfo para colocá-lo no posto de controlo do processo. Isto permite que, enquanto o robô leva o garfo para o tal posto, a análise de defeitos desse garfo seja realizada, evitando que o robô espere pela conclusão dessa análise ainda no posto de visão artificial.

Adicionalmente, o programa da análise de defeitos não foi muito eficiente. Haviam certos defeitos que não eram detetáveis e, por outro lado, só quando a linha começou a trabalhar em modo contínuo é que deu para perceber a grande variação da textura superficial nas bases de plástico dos garfos seletores. Com a ajuda de um colega de equipa, mais experiente e com mais conhecimento de algoritmos e funções de processamento de imagem do *software* Halcon, aprimorou-se o programa de análise de defeitos.

No global e depois de feitas as alterações referidas, a aplicação do sistema de visão mostrou-se bastante responsiva, fluída, *user-friendly* e intuitiva, oferecendo a flexibilidade necessária ao projeto em termos de parametrização de deteção de defeitos. A linha mostrou-se ser muito eficiente, totalmente automatizada, valorizando a mão de obra dos operadores para outras tarefas menos exigentes fisicamente e mais ergonómicas.

7.3 Caso de estudo 3

Dada a experiência adquirida no desenvolvimento da aplicação do caso de estudo anterior, muitos erros foram evitados a nível de gestão de eventos para mostrar a informação na

interface gráfica de ambas as aplicações (PC fotografia e PC rastreabilidade).

Para finalizar, as aplicações durante os testes responderam bem, efetuando todo o tipo de registos na estrutura pré-definida. A consulta da base de dados para aceder ao histórico dos cárteres e dos contentores fechados também se mostrou coerente com a informação enviada pelo PLC.

Em outras linhas de produção semelhantes, o operador necessita de fazer o registo manualmente da informação existente em cada cárter numa folha destinada a cada contentor. Com a inclusão desta aplicação nesta nova linha, toda essa informação é registada automaticamente, aliviando a responsabilidade dos operadores, consequência da redução de possíveis erros humanos nos registos da informação, e tornando o processo mais eficaz e eficiente.

Capítulo 8

Conclusões

Os principais objetivos deste estágio consistiram no desenvolvimento de alguns sistemas automáticos onde é aplicada a rastreabilidade de produtos.

O caso de estudo 1, que descreve uma máquina que realiza marcação laser de códigos DataMatrix em rodas de coroas de caixas de velocidades e uma aplicação para guardar os dados resultantes dos processos da máquina, permitiu a identificação automática deste produto nos postos de trabalho da linha de montagem e também durante todos os ciclos de vida, dada a durabilidade que a *Direct Part Marking* oferece. Neste projeto foram usados os software Eplan P8 para desenvolvimento de esquemas elétricos, o STEP7 e o TIA Portal para programação de autómatos e de consolas de diálogo HMI, e o Sherlock Embedded para análise de imagem e leitura de códigos 2D. Também permitiu o contacto com a tecnologia de marcação laser de fibra Arex 50W da Datalogic.

Relativamente à linha de magnetização e encapsulamento dos ímanes dos garfos seletores da caixa DQ381, possibilitou ao estagiário implementar um sistema de visão artificial, onde, em conjunto com as restantes operações da linha, resultou no controlo automático dos garfos seletores, disponibilizando a mão de obra dos operadores para outras tarefas. Nesta aplicação foi usado o *software* Halcon, que revelou ter uma biblioteca diversificada de funções e métodos para a aquisição e análise de imagem.

Por fim, as aplicações desenvolvidas para a linha de controlo de cárteres, em comparação com outras linhas semelhantes, permitiram a rastreabilidade dos cárteres e dos contentores que os transportam de forma automática, além de que, com a consulta flexível da base de dados implementada na aplicação de rastreabilidade, é possível consultar os dados de um determinado cárter ou contentor rapidamente. Indiretamente, este projeto permitiu o contacto com leitores e códigos 2D manuais e fixos, e com uma impressora de transferência térmica para impressão de códigos DataMatrix em etiquetas que identificam os cárteres.

Resumindo, foram adquiridos novos conhecimentos e metodologias para a prática da automação industrial que introduziram no estagiário novas formas de interpretar e abordar problemas reais, que serão bastante úteis na futura carreira profissional.

8.1 Trabalho futuro

Dado que os projetos desenvolvidos se encontram perfeitamente funcionais no chão de fábrica dos clientes, apenas podem-se sugerir novas melhorias para que os processos se

tornem ainda mais eficientes.

A primeira sugestão passaria por adaptar as aplicações de rastreabilidade para que armazenassem os dados numa base de dados disponível na rede das empresas, em vez de o fazer localmente. Desta forma, o ERP e o MES poderiam ter acesso remoto ao estado da produção atual das linhas e equipamentos.

Outra sugestão seria por integrar a emissão do documento do contentor na aplicação de rastreabilidade de cárteres e de contentores. Atualmente, o operador tem acesso a um outro computador onde tem que introduzir a quantidade e a referência de cárteres numa aplicação para que esta faça o pedido do ficheiro que contém o número de identificação do contentor. Uma vez que os dados introduzidos são calculados pela aplicação de rastreabilidade desenvolvida, esse processo poderia facilmente ser integrado nesta aplicação, resultando numa emissão do documento automática e, conseqüentemente, traria uma fluidez maior à performance do processo produtivo.

Bibliografia

- [1] Rojko A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*. 2017 07;11:77. Accessed: 2020-01-15. Available from: <https://online-journals.org/index.php/i-jim/article/view/7072>.
- [2] ACCEPT. INDÚSTRIA 4.0: A NOVA ERA DA COMPETITIVIDADE; 2019. Accessed: 2020-01-15. Available from: <https://www.accept.pt/a-nova-era-da-competitividade-na-industria-4-0/>.
- [3] Ustundag A, Cevikcan E. Industry 4.0: Managing The Digital Transformation; 2018. Accessed: 2020-01-15. Available from: https://www.researchgate.net/publication/322172971_Industry_40_Managing_The_Digital_Transformation.
- [4] Barata J, Cunha PR, Gonnagar A, Mendes M. In: *Product Traceability in Ceramic Industry 4.0: A Design Approach and Cloud-Based MES Prototype*; 2018. p. 187–204. Accessed: 2020-01-15. Available from: https://www.researchgate.net/publication/324047246_Product_Traceability_in_Ceramic_Industry_40_A_Design_Approach_and_Cloud-Based_MES_Prototype.
- [5] Cui Y, Hu M, Liu J. Values of Traceability in Supply Chains. *SSRN Electronic Journal*. 2019 08.
- [6] Bougdira A, Ismail A, Ahaitouf A. A traceability proposal for industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2019 10.
- [7] Moss C, Chakrabarti S, Scott D. Parts quality management: Direct part marking of data matrix symbol for mission assurance; 2013. p. 1–12.
- [8] GS1. About;. Accessed: 2020-01-15. Available from: <https://www.gs1.org/about>.
- [9] Keyence. Basics of Barcodes;. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.keyence.com/ss/products/auto_id/barcode_lecture/basic/mechanism/.
- [10] GS1. EAN/UPC - Barcodes; 2015. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.gs1.org/standards/barcodes/ean-upc>.
- [11] Cognex. UPC-A Barcodes - Symbologies;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/resources/symbologies/1-d-linear-barcodes/upc-a-barcodes>.
- [12] Cognex. EAN-13 Barcodes - Symbologies;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/resources/symbologies/1-d-linear-barcodes/ean-13-barcodes>.

-
- [13] Cognex. EAN-8 Barcodes - Symbologies;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/resources/symbologies/1-d-linear-barcodes/ean-8-barcodes>.
- [14] Cognex. UPC-E Barcodes - Symbologies;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/resources/symbologies/1-d-linear-barcodes/upc-e-barcodes>.
- [15] GS1. GS1 General Specifications; 2020. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.gs1.org/standards/barcodes-epcrfid-id-keys/gs1-general-specifications>.
- [16] Keyence. Basics of Barcodes: CODE 128 and GS1-12;. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.keyence.com/ss/products/auto_id/barcode_lecture/basic/code128/.
- [17] Cognex. Code 128 Barcodes - Symbologies;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/resources/symbologies/1-d-linear-barcodes/code-128-barcodes>.
- [18] GS1. One-dimensional (1D) barcodes for retail general distribution, healthcare and logistics; 2015. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.gs1.org/standards/barcodes/1d-general-distribution>.
- [19] Cognex. Interleaved 2 of 5 Barcodes - Symbologies;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/resources/symbologies/1-d-linear-barcodes/interleaved-2-of-5-barcodes>.
- [20] Keyence. Basics of Barcodes: CODE 39 and Codabar;. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.keyence.com/ss/products/auto_id/barcode_lecture/basic/code39/.
- [21] Cognex. Code 39 Barcodes - Symbologies;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/resources/symbologies/1-d-linear-barcodes/code-39-barcodes>.
- [22] Keyence. Basics of 2D codes: What are 2D codes?;. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.keyence.com/ss/products/auto_id/barcode_lecture/basic_2d/intro/.
- [23] Keyence. Basics of 2D codes: What is a QR code?;. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.keyence.com/ss/products/auto_id/barcode_lecture/basic_2d/qr/.
- [24] Keyence. Basics of 2D codes: What is a DataMatrix Code?;. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.keyence.com/ss/products/auto_id/barcode_lecture/basic_2d/datamatrix/.
- [25] GS1. GS1 DataMatrix Guideline Overview and technical introduction to the use of GS1 DataMatrix; 2018. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.gs1.org/docs/barcodes/GS1_DataMatrix_Guideline.pdf.

- [26] Cognex. Printing and Marking Methods;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/what-is/industrial-barcode-reading/printing-marking>.
- [27] Sick. Competence Guide Direct Part Marking; 2007. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://cdn.sick.com/media/docs/1/01/101/Special_information_Competence_Guide_Direct_Part_Marking_en_IM0058101.PDF.
- [28] Videojet. Methods for direct part marking; 2014. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.videojet.com/content/dam/pdf/NA%20-%20English/Technical%20Guides/tg-methods-for-direct-part-marking-us.pdf>.
- [29] Keyence. Inkjet printer types;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.keyence.com/ss/products/marketing/inkjet/printer/method.jsp>.
- [30] Li J, Rossignol F, Macdonald J. Inkjet printing for biosensor fabrication: Combining chemistry and technology for advanced manufacturing. Lab on a Chip. 2015 04;15. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.researchgate.net/publication/275583905_Inkjet_printing_for_biosensor_fabrication_Combining_chemistry_and_technology_for_advanced_manufacturing.
- [31] Keyence. Inkjet printing on canned goods;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.keyence.com/ss/products/marketing/inkjet/example/food/canned-goods.jsp>.
- [32] Khan A. Parametric Optimization for Laser Marking Performance via Taguchi Approach. NEC TECHNICAL JOURNAL. 2015 05.
- [33] Zlatanov N. Lasers and laser applications. 2016 12.
- [34] Lazov L, Deneva H, Narica P. Laser Marking Methods. Environment Technology Resources Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. 2015 06;1:108.
- [35] Dragičević D, Tegeltija S, Ostojic G, Stankovski S, Lazarevic M. Reliability of Dot peen marking in product traceability. International Journal of Industrial Engineering and Management. 2017 01;8:71–76.
- [36] Marking. Dot-peen marking systems; 2019. Accessed: 2020-02-15. Available from: http://marking.lv/EN_dot-peen_marking.xhtml.
- [37] Pryor. A Guide to Dot Peen Marking; 2017. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.pryormarking.com/knowledge-centre/blog/a-guide-to-dot-peen-marking>.
- [38] Guide M. Electrochemical etching;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.manufacturingguide.com/en/electrochemical-etching>.
- [39] Cognex. What are Laser Scanners;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/what-is/industrial-barcode-reading/laser-scanners>.

- [40] Cognex. Image-based Barcode Readers;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/what-is/industrial-barcode-reading/vision-enabled-barcode-readers>.
- [41] Instruments N. Calculating Camera Sensor Resolution and Lens Focal Length; 2020. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.ni.com/pt-pt/support/documentation/supplemental/18/calculating-camera-sensor-resolution-and-lens-focal-length.html>.
- [42] Design VS. Choosing optics for machine vision; 2000. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.vision-systems.com/non-factory/life-sciences/article/16738621/choosing-optics-for-machine-vision>.
- [43] Cognex. How to Select a Barcode Reader;. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.cognex.com/what-is/industrial-barcode-reading/select-reader>.
- [44] Cognex. Introduction to Barcode Verification; 2019. Accessed: 2020-02-15.
- [45] Keyence. Barcode/Two-dimensional Code Verification Guide Book; 2017. Accessed: 2020-02-15.
- [46] OECD. RFID Guidance and Reports. 2008;(150). Available from: <https://www.oecd-ilibrary.org/content/paper/230334062186>.
- [47] Roberti M. The History of RFID Technology. RFID Journal. 2005 01. Accessed: 2020-02-15. Available from: <https://www.rfidjournal.com/the-history-of-rfid-technology>.
- [48] Chetouane F. An Overview on RFID Technology Instruction and Application. IFAC-PapersOnLine. 2015;48(3):382–387. 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631500350X>.
- [49] Want R. An introduction to RFID technology. Pervasive Computing, IEEE. 2006 02;5:25–33. Accessed: 2020-02-15. Available from: https://www.researchgate.net/publication/3437143_An_introduction_to_RFID_technology.
- [50] Finkenzerler K. Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. 3rd ed. John Wiley & Sons Inc; 2010.
- [51] Al-Zewairi M. Privacy and Security for Radio Frequency Identification Systems; 2011.
- [52] Tedjini S, Perret E. Radio-frequency identification systems and advances in tag design. URSI Radio Science Bulletin. 2009 Dec;2009(331):9–20.
- [53] Kamel Boulos M, Berry G. Real-time locating systems (RTLS) in healthcare: A condensed primer. International journal of health geographics. 2012 06;11:25.

-
- [54] Kada B, Alzubairi A, Tameem AY. Industrial Communication Networks and the Future of Industrial Automation; 2019. .
- [55] Belai I, Drahoř P. THE INDUSTRIAL COMMUNICATION SYSTEMS PROFIBUS AND PROFINet. Applied Natural Sciences. 2009 01.
- [56] Zhihong L, Pearson S. An inside look at industrial Ethernet communication protocols. Texas Instruments; 2018. Accessed: 2020-06-05. Available from: https://www.ti.com/lit/wp/spry254b/spry254b.pdf?ts=1592384995762&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.pt%252F.
- [57] Rojas C, Morell P. Guidelines for Industrial Ethernet infrastructure implementation: A control engineer's guide. In: 2010 IEEE-IAS/PCA 52nd Cement Industry Technical Conference; 2010. p. 1–18.
- [58] PROFINET University. PROFINET Communication Channels;. Accessed: 2020-06-05. Available from: <https://profinetuniversity.com/profinet-basics/profinet-communication-channels/>.
- [59] Lugli A. Uma visão do protocolo industrial Profinet e suas aplicações;. Accessed: 2020-06-05. Available from: http://www.profibus.org.br/artigos_tecnicos/uma-visao-do-protocolo-industrial-profinet-e-suas-aplicacoes.

Anexos

Anexo A

Esquemas Elétrico

Este anexo mostra algumas páginas de esquema elétrico realizado para o equipamento do caso de estudo 1 – Sistema automático de rastreabilidade para a linha de produção da roda de coroa e montagem das caixas de velocidades. Nas seguintes figuras estão representadas três páginas do esquema elétrico, em que a da figura A.1 representa a distribuição de potência e comando da mesa rotativa e do motorreductor, e nas imagens A.2 e A.3 são representadas as páginas referentes à integração do sistema de marcação laser no sistema de controlo e na cadeia de segurança da máquina.

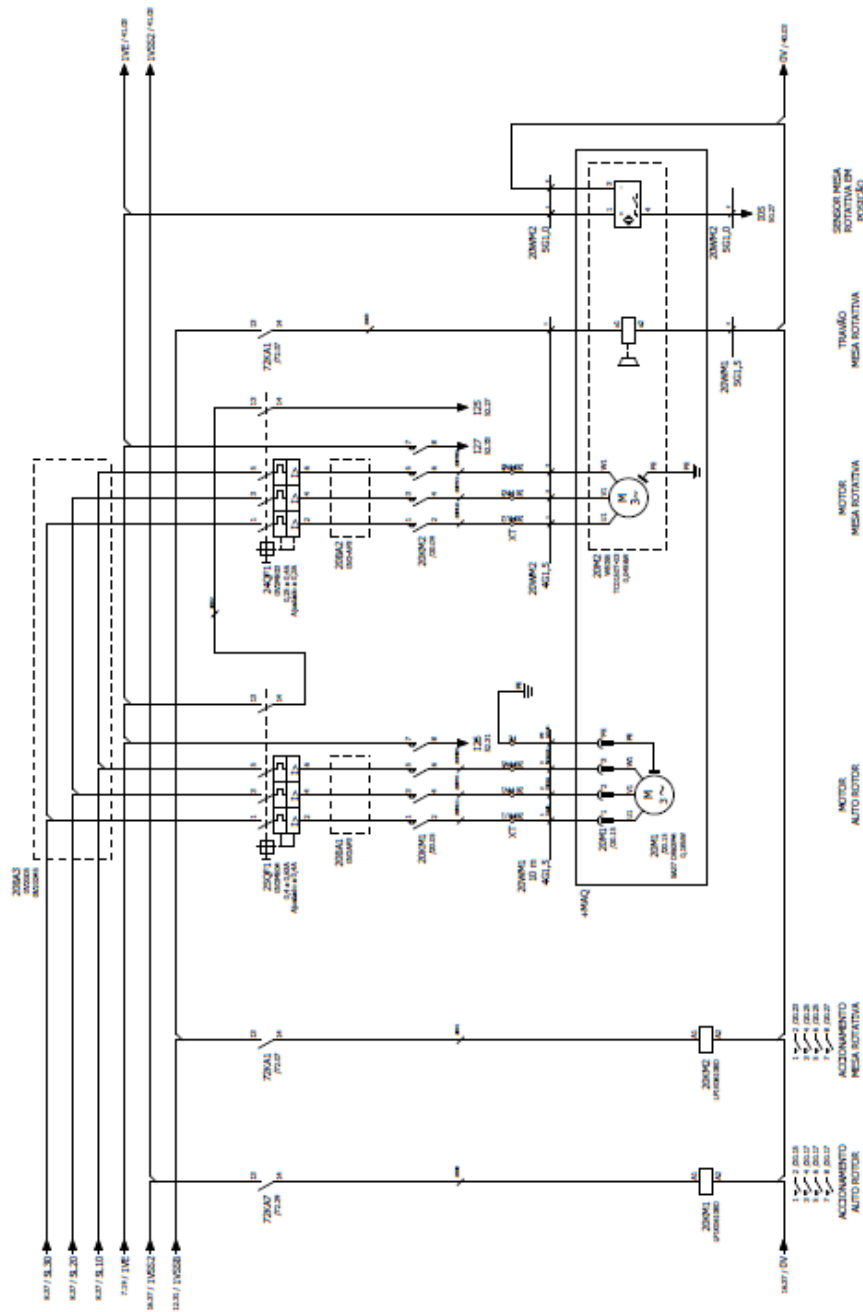


Figura A.1: Esquema elétrico – distribuição de potência e comando para os elementos motores

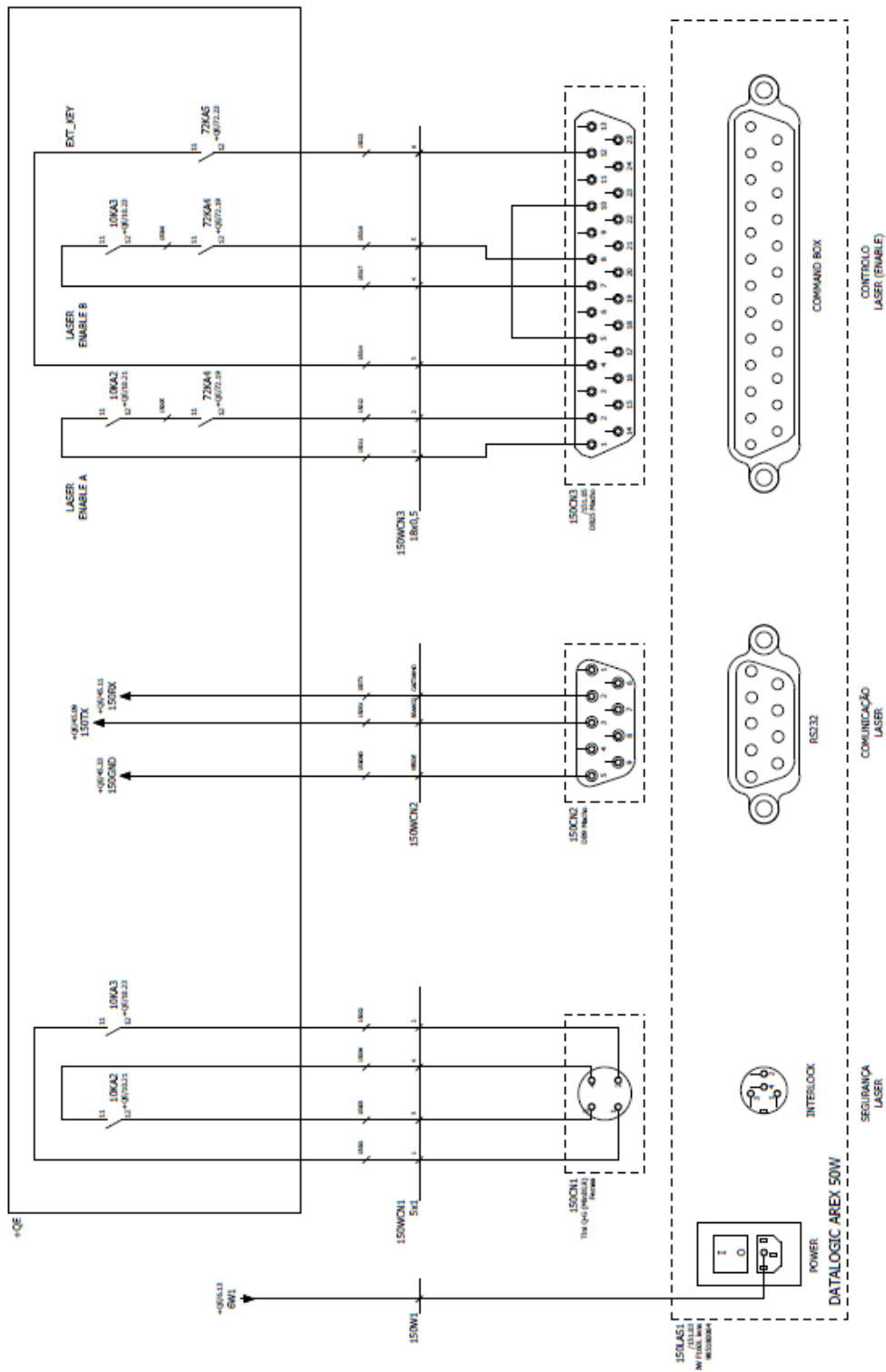


Figura A.2: Esquema elétrico – alimentação, comunicação Rs-232 e integração na cadeia de segurança do sistema de marcação laser

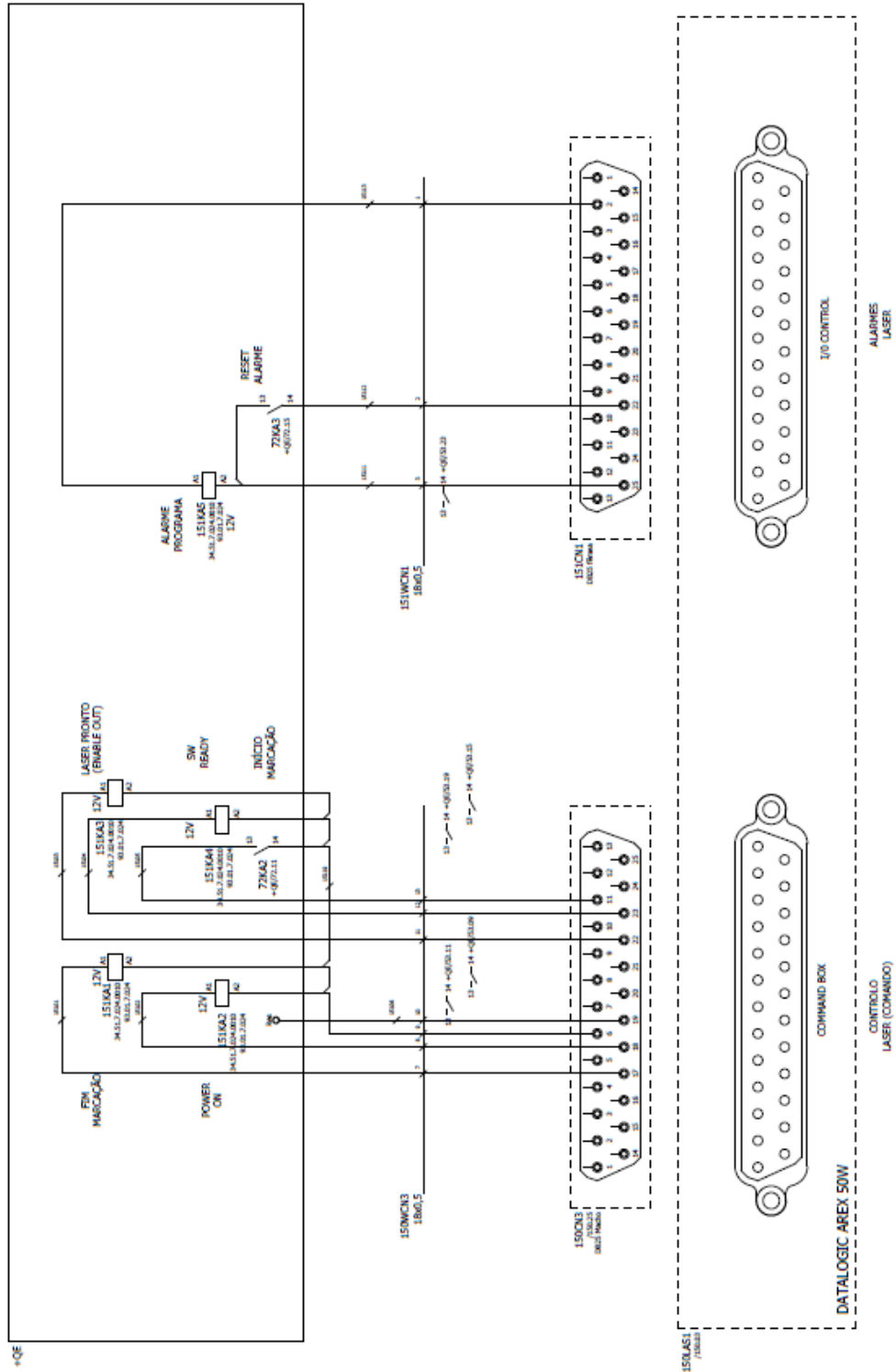


Figura A.3: Esquema elétrico – sinais digitais entre PLC e sistema de marcação laser

Anexo B

Caso de estudo 1 - Sistema automático de rastreabilidade para a linha de produção da roda de coroa e montagem das caixas de velocidades

B.1 Cadeias de segurança

As representações que são ilustradas nesta secção não esquematizam os circuitos elétricos, apenas servem como guia para simplificar a percepção de como as cadeias de segurança se relacionam entre si e com o sistema de controlo do equipamento.

Como mencionado na secção 4.3.1, a máquina possui duas cadeias de segurança principais: a geral e a das barreiras imateriais. A geral, ilustrada na figura B.1, é composta pelo fecho de segurança da porta do posto de medição e o botão da paragem de emergência do equipamento que são monitorizados por um relé de segurança PNOZ s4, e pelo fecho de segurança da porta do posto de marcação que é monitorizado por outro relé de segurança idêntico. Quando uma das portas é aberta e/ou a paragem de emergência é acionada, o respetivo relé deteta o ocorrido pela monitorização em duplo canal dos elementos de segurança. Desta forma, a alimentação elétrica que passa nos contactos normalmente abertos dos relés é cortada, perfazendo a segurança funcional do equipamento em relação as estas funções de segurança.

Por outro lado, a cadeia de segurança das barreiras imateriais está em série com a geral. Se o campo varrido pelas barreiras imateriais for intersetado ou a cadeia de segurança geral for interrompida, a alimentação resultante desta cadeia também é cortada e o comando para rodar a mesa rotativa deixa de fazer efeito. As barreiras imateriais também estão ligadas em duplo canal com o relé de segurança, como é ilustrado na figura B.2.

Assim sendo, a alimentação elétrica protegida pela cadeia de segurança geral alimenta o último módulo de potência do ET200S e os *outputs* dos módulos de 16DIO. Isto permite que todos estes sinais digitais de saída do sistema de controlo da máquina possam comandar todos os elementos móveis ao mesmo tempo que a segurança é garan-

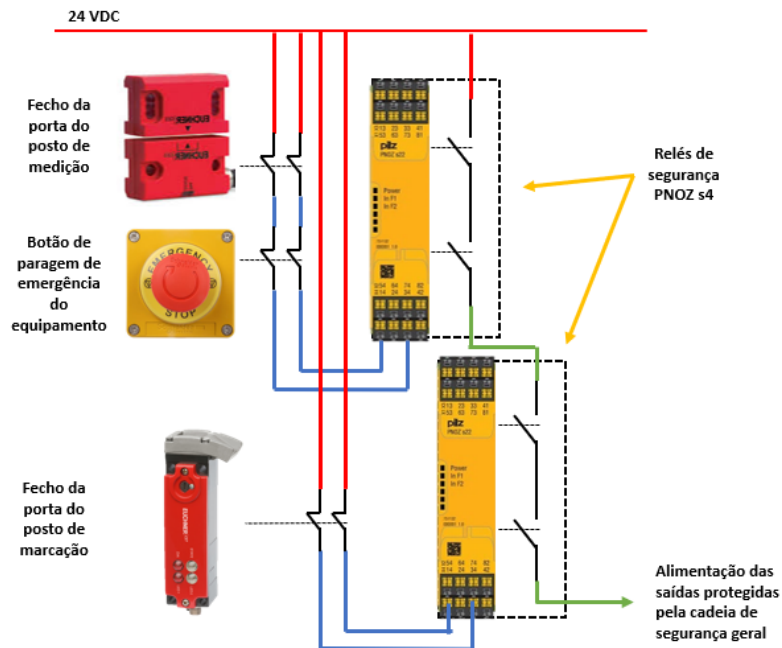


Figura B.1: Cadeia de segurança geral do equipamento

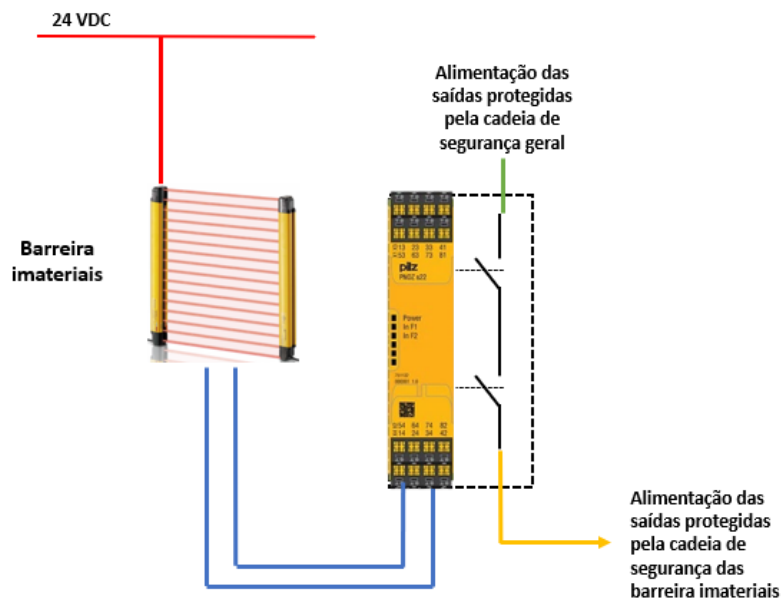


Figura B.2: Cadeia de segurança das barreiras imateriais

tida. Quanto à mesa rotativa, o circuito de potência passa por dois contactores antes de alimentar o motor. Um dos contactores está ativo sempre que há alimentação da cadeia de segurança das barreiras imateriais e o sinal digital que atua a mesa ativa o outro contactor, conseguindo-se assim um comando da mesa rotativo protegido pelas cadeias de segurança.

B.2 Interfaces homem-máquina

O equipamento possui vários dispositivos para que os utilizadores consigam monitorizar o estado, interpretar facilmente ações pretendidas e controlar o equipamento. Dentro desses dispositivos destacam-se um painel de controlo que inclui vários botões e sinais luminosos e ainda a consola de diálogo, uma coluna luminosa e um indicador luminoso no posto de carga.

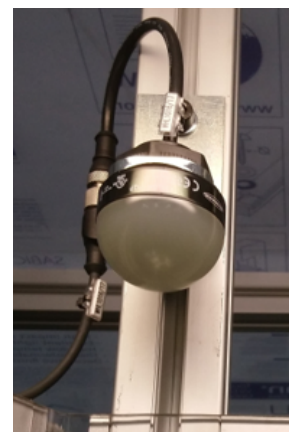
B.2.1 Coluna e indicador luminosos

A coluna luminosa (figura B.3a) possui três cores: vermelho, amarelo e verde. Quando o sinal vermelho está ligado permanentemente, significa que o equipamento encontra-se fora de serviço, caso se encontre intermitente, quer dizer que o equipamento tem alarmes ou defeitos ativos. O amarelo indica se o equipamento se encontra no modo manual, caso este sinal se encontre ligado permanentemente, ou existe alguma situação de perigo eminente ativa. Já o sinal verde ativo significa que equipamento está em modo automático: caso esteja permanentemente ativo, o ciclo contínuo está a ser executado, caso esteja intermitente, o equipamento está à espera que seja iniciado o ciclo automático.

Já o indicador luminoso implementado no posto de carga (figura B.3b), possui duas cores, vermelho e verde, e é um meio para dar *feedback* imediato da peça que o operador está a manipular. Na situação de descarga, a luz vermelha significa que a coroa não está conforme enquanto que a verde significa que o processo foi executado sem problema nenhum. Quando o operador está a carregar uma nova peça, caso a sua posição não esteja correta em relação ao gabarito da mesa, é ativada a luz vermelha, caso contrário é ativa a luz verde, indicando que pode iniciar o processo.



(a) Coluna luminosa



(b) Indicador luminoso

Figura B.3: Outros elementos homem-máquina implementados no equipamento

B.2.2 Painel de comando

O painel de comando (figura B.4) permite ao operador interagir com o equipamento. Para isso, além da consola de diálogo, dispõe de vários botões para controlo e também de sinais luminosos para perceber as ações pedidas pela máquina. A implementação dos botões tem o propósito de prolongar a vida útil do ecrã tátil da consola, e como se destinam a comandos frequentes, estes ficam dispostos de uma forma que o operador pode fácil e rapidamente identificar e aceder.



Figura B.4: Painel de controlo do equipamento

Os diversos comandos existentes no painel de comando encontram-se descritos na tabela B.1.

Tabela B.1: Comando e sinais do painel de comando do equipamento

Comando	Cor	Ação / Sinal	Função
Colocação em Serviço	Verde	Premir	Colocar o equipamento em serviço
		Sinal ativo fixo	Em serviço
		Apagado	Fora de serviço
Fora de Serviço	Vermelho	Premir	Colocação em fora de serviço
Origem	Laranja	Premir	Realizar Origem da Máquina
		Sinal ativo fixo	Máquina em Origem
		Sinal intermitente	Máquina fora de Origem
Man / Auto	Seletor preto	Seleção "Man"	Colocação em modo manual
		Seleção "Auto"	Colocação em modo automático
Início Ciclo	Verde	Premir	Iniciar Ciclo e/ou rearme das seguranças
		Sinal ativo fixo	Em ciclo automático
		Sinal intermitente	Máquina pronta para iniciar ciclo automático
Fim Ciclo	Vermelho	Premir	Finalizar ciclo automático
Anular Defeito	Vermelho	Premir	Anular defeitos existentes
		Sinal intermitente	Defeitos / alarmes ativos
Recuo	Verde	Premir	Recuar elemento móvel
		Sinal fixo	Elemento recuado
		Sinal intermitente	É possível recuar elemento
Avanço	Azul	Premir	Avançar elemento móvel
		Sinal fixo	Elemento avançado
		Sinal intermitente	É possível avançar elemento
Paragem de Emergência	Vermelho e amarelo	Premir Libertar	Acionamento para paragem de emergência
			Desativar paragem de emergência

B.2.2.1 Consola HMI

Nesta secção são mostradas algumas páginas da consola de diálogo criadas para que o utilizador possa verificar o estado da execução do processo em modo automático, movimentar os elementos móveis em modo manual e verificar o estado dos sensores, configurar os parâmetros de controlo das peças, calibrar os sensores, e visualizar aos alarmes do equipamento.

A página “Automático”, ilustrada na figura B.5a tem o propósito de mostrar o estado do processo nos diferentes postos de trabalho e a diversidade atualmente selecionada para trabalho.

A página “Manual” (figura B.5b) permite selecionar o elemento móvel que se pretende movimentar. Caso sejam detetadas as seguranças para os movimentos, pode-se realizar essa tarefa tanto através da consola como pelos comandos de “Avanço” e “Recuo” existentes no painel de comando.

A página “Calibração” (figura B.5c) é utilizada para calibrar os sensores analógicos de medição da posição e diâmetro. Para cada um deles, é apresentada a corrente atual produzida por eles e o seu significado em milímetros. Para calibrar, o operador coloca os calibres mínimo e máximo à vez, começando pelo mínimo. Define-se na posição e diâmetro mínimos o valor do calibre e prime-se “Definir Mínimo”. Realiza-se o mesmo

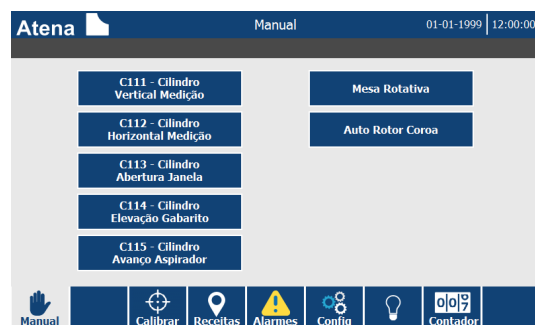
processo para o calibre máximo, definindo o valor máximo e premindo “Definir Máximo”. Durante o ciclo automático, é feita uma regressão linear baseada nestes valores para obter o valor atual de cada tipo de medição realizada na coroa.

Para um correto funcionamento das deteções realizadas pela máquina, devem ser definidos na página “Receitas” (figura B.5d) o intervalo de valores aceitáveis para o diâmetro e o valor da posição.

Por fim, nas páginas “Alarmes” e “Contadores”, ilustradas nas figuras B.5e e B.5f respetivamente, permitem visualizar os alarmes ativos e o histórico, a quantidade de peças conformes (“OK”) ou não conformes (“NOK”) e o tempo do ciclo do último processo e o atual (em segundos).



(a) Página “Automático”



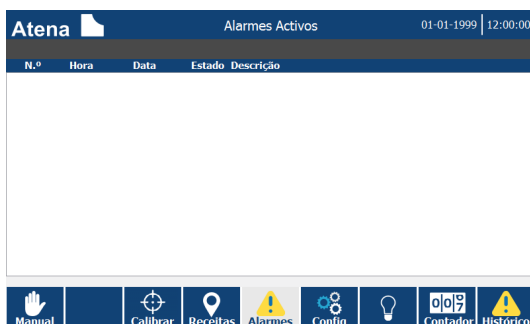
(b) Página “Manual”



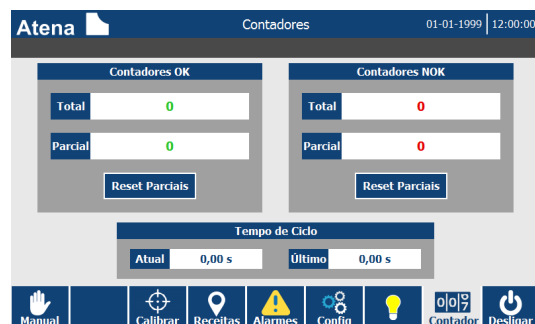
(c) Página “Calibração”



(d) Página “Receitas”



(e) Página “Alarmes”



(f) Página “Contadores”

Figura B.5: Páginas da consola HMI

B.2.3 Parâmetros da marcação laser

Na figura B.6 são ilustradas as configurações obtidas para cada objeto na gravação primária e para a limpeza.

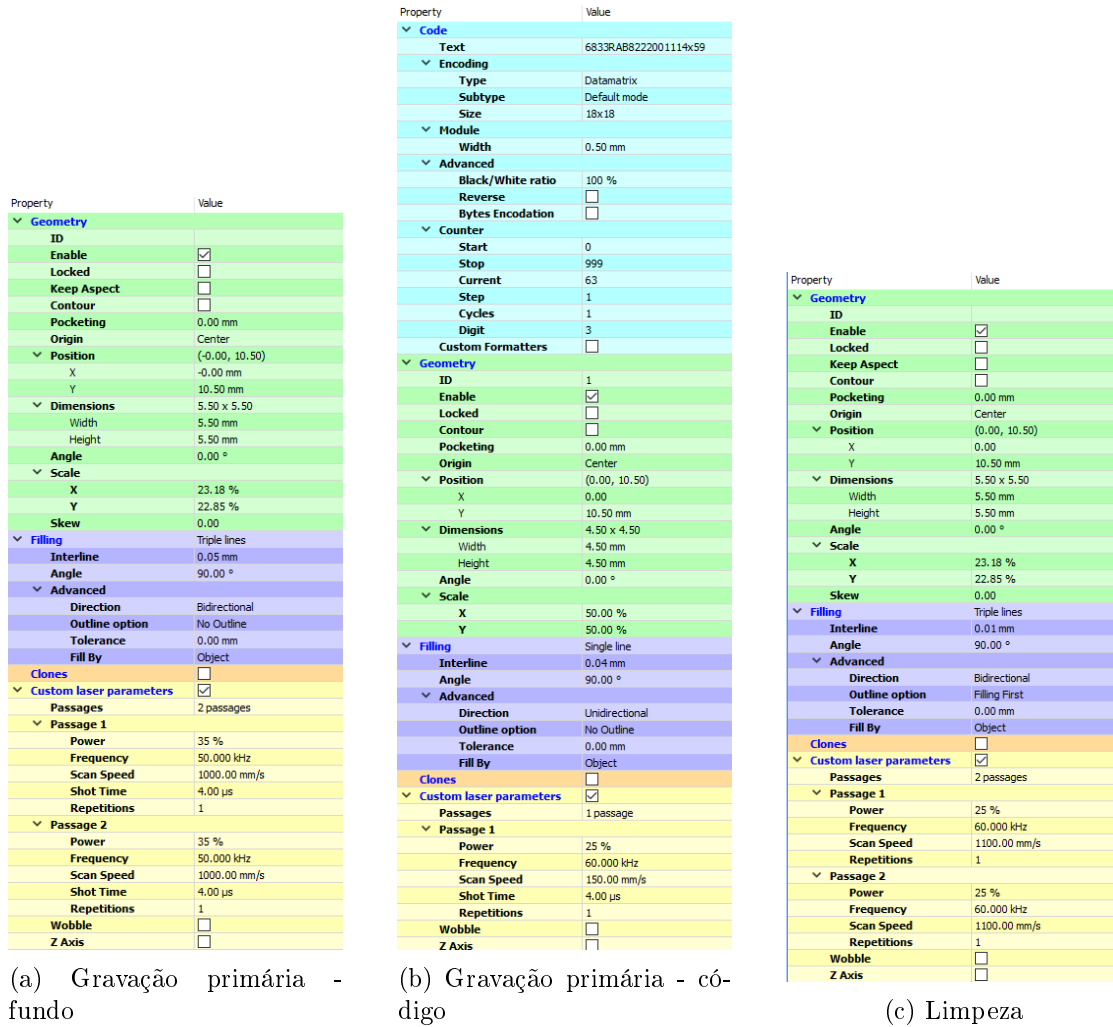


Figura B.6: Parâmetros otimizados para a aplicação de gravação do *DataMatrix* nas coroas

Anexo C

Caso de estudo 2 - Linha de magnetização e controlo de garfos

C.1 Aplicação de visão artificial – interface gráfica

Esta secção continua a explicação das restantes páginas da aplicação de visão artificial iniciada na secção 5.3.4.

A página “Vision” (figura C.1) permite ao utilizador modificar os parâmetros de deteção de defeitos da análise (área mínima e diâmetro equivalente mínimo) e realizar a análise de imagem a partir de um ficheiro ou de uma câmara em específico.

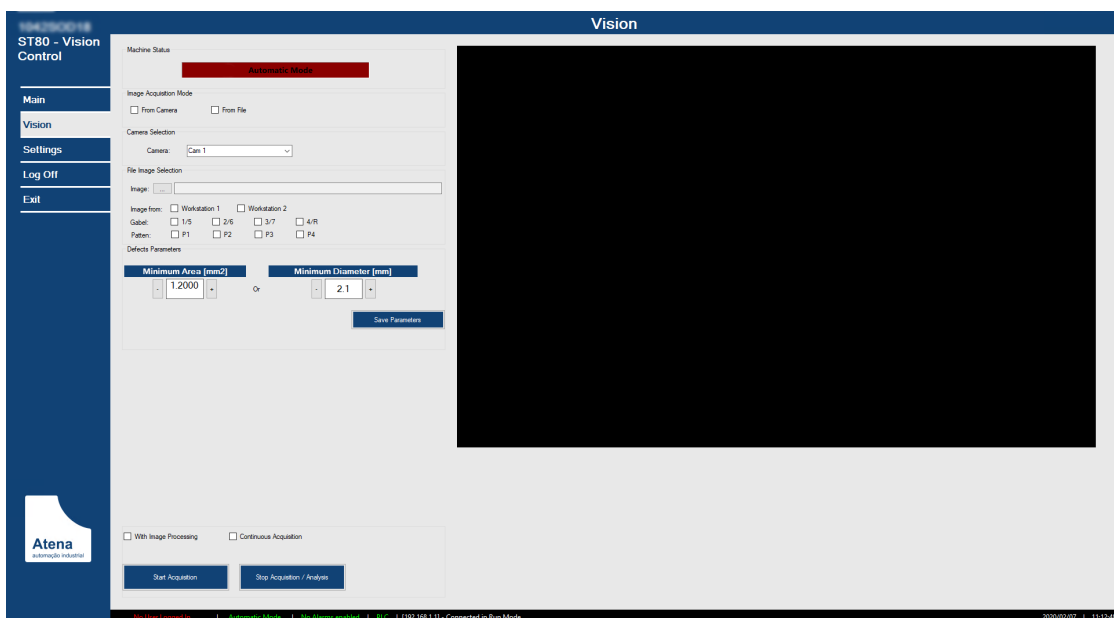


Figura C.1: Página “Vision”

Nas seguintes duas figuras (figuras C.2 e C.3) são ilustrados o resultado consequente da alteração dos parâmetros da análise de imagem, num cenário em que se está a adquirir continuamente a imagem de uma câmara.

Em relação à página “General” das configurações (figura C.4), é permitido ao uti-

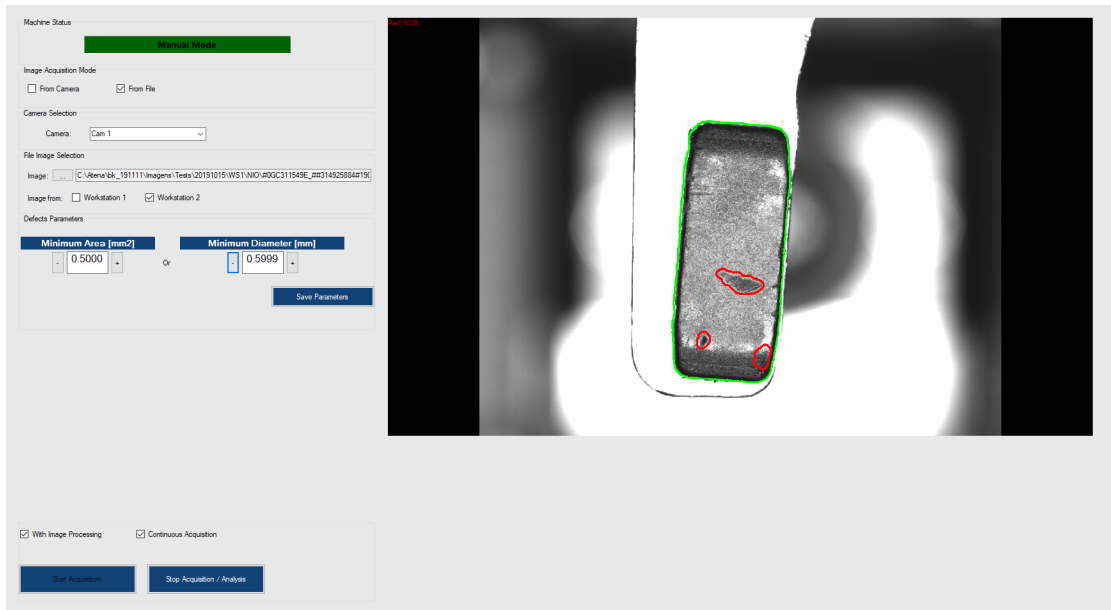


Figura C.2: Parâmetros com área mínima de $0,5\text{mm}^2$ ou $0,6\text{mm}$ de diâmetro equivalente

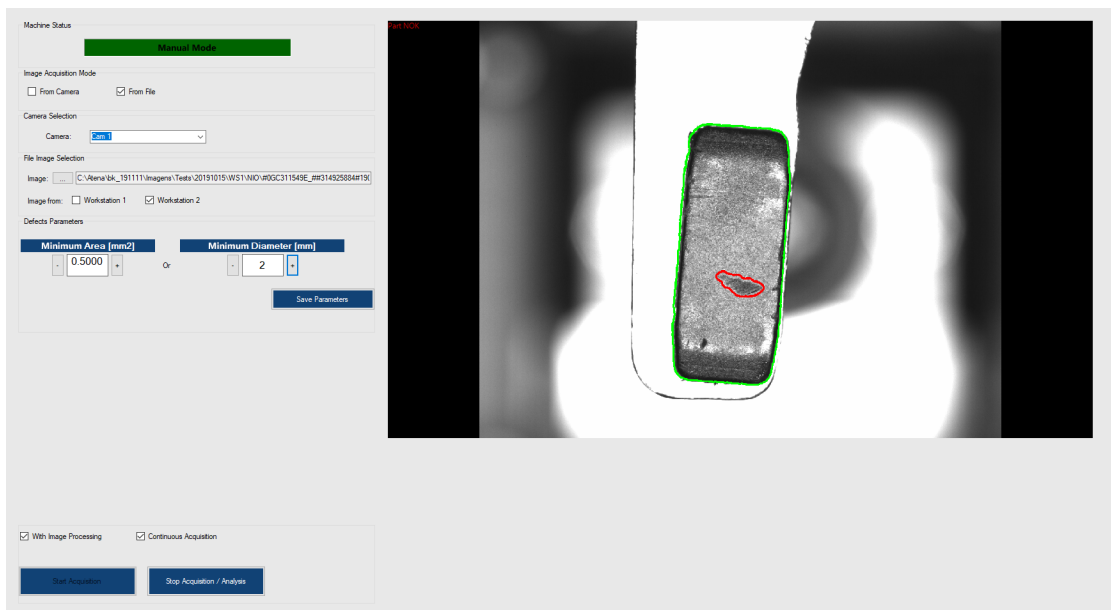


Figura C.3: Parâmetros com área mínima de $0,5\text{mm}^2$ ou 2mm de diâmetro equivalente

lizador definir se pretende guardar as imagens e seleccionar os directórios onde estas são guardadas, definir o limite de espaço ocupado pelas imagens em disco, e seleccionar o idioma da aplicação.

Por fim, a página “PLC” (figura C.5) foi criada com o intuito de fazer a monitorização das variáveis de comunicação entre o PLC e a aplicação, e ainda permitir definir um novo IP do controlador, útil caso este seja reconfigurado.

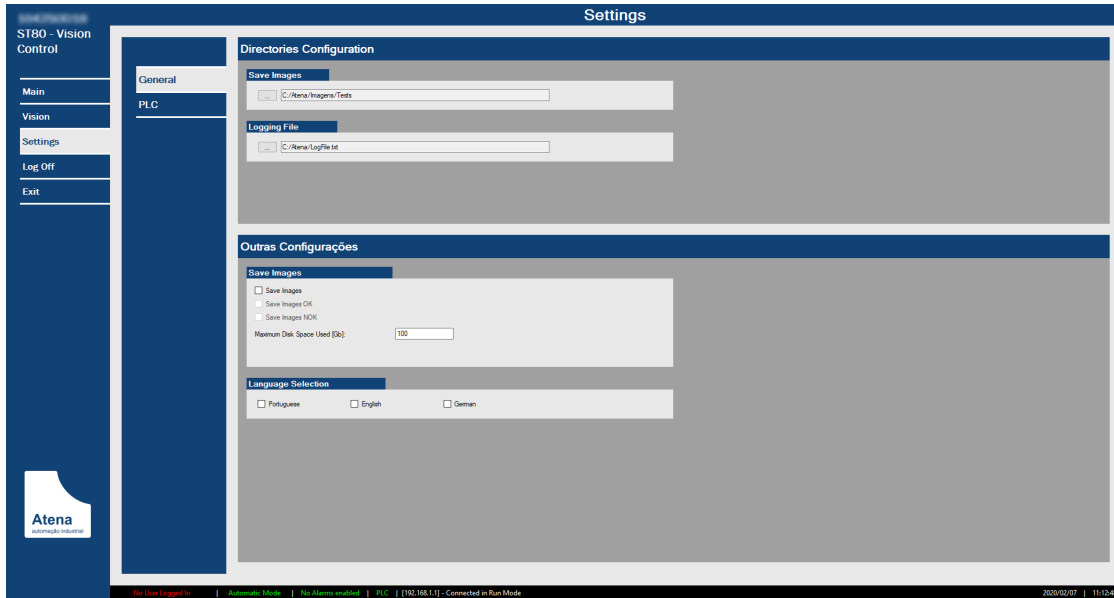


Figura C.4: Página “General” – configurações gerais da aplicação

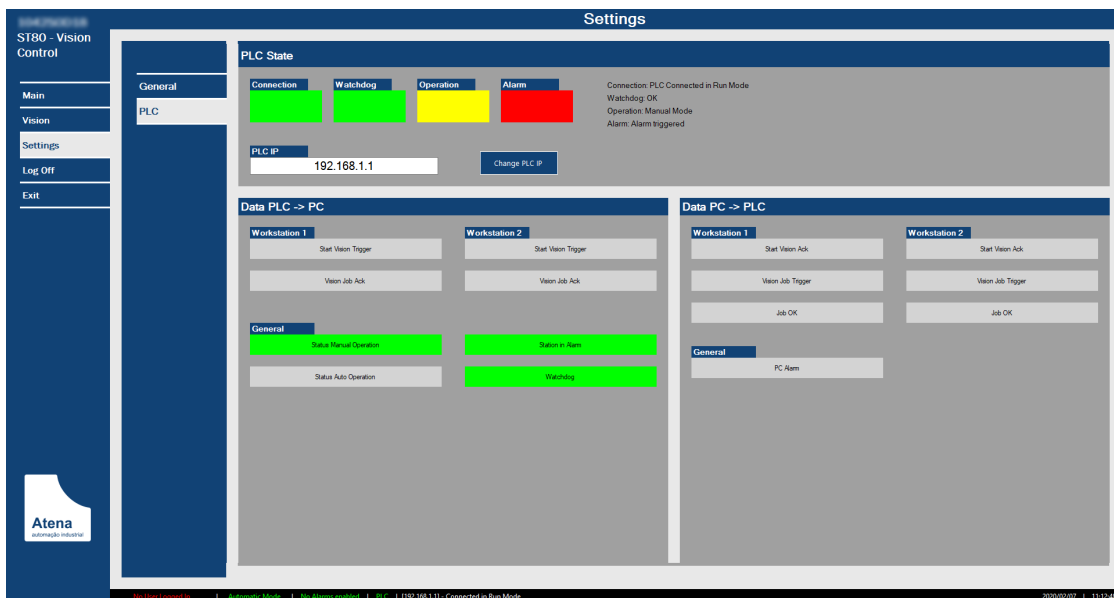


Figura C.5: Página “PLC” – monitorização das variáveis de comunicação e monitorização do estado geral dos postos de controlo visual

Anexo D

Caso de estudo 3 - Linha de controlo de cárteres de embraiagem JT

D.1 Aplicação de rastreabilidade

Como referido na secção 6.3.4, este anexo destina-se a detalhar as restantes páginas desenvolvidas para a aplicação da rastreabilidade dos cárteres e contentores.

A página *Consultar* está dividida em duas partes: uma que permite pesquisar na tabela *TabelaCarteres* através de um código DataMatrix específico ou num intervalo de tempo pretendido (figura D.1); na outra parte, é possível efetuar a pesquisa de contentores por código de identificação ou intervalo de tempo, mostrando também na parte inferior da janela, todos os cárteres que pertencem ao contentor selecionado (figura D.2).

The screenshot shows the 'Consultar' application interface. On the left is a sidebar menu with options: Geral, Consultar, Configurações, Logout, and Sair. The main area is titled 'Consultar' and 'Cárteres'. It features a search area with 'Aplicar período' (Date range: 2020-05-19 00:00:00 to 2020-05-19 23:59:59) and 'Código' (S010440319) filters. Below this is a table with columns: ID, Data, Hora, Código DataMatrix, Referência, Código, Sítio, and Localização_Imagem. The table contains 24 rows of data. Below the table, there are sections for 'Dados do Carter Selecionado' and 'Dados do Contentor Selecionado'. The 'Dados do Carter Selecionado' section includes fields for 'Data e Hora' (19/05/2020 11:33:55), 'Referência' (304015768R), 'Localização da Imagem' (D:\Carter\Imagens\HR10\304015768R\2020-05-19_11h35m13s_S01044...), and 'Código Sítio' (S010440319). The 'Dados do Contentor Selecionado' section includes fields for 'Tipo de Carter' (NA), 'Código DataMatrix' (304015768R A 5 0 140 0006 -C), 'Tipo de Carter' (HR10), 'Data e Hora' (01/01/1990 00:00:00), 'Programa Ateq' (3), and 'Valor de Fuga'. At the bottom, there is a table for 'Assinaturas das OPs' with columns: Posto, Descarga, Fotografia, Etiquetagem, Controle, NOK, Vizador NOK, and Estanqueidade. The values are: Posto (0), Descarga (154), Fotografia (153), Etiquetagem (143), Controle (142), NOK (141), Vizador NOK (140), and Estanqueidade (1).

Figura D.1: Página de consulta de cárteres na base de dados

Por outro lado, a página *Configurações* tem um menu que permite navegar nas seguintes sub-páginas: *Geral*, *Estado do PLC* e *Base de Dados*.

Figura D.2: Página de consulta de contentores na base de dados

A primeira sub-página (figura D.3) permite ao utilizador configurar a localização da pasta onde está o ficheiro de parametrização da câmara e da pasta partilhada com o PC da fotografia. Também é possível definir nesta página o tipo e o diretório dos ficheiros de exportação diária da produção de carácter e contentores; também é definido um tempo, em dias, para efetuar uma limpeza regular da base de dados, de forma a manter a integridade do sistema.

Figura D.3: Sub-página *Geral* da *Configurações*

A segunda (figura D.4), à semelhança do que foi implementado nas outras aplicações, tem o propósito de mostrar o estado das variáveis, configurar o IP do autómato e visualizar os códigos de erros possíveis de ocorrer durante a execução das funções de manipulação de imagens e pastas, e de ligação à base de dados.

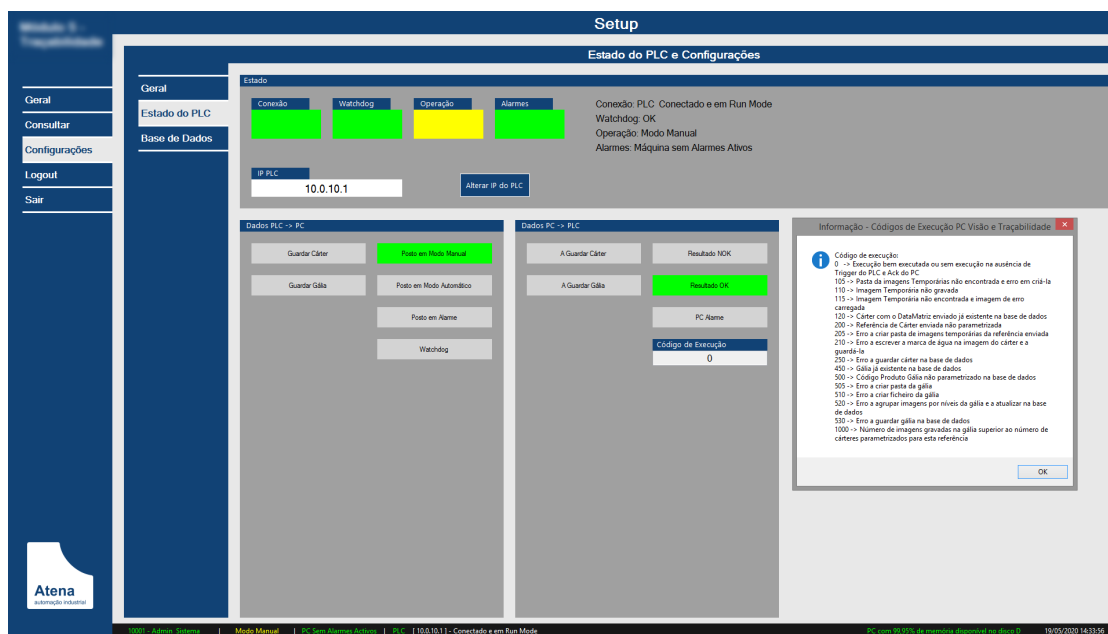
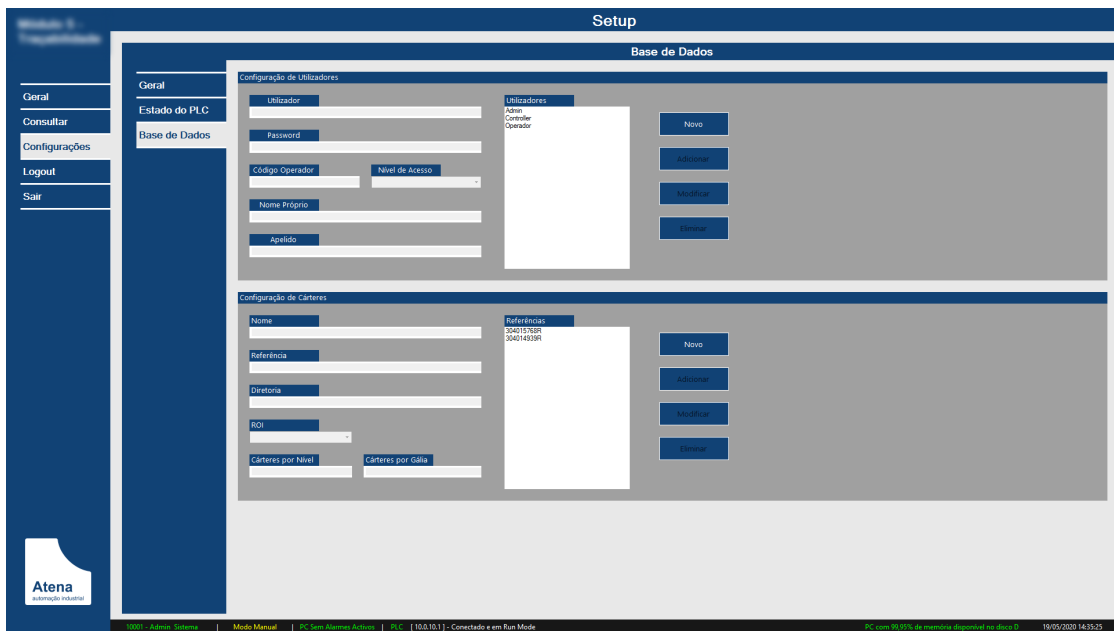


Figura D.4: Sub-página *Estado do PLC* da *Configurações*

Na sub-página *Base de Dados* (figura D.5), são configurados os utilizadores do sistema de autenticação e também as referências que são trabalhadas na linha, que são dados da tabela *TabelaRastreabilidade*.

Figura D.5: Sub-página *Base de Dados* da *Configurações*