



## Dispositivo auxiliado por robô para marcação LTA de pneus

**MARIANA FERREIRA SANTOS**

Setembro de 2023

# DISPOSITIVO AUXILIADO POR ROBÔ PARA MARCAÇÃO LTA DE PNEUS

Mariana Ferreira Santos

Departamento de Engenharia Eletrotécnica  
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial



Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de  
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: Mariana Ferreira Santos, Nº 1180840, 1180840@isep.ipp.pt

Orientação científica: Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras, mcf@isep.ipp.pt

Empresa: Gislotica – Projeto e Fabrico de Sistemas Mecânicos Lda

Supervisão: Humberto Ramos Mendonça, humberto.ramos@gislotica.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de Especialização em Sistemas e Planeamento Industrial

**2023**



## *Agradecimentos*

Agradeço à Gislotica pela oportunidade de realizar um estágio nas suas instalações, assim como a todos os seus colaboradores, pelos bons momentos e partilha de conhecimento.

Agradeço ao meu orientador, Humberto Ramos, pelo seu acompanhamento e disponibilidade ao longo de todo o trabalho, em particular, pelas palavras de apoio ditas no final do estágio.

Um grande agradecimento ao meu orientador, Carlos Felgueiras, por me ajudar ainda antes de me conhecer, por mitigar as minhas complicações e pessimismos, terminado sempre com *we'll see*.

Gostaria de agradecer especialmente ao Jelson por todas as ajudas, paciência e principalmente por nunca me ter deixado desistir, mesmo nos piores momentos.

Por última e sem dúvida mais importante, agradeço aos meus pais e avós, pois sem eles não estaria onde estou hoje. Da mesma maneira que sofrem comigo, nas alturas mais difíceis, também celebraram as minhas conquistas. Apesar de certamente já se terem esquecido do nome do curso, foram um porto de abrigo para mim e uma fonte de apoio incondicional.



## *Resumo*

Perante a existência de não uniformidades em pneus, muitos fabricantes recorrem a máquinas industriais, como aquelas desenvolvidas na Gislotica, que identificam pontos distanciados irregularmente do centro geométrico do pneu com uma *Quality Mark* (QM), através de uma marcação por transferência de calor, do inglês *Label Thermal Application* (LTA). Estas máquinas industriais apesar de eficazes são bastante dispendiosas e rígidas, não podendo ser reprogramadas. O objetivo deste trabalho consiste no desenvolvimento de uma alternativa mais flexível com recurso a um robô FANUC, cumprindo os requisitos impostos pela empresa. Neste sentido, foi feito um estudo das máquinas produzidas em fábrica e de outros conceitos teóricos considerados fundamentais para a compreensão do trabalho como as definições de pneu, robótica industrial e visão artificial. De seguida, iniciou-se a componente prática do estágio com a montagem da ferramenta de marcação e respetiva calibração recorrendo ao *software* ROBOGUIDE. A fase seguinte e mais demorada do trabalho consistiu no desenvolvimento de um programa de marcação para o robô e programação do PLC. Finalmente, foram realizados testes para validação das implementações e da viabilidade do trabalho desenvolvido. Tudo isto encontra-se devidamente documentado ao longo desta dissertação bem como as respetivas conclusões inerentes aos resultados obtidos e cumprimento dos requisitos, dificuldades encontradas e implementações de futuro.

## *Palavras-Chave*

Pneus, máquinas industriais, Gislotica, QM, LTA, robô FANUC, *software* ROBOGUIDE, ferramenta de marcação, PLC.



## *Abstract*

Considering the existence of non-uniformities in tires, many manufacturers resort to industrial machines, such as those developed at Gislotica, which identify point irregularly distant from the geometric center of the tire with a Quality Mark (QM), through a Label Thermal Application (LTA). These industrial machines, although effective are quite expensive and rigid, and cannot be reprogrammed. The objective of this work is to develop a more flexible alternative using a FANUC robot, while meeting the company's requirements. In this sense, a study was conducted on factory-produced machines and other theoretical concepts considered essential for understanding the work, such as the definitions of tire, industrial robotics, and computer vision. Subsequently, the practical component of the internship began with the assembly of the marking tool and its calibration using the ROBOGUIDE software. The next and more time-consuming phase of the work consisted of developing a marking program for the robot and programming the PLC. Finally, tests were conducted to validate the implementations and the feasibility of the developed work. All of this is properly documented throughout this dissertation, including the corresponding conclusions regarding the obtained results and compliance with the requirements, difficulties encountered, and future implementations.

## *Keywords*

Tires, industrial machines, Gislotica, QM, LTA, FANUC robot, ROBOGUIDE software, marking tool, PLC.



# Índice

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>ACRÓNIMOS .....</b>	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO .....	2
1.2.OBJETIVOS .....	3
1.3.CALENDARIZAÇÃO .....	4
1.4.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO .....	4
1.5.APRESENTAÇÃO DA EMPRESA .....	5
<b>2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....</b>	<b>9</b>
2.1. O PNEU .....	10
2.2. UNIFORMIDADE DO PNEU.....	14
2.3.MARCAÇÃO DE QUALITY MARKS.....	21
2.4.FERRAMENTA DE MARCAÇÃO.....	22
2.5.ROBÓTICA INDUSTRIAL .....	23
2.6.COMUNICAÇÃO PROFINET.....	30
2.7.VISÃO ARTIFICIAL .....	32
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>36</b>
3.1.PRESENÇA DA ROBÓTICA NA INDÚSTRIA DOS PNEUS .....	37
3.2.PRESENÇA DA ROBÓTICA NA GISLOTICA.....	38
3.3.CÉLULAS DE MARCAÇÃO E VALIDAÇÃO DE PNEUS .....	39
<b>4. PROPOSTA DE SOLUÇÃO .....</b>	<b>42</b>
4.1. REQUISITOS .....	43
4.2. PROPOSTA DE FUNCIONAMENTO DO PROJETO .....	44
4.3. ARQUITETURA .....	47

<b>5. IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO.....</b>	<b>49</b>
5.1.FERRAMENTA DE MARCAÇÃO .....	50
5.2.PARTE ELÉTRICA .....	51
5.3.PARTE PNEUMÁTICA .....	52
5.4. <i>SOFTWARE</i> .....	54
5.5. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS .....	60
<b>6. VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>7. CONCLUSÕES.....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO A. DATASHEET HPDSYSTEM MOTO KBA.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO B. DATASHEET FANUC ROBOT R-2000IC 210F.....</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO C. ESQUEMA ELÉTRICO E PNEUMÁTICO .....</b>	<b>79</b>

## Índice de Figuras

Figura 1	Empresa Gislatica – vista exterior das instalações fabris.	6
Figura 2	Presença da Gislatica em diversos países espalhados pelo globo [2].	7
Figura 3	Principais elementos da estrutura comum de um pneu [5].	10
Figura 4	Identificação da informação na <i>sidewall</i> de um pneu [8].	12
Figura 5	Código de barras na <i>sidewall</i> de um pneu.	14
Figura 6	Eixos de atuação de forças num pneu [12].	14
Figura 7	Não uniformidades geométricas (a) Depressão (b) Saliência.	16
Figura 8	Medição da excentricidade (a) Radial (b) Lateral [14].	16
Figura 9	Representação da VFR e respetivos harmónicos [16].	17
Figura 10	Variação da Força Lateral (a) Gráfico da VFL ao longo do perímetro do pneu (b) Representação da VFL [14].	18
Figura 11	Representação da conicidade [17].	19
Figura 12	Telas mecânicas tradicionais (a) Simples (b) Sobrepostas [14].	20
Figura 13	Balaceamento (a) Estático (b) Dinâmico [14].	21
Figura 14	Ferramenta de marcação.	23
Figura 15	Interface ROBOGUIDE HandlingPRO.	29
Figura 16	Comunicação PROFINET [32].	31
Figura 17	Topologia da comunicação PROFINET [33].	32
Figura 18	Sistema de visão artificial.	33

Figura 19	Estação robotizada de carregamento automático de bobinas [2].	38
Figura 20	Estação robotizada de aplicação de silicone no interior de um pneu [2].	38
Figura 21	<i>Spotting Station, Combo Marking Station e Inspection Station</i> [2].	39
Figura 22	Síntese de funcionamento das máquinas.	44
Figura 23	Fluxograma da sequência de funcionamento do trabalho.	45
Figura 24	Posição vertical da ferramenta em relação à zona de marcação.	46
Figura 25	Ciclo de marcação QM (a) Subida do cilindro (b) Marcação.	46
Figura 26	Arquitetura do trabalho.	47
Figura 27	Constituintes da ferramenta de marcação (a) KBA (b) Cilindro (c) Sensores.	50
Figura 28	Sensores (a) Cilindro- <i>up</i> (b) Cilindro- <i>down</i> .	50
Figura 29	Controlador do KBA.	51
Figura 30	Apresentação da disposição da cablagem.	51
Figura 31	Esquema Pneumático.	52
Figura 32	Montagem real do <i>hardware</i> pneumático (a) Cilindro Garra (b) Troca de ferramenta (c) Regulador KBA (d) Regulador Cilindro KBA.	54
Figura 33	PLC S7 1214C DC/DC/DC.	56
Figura 34	GRAFCET do trabalho desenvolvido.	57
Figura 35	Sinais lógicos de alimentação e marcação do KBA.	58
Figura 36	Ligações físicas da ferramenta (a) Disjuntor 24V DC (MICO) (b) PLC (c) Carta PROFINET Molex (d) Fonte de alimentação.	59
Figura 37	Troca de dados entre controlador e dispositivos.	59

Figura 38	Marcações (a) <i>Dot</i> branco (b) Rolo no interior do KBA.	61
Figura 39	Troca de ferramenta (a) Acoplada no robô (b) Acoplada na ferramenta.	62
Figura 40	Vista frontal e lateral (a) Caixa de derivação (b) respectivo suporte.	64
Figura 41	Validação das marcações e dupla marcação.	65
Figura 42	Solução provisória para superfície de apoio à marcação.	65
Figura 43	Posições do robô (a) <i>Home</i> (b) <i>Approach</i> (c) <i>Center</i> .	66



## *Índice de Tabelas*

Tabela 1	Calendarização do trabalho	4
Tabela 2	Parâmetros de uniformidade	15
Tabela 3	Validação de marcações QM por requisito	22
Tabela 4	Vantagens da robótica industrial [22]	27
Tabela 5	Atribuição de registos de coordenadas	55



# *Acrónimos*

AGV - *Automated Guided Vehicle*

CAD - *Computer Aided Design*

DC - *Direct Current*

DOF - *Degrees Of Freedom*

DOT - *Department Of Transportation*

EOAT - *End Of Arm Tool*

HMI - *Human Machine Interface*

IRT - *Isochronous Real Time*

LED - *Light Emitting Diode*

LFPP - *Lateral Force Peak-to-Peak*

LRO - *Lateral Runout*

LTA - *Label Thermal Application*

NRT - *Non Real Time*

PC - *Personal Computer*

PLC - *Programmable Logic Controller*

QM - *Quality Marks*

RFPP - *Radial Force Peak-to-Peak*

RRO - *Radial Runout*

RT - *Real Time*

TCP - *Tool Center Point*

TF - *Tool Frame*

VFL - *Variação de Força Lateral*

VFR - *Variação de Força Radial*

# 1. INTRODUÇÃO

A indústria dos pneus encontra-se em constante crescimento e evolução, objetivando agilizar processos tornando-os mais eficientes e capazes de dar resposta à procura crescente e requisitos cada vez mais específicos dos clientes, assegurando padrões de qualidade e lucros para a empresa. Todo o processo de fabrico de pneus passa por uma monitorização e controlo rigoroso, assegurando o cumprimento das normas impostas pelos fabricantes e entidades responsáveis. Por esta razão, os fabricantes de pneus submetem-nos a testes de uniformidade para detetar imperfeições a nível de geometria ou distribuição de massa. Estas imperfeições têm origem em qualquer fase do processo de fabrico e correspondem a um ponto no pneu, que se encontra mais próximo ou mais afastado do seu centro geométrico. Se esta situação não for resolvida, ou pelo menos mitigada, trará consequências para o consumidor final a nível da performance do veículo e do desgaste prematuro e desigual do pneu. Uma solução adotada pelos fabricantes de pneus passa pelo alinhamento desse ponto de não uniformidade do pneu, identificado

com uma *Quality Mark* (QM) com um ponto de não uniformidade da respetiva jante. Esta união procura que ambas as não uniformidades se compensem mutuamente, obtendo um pneu o mais próximo possível do ideal. Investir nesta idealidade traz muitas vantagens, tais como aumento da vida útil do pneu, redução de ruídos, bem como aumento da segurança, performance e conforto de condução.

Atualmente, na Gislótica são desenvolvidas máquinas industriais automatizadas responsáveis por todo o processo de marcação, desde a deteção do pneu, leitura do respetivo código de barras, realização da marcação e validação da mesma. Apesar de eficazes, estas máquinas apresentam desvantagens associadas aos seus custos avultados, grande dimensão e impossibilidade de reprogramação. Assim, uma situação desejável é traduzida no propósito deste trabalho, passando pelo desenvolvimento de uma solução inovadora e flexível, com recurso a um robô FANUC, que permita a substituição das máquinas já existentes para a marcação de pneus. A utilização da robótica na indústria tem sido gradualmente mais recorrente, sendo já considerada um elemento fundamental para o sucesso de muitas empresas, conseguindo realizar várias tarefas e garantindo um elevado grau de rapidez e precisão. Devido à sua utilização em grande escala, os robôs tem vindo a ser alvo de interesse, estudo e evolução, com o objetivo de os tornar ainda mais inteligentes, fáceis de usar e financeiramente acessíveis.

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da unidade curricular de Tese/ Dissertação (TEDI), do 2º ano do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores (MEEC), da área de especialização de Sistemas e Planeamento Industrial, pertencente ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica (DEE), do Instituto Superior de Engenharia do Porto. Este documento visa reportar todo o trabalho desenvolvido em contexto de estágio na empresa Gislótica – Projeto e Fabrico de Sistemas Mecânicos.

Este projeto surgiu de uma proposta feita pela Gislotica, no seguimento interesse demonstrado pela realização de um estágio curricular na mesma, estando enquadrado na área da automação industrial. Consistindo no desenvolvimento e implementação prática de uma solução robotizada, com recurso a um robô FANUC, com o intuito da realização do processo de marcação de QM na parede lateral superior de pneus de variadas dimensões.

A aplicação deste projeto visa, numa fase posterior, substituir a função das três máquinas que são atualmente desenvolvidas na Gislotica e utilizadas para o processo de marcação de pneus, envolvendo o seu posicionamento, marcação e validação, com recurso a visão artificial. Apesar deste projeto ainda se encontrar numa fase muito inicial, irá servir como ponto de partida para o desenvolvimento e implementação de muitas funcionalidades, contribuindo significativamente para uma otimização e agilização de todo o processo, trazendo consigo benefícios tanto para a empresa como clientes e representando um grande avanço para a indústria dos pneus.

## 1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de uma solução robotizada para marcação de QM na parede lateral superior de pneus, com recurso a transferência de etiquetas por calor, do inglês *Label Thermal Application* (LTA). Esta solução flexível e inovadora visa ser explorada no futuro, de modo a tornar-se totalmente independente de intervenção humana e autónoma nas fases do processo (posicionamento, marcação e validação), sendo capaz de substituir as três máquinas utilizadas atualmente na Gislotica para a realização do mesmo.

Atendendo à duração do estágio curricular, bem como disponibilidade de recursos na empresa, foram estabelecidos os seguintes objetivos para este trabalho:

- Desenvolvimento do modelo da ferramenta de acoplamento ao braço do robô, em AutoCad;

- Desenvolvimento do esquema elétrico e pneumático do sistema;
- Desenvolvimento e montagem da ferramenta de marcação;
- Calibração da ferramenta e programação do robô com recurso a ROBOGUIDE;
- Desenvolvimento de uma aplicação de um PLC para sistema de marcação;
- Validação da proposta.

### 1.3. CALENDARIZAÇÃO

Ao longo do período de estágio, e com vista a contextualização apresentada, bem como objetivos estabelecidos, foram realizadas diversas tarefas. Na Tabela 1, é feita uma enumeração dessas mesmas tarefas e respetiva duração.

**Tabela 1** Calendarização do trabalho

Tarefas	fevereiro		março				abril					maio				junho			
	19	26	5	12	19	26	2	9	16	23	30	7	14	21	28	4	11	18	25
Análise do processo de marcação na empresa	█	█																	
Estudo e simulação com recurso a RoboGuide			█	█	█	█													
Investigação sobre pneus				█	█	█	█												
Investigação sobre visão artificial													█	█	█				
Desenvolvimento de modelos CAD da EOAT					█	█	█	█											
Investigação sobre robótica industrial									█	█									
Desenho de esquema elétrico e pneumático																			
Instalação prática do <i>hardware</i>																			
Calibração da ferramenta no RoboGuide																			
Programação do robô em RoboGuide																			
Estudo e programação de PLC																			
Implementação comunicação PROFINET																			
Realização de testes práticos																			
Validação dos resultados																			
Elaboração do relatório																			

### 1.4. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente relatório encontra-se dividido em 7 capítulos e respetivas subsecções.

Na Introdução é feita uma breve apresentação ao projeto, seguida da sua contextualização, objetivos a alcançar, bem como uma calendarização das suas várias etapas. Neste capítulo é ainda explicada a organização do relatório e por fim, apresentada a empresa onde decorreu o estágio.

Nos Conceitos Fundamentais, são introduzidos os conceitos teóricos considerados fundamentais das temáticas que acompanham todo o trabalho e que permitem a sua compreensão.

Na Revisão Bibliográfica são estudados exemplos de aplicações de robôs na indústria dos pneus, bem como as soluções industriais utilizadas pela Gislotica.

Na Proposta de Solução é apresentada a proposta de resolução do problema, incluindo arquitetura e funcionalidades.

Na Implementação da Solução é descrita toda a parte de implementação do trabalho, a nível de *hardware* e *software*, tanto do robô como do PLC.

Na Validação da Solução são exibidos e analisados os resultados obtidos nos testes de validação realizados.

Finalmente, nas Conclusões, é possível encontrar todas as conclusões do projeto, de forma sintetizada, bem como dificuldades encontradas e desenvolvimentos futuros.

## 1.5. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

Fundada em 2000, em Perafita distrito do Porto, a Gislotica – Projeto e Fabrico de Sistemas Mecânicos Lda, cujo edifício se encontra apresentado na Figura 1, é uma empresa de engenharia especializada no design e fabrico de máquinas e sistemas intrínsecos à indústria dos pneus, destacando os aplicadores de código de barras, lubrificação de *beads*, marcação de pneus, máquinas de pulverização robotizadas, sistemas de transporte, entre outros.



**Figura 1** Empresa Gislottica – vista exterior das instalações fabris.

A missão da empresa passa pela garantia, aos seus clientes, da prestação de serviços e desenvolvimento de produtos de qualidade, que permitem a sua distinção relativamente às demais. A nível de valores defendidos e política de qualidade, a Gislottica compromete-se no(a) ;

- Empenho numa presença competitiva no mercado;
- Utilização de materiais robustos e de qualidade;
- Satisfação dos requisitos do cliente;
- Cumprimento dos requisitos legais e regulamentares aplicáveis;
- Inovação e criatividade;
- Melhoria contínua do Sistema de Gestão de Qualidade.

Na Gislottica são desenvolvidos projetos e entregues concluídos na sua totalidade aos seus clientes, mantendo o foco na promoção da inovação e o desenvolvimento de soluções altamente automatizadas e adaptadas aos requisitos dos seus clientes espalhados pelo mundo, destacando a Continental, Goodyear, Pirelli, MRF Tyres, Apollo, Michelin, entre outros. A curto prazo, a Gislottica tem como objetivo a expansão da sua atividade para a manutenção industrial. Permitindo assim, uma aliança entre a sua experiência e as necessidades dos seus clientes, que procuram encurtar os tempos de paragem dos

equipamentos, com vista a maximização da produtividade e rentabilidade [1]. Atualmente, encontra-se sediada em vários países, nomeadamente Portugal, Índia, China e Bielorrússia, sendo que, já produziu máquinas especiais para a indústria dos pneus para mais de 30 países, tal como ilustrado na Figura 2.



**Figura 2** Presença da Gislötica em diversos países espalhados pelo globo [2].



## 2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Ao longo deste capítulo são apresentados os conceitos considerados fundamentais para a compreensão do trabalho desenvolvido e detalhado nos seguintes capítulos do relatório. Assim, é estudado em pormenor o pneu e respetivo conceito de uniformidade. De seguida é abordada a temática das *Quality Marks* (QM), ferramenta de marcação e robótica industrial. As últimas duas subsecções são dedicadas à comunicação PROFINET e visão artificial, respetivamente.

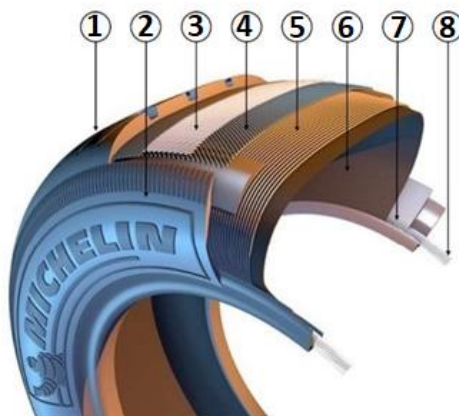
Importa salientar que, este trabalho engloba temáticas bastante extensas. Por esse motivo, considerou-se pertinente investir num trabalho de pesquisa, resultando num capítulo teórico longo, porém bastante completo e pertinente para uma boa compreensão do desenvolvimento e implementações práticas.

## 2.1. O PNEU

O pneu é um elemento incontornável na maioria dos veículos, sendo um forte condicionante a nível da performance, segurança e comodidade dos mesmos. Apesar de aparentemente simples, um pneu é um elemento de grande complexidade e alta tecnologia, resultado da combinação de uma grande variedade de componentes e diversas matérias primas. Dado que, é o único elemento que assegura o contacto direto entre a viatura e o piso, o pneu é desenvolvido objetivando a obtenção dos melhores desempenhos a nível de tração, resistência ao desgaste, estabilidade e conforto de condução. No entanto, estas características apenas são alcançáveis com um pneu o mais circular possível, pois no caso de existir alguma imperfeição, este poderá acabar com um formato oval ou até mesmo triangulado, afetando negativamente o seu desempenho e durabilidade. Antes da comercialização, todos os pneus são visualmente inspecionados durante a totalidade do processo de produção, e são posteriormente sujeitos a uma série de testes de avaliação de uniformidade, geometria e balanceamento [3], [4].

### 2.1.1. ESTRUTURA DO PNEU

A nível da estrutura física do pneu, pode ser feita uma identificação de 8 componentes, tal como ilustrado na Figura 3, relativa à vista em corte de um pneu ligeiro de construção radial.



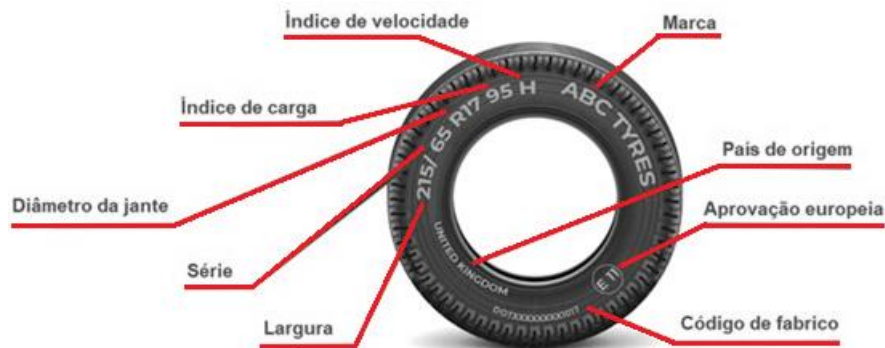
**Figura 3** Principais elementos da estrutura comum de um pneu [5].

Partindo da Figura 3 observa-se [5]–[7]:

1. Piso (*Tread*) - Camada de borracha em contacto direto e permanente com o solo, responsável pela aderência, resistência ao desgaste, conforto acústico e drenagem da água presente na superfície da estrada;
2. Parede lateral (*Sidewall*) - Camada de borracha cujas funções incluem a proteção do pneu contra danos externos que possam ocorrer na sua lateral, bem como o suporte da pressão dentro do próprio pneu;
3. Cintas de reforço (*Cap ply*) - Cintas de nylon envoltas em borracha, colocadas entre o piso e as cintas metálicas. Para além da redução do sobreaquecimento por fricção, ajudam a manter o formato geométrico do pneu a altas velocidades;
4. Cintas metálicas (*Steel belts*) – filamentos metálicos, normalmente em aço, revestidos a borracha, que otimizam a estabilidade direcional e a resistência do pneu;
5. Tela superior (*Body ply*) – constituída por fibras têxteis revestidas com borracha, responsável por conferir robustez a toda a estrutura do pneu;
6. Tela interior (*Inner Line*) – situada na parte mais interna do pneu, esta camada é responsável por formar uma barreira protetora contra a água, criando um espaço totalmente selado;
7. *Apex* – localizada na extremidade do talão e composta por borracha bastante dura;
8. Talão (*Bead*) – camada composta por filamentos de aço muito resistentes envoltos em borracha. A sua função é fixar o pneu à jante, assegurar a estanquicidade do pneu e fazer a transmissão do binário do motor desde a jante até ao pneu.

### 2.1.2. Identificações na parede lateral de um pneu

Como já foi referido, é necessário escolher um pneu adaptado à viatura e condições a que se destina. Essa escolha consciente parte da análise das informações presentes na parede lateral do pneu, tal como representado na Figura 4.



**Figura 4** Identificação da informação na *sidewall* de um pneu [8].

Observando as marcações de um pneu e tendo a Figura 4 como exemplo, é possível saber informações chave do mesmo, nomeadamente [8]–[10]:

- Largura – corresponde à distância milimétrica entre as laterais externas do pneu;
- Série/perfil – expressa a relação percentual entre a altura e a largura da secção;
- Construção – geralmente utilizada a letra “R” correspondente a construção radial, sobrepondo-se à construção diagonal;
- Diâmetro da jante – identifica a altura da jante, em polegadas;
- Índice de carga – código tabelado associado à capacidade máxima suportada pelo pneu;
- Índice de velocidade – código tabelado associado à velocidade máxima de um pneu com carga e pressão adequada;
- Marca e modelo – identificam a marca do fabricante e a designação do modelo;

- Câmara de ar – uma vez que, a maioria dos pneus atuais não utilizam câmara de ar, estes apresentam uma inscrição “*tubeless*”, em detrimento da antiga inscrição *tubetype*;
- Desgaste – tacos de borracha que servem de indicador da utilização do pneu;
- Pressão – valor máximo de pressão a frio recomendado pelo fabricante;
- Neve e gelo – pneus que apresentam o código M+S referem que estes estão preparados para a neve. Já o símbolo de três picos de montanha e um floco de neve (3pMSF) informa que o pneu foi submetido a rigorosos testes e que pode ser usado em condições extremas;
- País de origem – identifica país onde o pneu foi fabricado;
- Marcação europeia - os pneus usados na Europa contemplam, no interior de um círculo, um código alfanumérico indicativo da homologação, onde a letra E designa essa certificação e o número que a sucede, é o código do país que a aprovou;
- Fabrico - a acompanhar a marcação DOT (certificação americana referente a *Department Of Transportation*), há inscrições alfabéticas e numéricas. Os três primeiros grupos de códigos dizem respeito à fábrica, dimensões do pneu e opções do fabricante. Os quatro números mais à direita referem-se à data de fabrico: os dois iniciais indicam a semana e os dois últimos o ano.

Sabendo que os pneus tem uma extensa aplicação na manufatura automóvel, é fundamental conseguir fazer o seu rastreio ao longo de toda a cadeia de abastecimento [11]. Para isso, durante o seu processo de fabrico, cada pneu é marcado na sua *sidewall* com um código de barras único, visível na Figura 5, contendo todas as suas informações. Esta marcação para além de identificar o pneu, pode servir mais tarde como referencial ou um ponto zero na circunferência do pneu.



**Figura 5** Código de barras na *sidewall* de um pneu.

## 2.2. UNIFORMIDADE DO PNEU

O conceito de uniformidade do pneu está diretamente relacionado com as suas propriedades mecânicas dinâmicas, conseguidas a partir de um conjunto bem definido de padrões de medição e do seu desempenho em testes aprovados pelos fabricantes globais de pneus. Com esses valores, é possível separar os pneus que obtiveram bom resultados para serem vendidos no mercado, daqueles que ficaram abaixo dos *standards* impostos pela empresa.

### 2.2.1. EIXOS DE MEDIÇÃO

A fim de compreender os parâmetros da uniformidade do pneu, é necessário destacar que as forças a que um pneu está sujeito podem ser divididas em três eixos, nomeadamente radial, lateral e tangencial, como ilustrado na Figura 6.



**Figura 6** Eixos de atuação de forças num pneu [12].

O eixo radial é responsável pelo suporte do peso do pneu, dado que corresponde ao eixo vertical desde o topo do pneu até ao seu ponto de contacto com o solo, passando pelo seu centro. Relativamente ao eixo lateral, tal como o nome sugere, localiza-se lateralmente ao longo do piso (*tread*), em paralelo ao eixo de montagem do pneu no veículo. Por último, o eixo tangencial é aquele que se representa ao longo da direção de deslocamento do pneu [13].

### 2.2.2. PARÂMETROS DE UNIFORMIDADE

Idealmente, um pneu seria totalmente circular e homogéneo. No entanto, apesar de existir um controlo apertado durante todo o seu processo de fabrico, que permite uma minimização de determinadas irregularidades na estrutura do próprio pneu, estas não conseguem ser totalmente evitadas. A falta de uniformidade é uma questão que afeta diretamente as forças que se desenvolvem durante a rotação do pneu e que são posteriormente transmitidas ao veículo. Daqui resultam vibrações proporcionais à velocidade do veículo e que se vão manifestar sob a forma de ruído, vibração do volante, assentos, entre outros, causando um maior desgaste dos pneus, desconforto dos ocupantes e potenciais riscos de segurança. Os parâmetros de uniformidade, ou não uniformidade, podem ser agrupados em três categorias distintas, como mostra a Tabela 2, estando as respetivas descrições a seguir.

**Tabela 2** Parâmetros de uniformidade

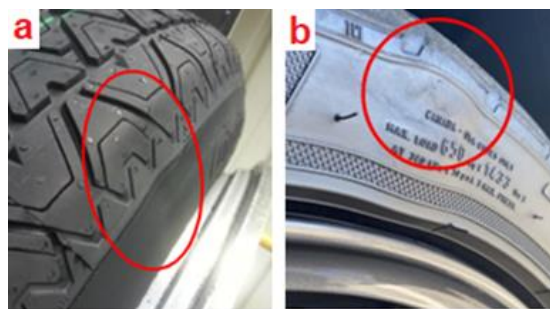
Geometria	Variação de forças	Balanceamento de massa
- Depressões e saliências; - Excentricidade radial e lateral.	- Variação da forma radial; - Variação da força lateral; - Conicidade; - <i>Ply Steer</i> .	- Balanceamento estático; - Balanceamento dinâmico.

#### Geometria

Existem várias irregularidades que podem ocorrer a nível da geometria de um pneu, daí que, ao realizar testes se procure identificar defeitos como depressões, saliências e excentricidades.

- **Depressões e saliências**

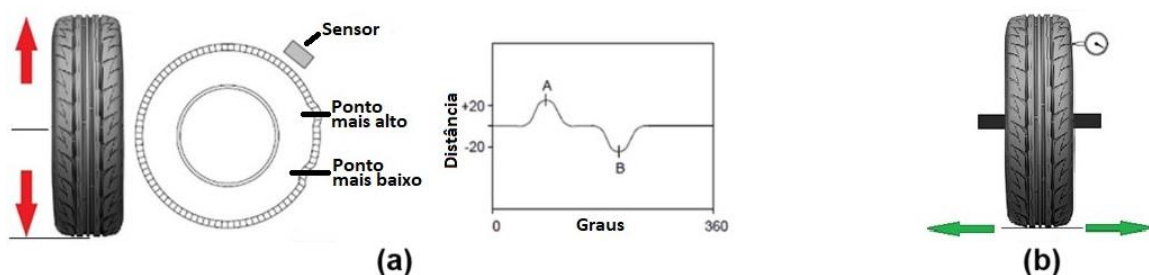
Por um lado, uma depressão, como se pode ver pela Figura 7 (a) é uma zona forte na parede do pneu que não se expande de igual medida quanto a sua área circundante quando o pneu é insuflado. Ou seja, uma zona de depressão é mais resistente à pressão. Por outro lado, uma saliência, como ilustrado na Figura 7 (b) é uma zona fraca na *sidewall* na parede do pneu. Por esse motivo, quando o pneu é sujeito a pressão, surge uma saliência nesse local que toma a forma de uma bolha.



**Figura 7** Não uniformidades geométricas (a) Depressão (b) Saliência.

- **Excentricidade radial e lateral**

A excentricidade radial, mais conhecida como *Radial Runout* (RRO), é uma medição que retorna a variação do raio ao longo de todo o perímetro de um pneu, como ilustrado na Figura 8 (a). Uma vez detetado um descentramento radial é sinónimo que, o pneu não é perfeitamente circular e apresenta variações positivas ou negativas no seu raio.



**Figura 8** Medição da excentricidade (a) Radial (b) Lateral [14].

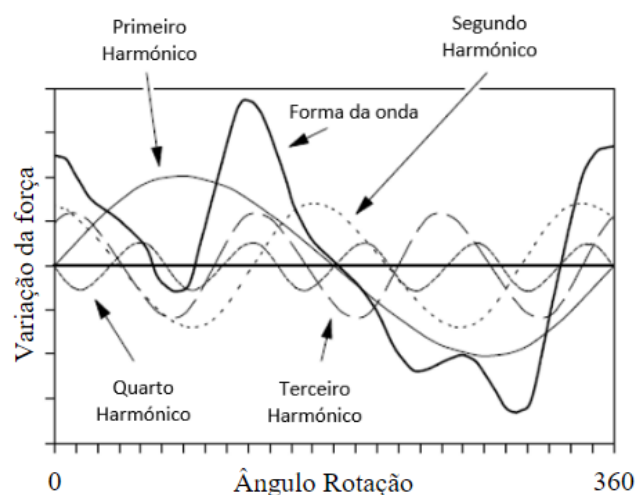
Relativamente à excentricidade lateral ou *Lateral Runout* (LRO), é feita uma medição entre o ponto mais afastado do centro do pneu, paralelamente ao seu eixo de rotação, de modo a identificar desvios na *sidewall*, tal como mostra a Figura 8 (b).

### Variações de forças

Com a finalidade de simular uma situação real, o pneu é testado com o seu eixo de rotação fixo e pressionado contra um tambor simulando a estrada, sendo submetido a um esforço que resultará em forças. Tal como em todos os outros parâmetros, o ideal será ter as forças exercidas pelo pneu no veículo o mais próximo de zero. Caso fosse possível seria conseguido o pneu ideal. Na prática não é isso que acontece, pois ocorrem variações nessas forças [15].

- **Variação da Força Radial (VFR)**

Aquando do seu movimento, isto é, quando um pneu está em rotação e sob a carga do veículo, a sua força radial desenvolve variações. Essas variações compreendem um valor máximo e um valor mínimo, cuja sua diferença representa uma força radial pico a pico, também conhecida por *Radial Force Peak-to-Peak* (RFPP). De modo a parametrizar certos aspetos do comportamento dinâmico do pneu, pode ser aplicada a Transformada de Fourier, obtendo os seus vários harmónicos, tal como mostra a Figura 9.

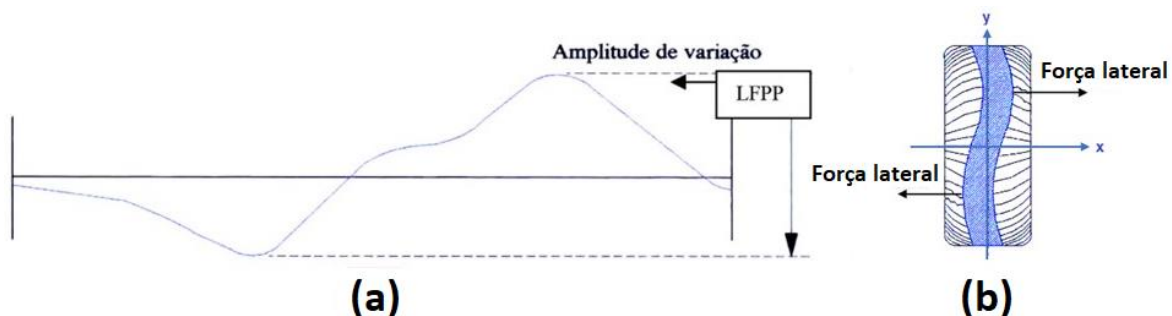


**Figura 9** Representação da VFR e respetivos harmónicos [16].

O primeiro harmónico, designado por FR1H, expressa a magnitude da variação da força que exerce um pulso no veículo uma vez por rotação. Já o segundo harmónico, o FR2H, expressa a magnitude da força radial que exerce um pulso no veículo duas vezes por rotação e assim sucessivamente. Conforme o número dos harmónicos aumenta, estes tornam-se menos problemáticos, pois a velocidade de rotação do pneu nas velocidades de estrada multiplicada pelo seu valor harmónico faz com que perturbações em frequências tão elevadas sejam sobrepostas por outras condições dinâmicas do veículo.

- **Variação da Força Lateral (VFL)**

A variação da força lateral vai depender do sentido de rotação, horário ou anti-horário, e é caracterizada por um gráfico de variação ao longo do perímetro do pneu. Esta variação é calculada como valor pico a pico, podendo ser representada pela sigla LFPP que em inglês significa *Lateral Force Peak-to-Peak*, como é possível observar pela Figura 10 (a). A medição desta força é feita da mesma forma que a RFPP, ou seja, submetendo o pneu a uma carga que simula, por exemplo, o peso do veículo, sendo medida no sentido horário e anti-horário.



**Figura 10** Variação da Força Lateral (a) Gráfico da VFL ao longo do perímetro do pneu (b) Representação da VFL [14].

O fator mais frequente na origem deste fenómeno é a ondulação nas cintas metálicas. Partindo do princípio que as cintas metálicas estão dispostas em *zig-zag*, quando o pneu for sujeito a carga e movimento, este tende a tocar no chão com a parte mais dura, levando o pneu a puxar a direção nesse sentido. Tal é possível observar na Figura 10 (b), na metade superior, o pneu puxa o carro para a direita, criando uma força lateral nesse sentido. Na metade inferior a situação repete-se, mas no sentido oposto. Estas

alterações na força lateral são sentidas pelos ocupantes da viatura sob o efeito de vibrações na direção.

- **Conicidade**

A conicidade é um parâmetro que se desenvolve durante o processo de produção, baseia-se no efeito da VFL e reflete-se numa distribuição não uniforme da borracha pelo pneu, fazendo com que, quando se aplica uma pressão, um dos lados do pneu inche mais do que o outro, resultando numa forma tendencialmente cônica, como ilustrado na Figura 11.



**Figura 11** Representação da conicidade [17].

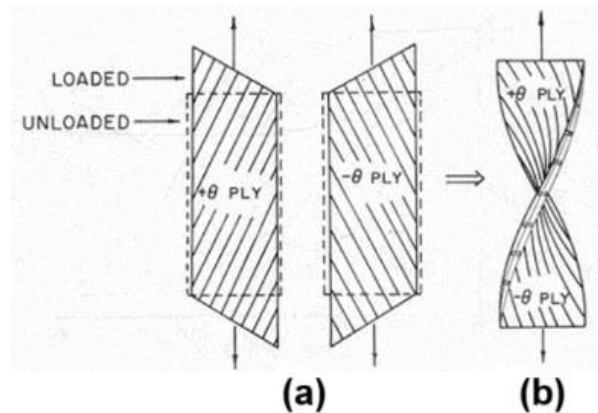
Esta situação afeta negativamente o desempenho de direção do veículo, pois a força lateral tem o sentido do vértice do cone, e permanece inalterável aquando da mudança do sentido da rotação.

De forma a compensar este efeito é fundamental que os pneus com igual nível de conicidade sejam montados em lados opostos do veículo, tornando-se assim essencial que o fabricante de pneus determine este valor e classifique os pneus em grupos de valores semelhantes.

- **Ply Steer**

*Ply Steer* é causada pela disposição das telas metálicas quando o pneu rola para a frente e para trás. Dado que as telas são sobrepostas com um ângulo entre si, tal como mostra a Figura 12, aquando da aplicação de forças de tração, por exemplo, as telas vão deformar-se e criar um efeito de rotação, que se irá fazer notar na direção do veículo. Esta

característica é frequentemente descrita como *andar de caranguejo*, dado que existe um movimento para os lados, enquanto se mantém uma orientação em linha reta. Contrariamente à conicidade, o *Ply Steer* altera o sentido da força com a mudança do sentido de rotação [18], [19].



**Figura 12** Telas mecânicas tradicionais (a) Simples (b) Sobrepostas [14].

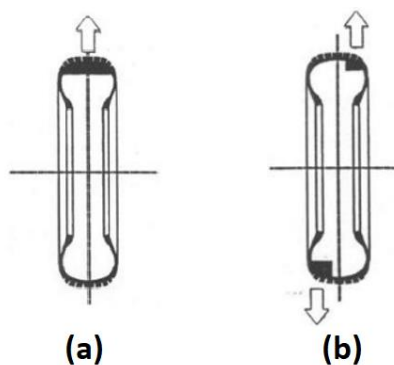
### **Balanceamento de massa**

Aquando do processo de fabrico de pneus, podem surgir pequenos problemas de balanceamento, causados por uma distribuição irregular da massa do pneu, resultado das diferenças de espessura dos materiais utilizados. No caso destas irregularidades serem demasiado evidentes, é razão para suspeitar que existam outros problemas de não uniformidade, caso contrário, estas podem ser facilmente corrigidas adicionando pesos nas jantes.

Adicionalmente, existem dois tipos de balanceamento, estático e dinâmico, podendo ser descritos da seguinte forma [3], [14], [20]:

- **Balanceamento estático**

O balanceamento estático reflete-se num excesso de massa relativamente ao eixo vertical do pneu, como é possível observar pela Figura 13 (a), que irá gerar uma variação periódica nas forças radial e lateral do pneu.



**Figura 13** Balanceamento (a) Estático (b) Dinâmico [14].

- **Balanceamento dinâmico**

O balanceamento dinâmico caracteriza-se por uma distribuição da massa assimétrica relativamente ao eixo vertical do pneu, tal como ilustra a Figura 13 (b), onde é possível identificar excesso de material na zona superior e inferior do pneu. A nível de consequências, estas irão refletir-se no aparecimento da variação de um momento de subviragem no eixo longitudinal e uma variação do momento de alinhamento no eixo vertical, sendo notório na direção do veículo, fazendo com que o volante vibre.

### 2.3. MARCAÇÃO DE *QUALITY MARKS*

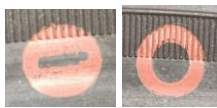



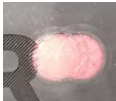
Aquando do processo de produção de pneus, os fabricantes são obrigados a respeitar determinadas regras e a incluir certas informações, tais como tamanho, índice de carga, data de produção, entre outros, tal como já foi referido anteriormente. Em adição, na *sidewall* do pneu podem existir umas pequenas marcações coloridas. Estas marcações são conhecidas como Marcas de Qualidade, do inglês *Quality Marks* (QM). Estas podem ser de vários formatos (*pintas/dots*, *donuts*, triângulos, letras, etc) e de várias cores (branco, vermelho, amarelo ou verde), conforme especificações definidas pelo cliente.

A ideia subjacente à marcação de uma QM é a sinalização do ponto de união do pneu. Ou seja, este ponto está identificado para que na sua montagem, seja fácil de detetar o ponto de não uniformidade do pneu que, por uma questão de equilíbrio, deve coincidir com a montagem da jante. Por vezes, os fabricantes das jantes também fazem uma

marcação QM na própria jante. Uma boa união pneu-jante visa eliminar possíveis vibrações que prejudicam o conforto de condução e provocam um desgaste anormal e prematuro dos pneus. [21].

Após o processo de marcação, é realizada uma validação da QM, com recurso a visão artificial de modo a detetar possíveis erros. Na Tabela 3 estão apresentados os requisitos que são avaliados aquando da validação da marcação e respetivos resultados.

**Tabela 3** Validação de marcações QM por requisito

Requisitos	Descrição	Exemplo	Resultado
Tamanho	Deteção do tamanho correto		Aprovado
Cor	Deteção da cor correta		Aprovado
Tipo de marcação	Distinção entre marcas		Aprovado
LTA incompleta	Marcas parcialmente removidas		Reprovado
Dupla marcação	Pneu marcado duas vezes		Reprovado

## 2.4. FERRAMENTA DE MARCAÇÃO

A marcação das QM pode ser por duas técnicas distintas: *inkjet* ou transferência térmica. No caso *inkjet*, ou seja jato de tinta, cada ferramenta de marcação possui um depósito de tinta, que é expelida aquando da marcação. Uma grande desvantagem é a necessidade de manutenções periódicas do sistema, pois seca facilmente. No caso da transferência térmica, a marcação é realizada através de um rolo, sendo a estampagem da QM realizada por transferência de calor. Este processo para além de não requerer tantas

manutenções, também faz com que a marcação não se apague com tanta facilidade, como acontece no caso do *inkjet*.

Para os efeitos deste trabalho, foi considerada a marcação por transferência térmica, tendo sido utilizada uma ferramenta específica denominada hpdSYSTEM modelo Moto, da KBA, representada na Figura 14. De modo a facilitar a leitura e compreensão, ao longo do trabalho, esta será apenas designada por KBA.



**Figura 14** Ferramenta de marcação.

Esta ferramenta consegue fazer até 60 estampagens por minuto, num range de temperaturas desde os 50°C aos 220°C, com uma duração de 20 x 2000 milissegundos por impressão e a uma pressão de 580 Newton a 6 bar. Adicionalmente, tem como requisitos elétricos 24V DC, *Direct Current*, com tolerância de 10% e 125 VA. As restantes especificações deste equipamentos podem ser consultadas no anexo A.

## 2.5. ROBÓTICA INDUSTRIAL

O conceito de robótica foi utilizado pela primeira vez em 1942 pelo cientista e escritor Isaac Asimov numa pequena história e mais tarde, em 1950, num livro de compilações intitulado "*I robot*". Com isto, foram introduzidas as três leis da robótica e posteriormente a lei zero [22] :

**1ª Lei** – Um robô não pode fazer mal a um ser humano e nem, por inação, permitir que algum mal lhe aconteça.

**2ª Lei** – Um robô deve obedecer às ordens dos seres humanos, exceto quando estas contrariem a primeira lei.

**3ª Lei** – Um robô deve proteger a sua integridade física, desde que, com isso não contrarie as duas primeiras leis.

**“Lei Zero”** – Um robô não pode fazer mal à humanidade e nem, por inação, permitir que ela sofra algum mal.

Relativamente ao conceito de robô, ainda não existe uma definição única e universalmente aceita. No entanto, de forma inteligível, pode ser definido como uma máquina automatizada que executa tarefas atribuídas a seres humanos. Segundo a *Robotic Industries Association* (RIA), um robô industrial consiste num dispositivo multifuncional reprogramável, projetado para manipular materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especializados através de movimentos pré-definidos. Os robôs podem ser programados para executar um vasto leque de tarefas em diferentes áreas e setores [23].

Ao nível industrial, os robôs começaram por ser utilizados em processos de soldadura e transporte de material. Com o passar do tempo, estes foram evoluindo e obtendo cada vez melhores resultados, tendo se alargado para as áreas de maquinaria, acabamentos e polimentos. Atualmente, predominam os robôs manipuladores, os veículos autoguiados, também conhecidos por *Automated Guided Vehicle* (AGV) e robôs colaborativos, isto é, robôs que foram desenvolvidos para operar em simultâneo com humanos, sem necessidade de existir barreiras entre eles [24].

### **2.5.1. CONSTITUIÇÃO DE UM ROBÔ INDUSTRIAL**

No que diz respeito à constituição de um robô industrial, este é tipicamente composto pelas seguintes partes [22]:

- Estrutura mecânica – composta normalmente por base, corpo, braço e punho. O braço e o punho do robô são constituídos por partes rígidas, chamadas elos, que se

encontram ligados entre si por juntas, tipicamente rotacionais (R) ou prismáticas/deslizantes (P).

- Atuador final – garra ou ferramenta concebida conforme a função destina;
- Atuadores – permitem o movimento das juntas do robô (motores, cilindros hidráulicos, pneumáticos, entre outros);
- Controlador – interface com o utilizador que permite controlar as juntas do robô;
- *Teach pendant* ou consola de programação – consola de controlo manual e de programação do robô;
- Sensores – sensores internos fornecem informação sobre o estado do sistema (posição, velocidade, força, ...) e sensores externos permitem ter uma perceção do ambiente (posição, imagem, ...).

### 2.5.2. CONCEITOS BÁSICOS DA ROBÓTICA

De maneira a facilitar a comunicação e implementação deste tipo de sistemas é necessário ter conhecimento de certos conceitos base e terminologias fixas associadas às características dos robôs, nomeadamente [25], [26]:

- Volume de trabalho (*workspace*) – corresponde a todos os pontos que o robô consegue alcançar no espaço tridimensional;
- Espaço morto – simboliza os pontos que o robô não consegue atingir, devido às suas limitações de juntas;
- Alcance – corresponde ao ponto mais distante, em relação à base, que a garra ou ferramenta do robô consegue atingir no espaço;
- Graus de liberdade (*Degrees of Freedom* - DOF) – está relacionado com o número de movimentos independentes que o manipulador consegue executar, sendo que, esses

movimentos podem ser de três tipos: vertical (*pitch*), horizontal (*yaw*) e rotacional (*roll*);

- Capacidade de carga – a capacidade de carga nominal diz respeito ao valor máximo de carga que o manipulador consegue transportar, à velocidade máxima, enquanto que a capacidade de carga máxima é medida a uma velocidade reduzida, sendo que, em nenhum dos casos, a precisão seja afetada;
- Velocidade de operação – corresponde à velocidade máxima (angular, linear ou de um junta) à qual o manipulador executa uma determinada tarefa previamente definida;
- Aceleração – um robô com uma maior capacidade de aceleração tende a ser mais rígido. Este facto mostra-se particularmente relevante quando se aplica a robôs de alta desempenho;
- Resolução – reflete o menor incremento possível, entre dois pontos, que o manipulador consegue realizar, correspondente ao menor movimento incremental de uma junta;
- Exatidão/Precisão – representa o quão próximo o manipulador do robô, mais especificamente o *Tool Center Point* (TCP) se encontra de um determinado ponto pré-definido (*target*);
- Repetibilidade - Caracteriza-se pela capacidade do robô conseguir retornar a uma determinada posição previamente atingida de forma repetitiva. A repetibilidade de um robô será tanto maior quanto menor for a discrepância entre o conjunto de pontos efetivos e o ponto desejado.

### **2.5.3. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE ROBÔS**

Indubitavelmente, a utilização de robôs traz consigo muitas vantagens. Estas podem manifestar-se a nível técnico, económico e sociológico, como representado na Tabela 4.

**Tabela 4** Vantagens da robótica industrial [22]

Nível Técnico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Colmatação das limitações humanas em termos de precisão, rapidez, uniformidade e suporte em ambientes hostis;</li><li>- Versatilidade e flexibilidade de programação;</li><li>- Melhoramento dos índices de qualidade, peças rejeitadas e consistência.</li></ul>
Nível Económico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Elevado retorno de investimento (ROI)</li><li>- Aumento da eficiência e produtividade;</li><li>- Redução de tempos de espera.</li></ul>
Nível Sociológico	<ul style="list-style-type: none"><li>- Afastamento de seres humanos de locais perigosos e prejudiciais para a saúde, bem como de tarefas pesadas e repetitivas;</li><li>- Redução de acidentes de trabalho;</li><li>- Substituição de vários equipamentos por um só robô capaz de desempenhar múltiplas funções.</li></ul>

A maior desvantagem da utilização de robôs na indústria, para além do seu grande investimento inicial, é a redução do número de atividades desempenhadas pelo ser humano, o que pode ter influência no aumento da taxa de desemprego. No entanto, existem argumentos que refutam esta afirmação, pois com o aumento e desenvolvimento da robótica, novas indústrias surgirão, e conseqüentemente novas possibilidades de empregabilidade.

#### **2.5.4. PROGRAMAÇÃO ONLINE E OFFLINE**

A programação de um robô envolve dois pontos chave. O primeiro está relacionado com a especificação dos pontos (*targets*) que o robô deve alcançar, de modo a criar a melhor trajetória (*path*) entre eles, segundo uma determinada orientação, velocidade e aceleração. O segundo ponto, diz respeito à capacidade de sincronizar o movimento do robô com outros dispositivos periféricos, através de capacidades sensoriais inerentes ao programa. Embora a tecnologia a nível da área da robótica tenha evoluído significativamente, a programação de robôs ainda é realizada de duas formas, sendo elas

a programação manual e virtual, mais conhecidas por programação *online* e *offline*, respetivamente [27], [28].

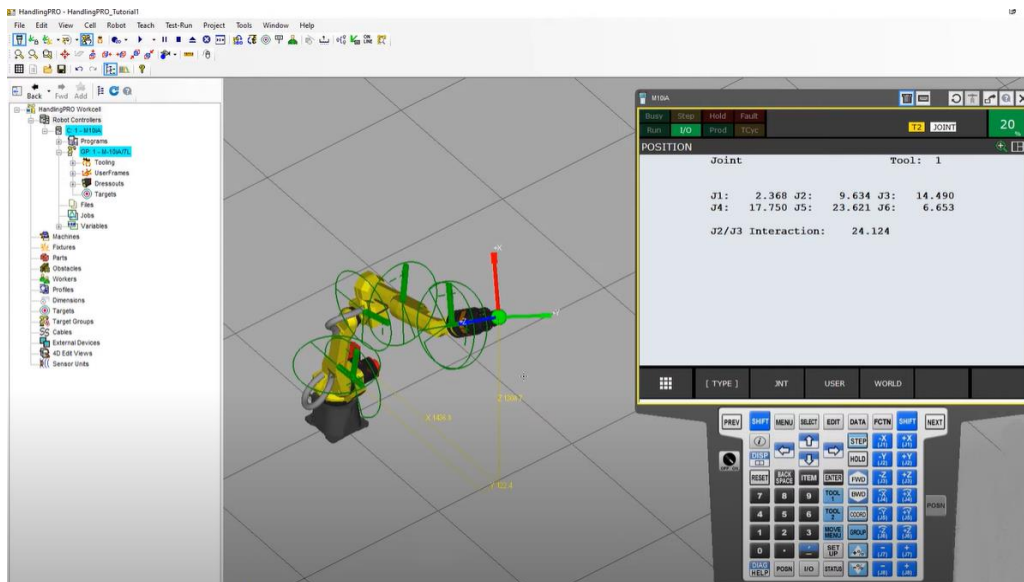
A programação *online*, ou manual, envolve um contacto direto com o próprio robô, movimentando-o manualmente até aos targets pretendidos, ficando as suas coordenadas memorizadas no controlador [29]. Por um lado, este método permite uma aprendizagem mais rápida e programação mais simples. Por outro lado, obriga à paragem da célula onde o robô se encontra, pois este está a ser utilizado, o que leva a uma perda de produtividade.

Por sua vez, a programação *offline*, ou virtual, necessita apenas do robô na fase final para realização de testes de validação dos resultados obtidos. Inicialmente, este tipo de programação utilizava exclusivamente linhas de comando em *softwares* específicos, o que implicava uma dificuldade acrescida por parte do programador em reconhecer com precisão as coordenadas pretendidos. Atualmente, existem plataformas interativas que permitem a simulação de uma célula de trabalho robotizado. Relativamente a vantagens, a utilização deste método não obriga a paragens da célula, pois não necessita do robô, assegura uma maior precisão dos movimentos e evita colisões, engloba uma grande variedade de bibliotecas de comandos que auxiliam o desenvolvimento de processos mais complexos e ainda permite determinar o tempo de ciclo de todo o processo. Em contrapartida, a programação *offline* pode ser difícil de utilizar em ambientes dinâmicos, sendo, por vezes, necessário recorrer à programação *online*.

#### **2.5.5. SOFTWARE ROBOGUIDE HANDLINGPRO**

A multinacional japonesa FANUC desenvolveu e introduziu no mercado várias aplicações de *software* ROBOGUIDE que permitem ao utilizador desenvolver, programar e simular uma célula robótica *offline* e em formato 3D. Assim, através da utilização de robôs e células de trabalho virtuais é possível testar o seu funcionamento bem como mitigar erros e riscos antes da sua instalação prática [30].

No âmbito do trabalho desenvolvido foi utilizada a aplicação HandlingPRO do *software* ROBOGUIDE. Esta inclui um controlador que valida as posições do robô e tempos de ciclo, bem como um *teach pendant* virtual, ilustrado na Figura 15, que opera do mesmo modo que um verdadeiro, permitindo um ambiente de programação realista. Uma vez criados os programas no *teach pendant* virtual, estes podem ser rapidamente transferidos para o *teach pendant* do robô.



**Figura 15** Interface ROBOGUIDE HandlingPRO.

Relativamente às características do processo de verificação destacam-se as seguintes [31]:

- Cálculo do tempo de ciclo de forma exata, bastando apenas correr a simulação;
- Exibição de tempos de execução, movimento e espera de cada linha do programa;
- Detecção de possíveis colisões durante a simulação, permitindo a realocação ou reprogramação do robô;
- Mostra do TCP (*Tool Center Point*) conforme a velocidade, orientação e aceleração, permitindo ajustes no programa antes da sua implementação efetiva;
- Mapeamento de entrada e saída entre os robôs (no caso de existirem vários) para fins de comunicação e sincronização;
- Gravação da simulação do robô para uma futura utilização ou apresentação.

Em suma, esta aplicação permite testar e validar de forma rápida e precisa o funcionamento de uma célula robótica, graças à sua interface realista e de fácil utilização antes da sua implementação num *setup* real.

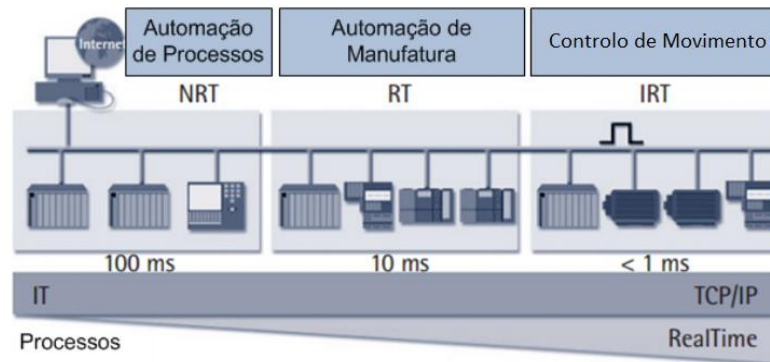
## 2.6. COMUNICAÇÃO PROFINET

O PROFINET (*Process Field Network*) é um mecanismo de troca de dados entre controladores, como PLCs do inglês *Programmable Logic Controller*, e dispositivos, tais como robôs, sensores e até mesmo outros controladores, compatível com quase todos os processos de automação. Trata-se de um protocolo aberto de comunicação industrial baseado no Fast Ethernet, incorporando as características base do padrão Ethernet original, como o formato de endereçamento, o tamanho da *frame* e o mecanismo de deteção de erros, diferenciando-se pelo aumento da velocidade de 10 Mbps para 100 Mbps em *Half-duplex*. Adicionalmente, o PROFINET utiliza os protocolos TCP, UDP e IP para configuração, troca de dados e diagnóstico de rede [32].

Relativamente ao sistema de transmissão e de conexão, este pode ser por meio de fios de cobre e fibra ótica, ou seja *wired*, ou então *wireless*. No que diz respeito aos canais de comunicação PROFINET, estes podem ser divididos em 3 categorias, como mostra a Figura 16, consoante os seus tempos de sincronização e níveis de performance para os diferentes tipos de processos industriais, nomeadamente [32]:

- NRT (*Non Real Time*) – direcionado para processos cujo tempo de ciclo não é crítico ( $\geq 100$  ms), como automação de processos, onde é utilizado um padrão TCP/IP para transmitir pacotes de dados;
- RT (*Real Time*) – por ter tempos de ciclo mais rápidos ( $100 \text{ ms} \geq t \geq 10 \text{ ms}$ ) é utilizado em processos com maior necessidade de precisão, como é caso da generalidade dos processos de manufatura, que requerem transmissão de dados em alta performance;

- IRT (*Isochronous Real Time*) – para comunicação sincronizada por *clock*, isto é, processos cujo tempo de ciclo é de extremamente crítico ( $\leq 1$  ms), tipicamente, aplicações de controlo de movimento.

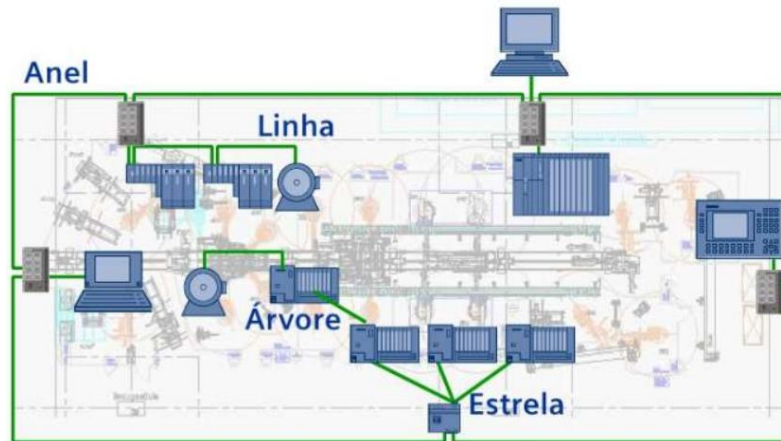


**Figura 16** Comunicação PROFINET [32].

Em relação à configuração das entradas e saídas do PROFINET, estas podem ser classificadas da seguinte forma:

- Controlador – fornece dados sobre as saídas dos dispositivos configurados e recebe os seus respetivos dados de entradas;
- Dispositivos – dispositivo pertencente à rede PROFINET, ligado a um ou mais controladores. Responsáveis por fornecer informação das entradas e receber informação das saídas;
- Supervisor – dispositivo de programação para realização de diagnósticos (PC, HMI, entre outros).

A nível da topologia, podem ser adotadas diferentes tipos de estruturas de montagem nomeadamente anel, linha, árvore e estrela, como ilustrado na Figura 17, salientando a especificidade da estrutura em linha, que permite assegurar uma alta disponibilidade do sistema, assim como minimizar os cabos de cablagem [33].



**Figura 17** Topologia da comunicação PROFINET [33].

Em conclusão, o conceito de protocolo PROFINET foi desenvolvido para satisfazer todos os requisitos de uma rede de comunicação industrial exigente, daí objetivar a criação de um ambiente integrado, robusto e seguro.

## 2.7. VISÃO ARTIFICIAL

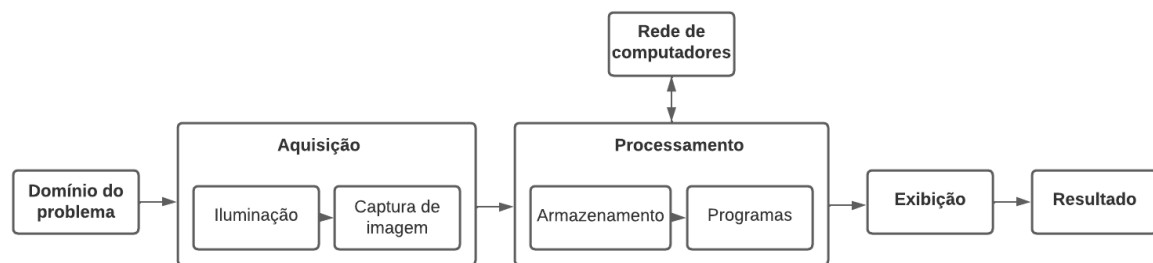
Atualmente, praticamente todas as empresas utilizam algum método de controlo de qualidade tanto a nível dos seus processos de fabrico como dos produtos finais, com vista a deteção de falhas ou imperfeições. Frequentemente, recorre-se a uma inspeção visual que visa detetar essas falhas tanto a nível estético como funcional [34]. Este processo, quando realizado manualmente, está sujeito a erros humanos resultantes da subjetividade e fadiga associada à execução de tarefas muito repetitivas [35], [36].

Perante o cenário de forte evolução industrial, as empresas que tencionam manter-se relevantes são obrigadas a fazer novas readaptações com o objetivo de aumentar o seu ritmo de produção e assegurar as normas de garantia de qualidade progressivamente mais rigorosas, bem como satisfazer as exigências dos clientes que são cada vez mais específicas. Neste seguimento, muitas foram as empresas que começaram a introduzir uma nova ferramenta tecnológica nos seus processos de fabrico, a visão artificial. Desde logo, esta tecnologia permitiu criar soluções inovadoras dentro da automação industrial, mostrando-se extremamente valiosa a nível do aumento da produtividade e da

qualidade. Ao longo dos últimos anos, a visão artificial tem evoluído exponencialmente através da incorporação de comunicação Ethernet nas suas câmaras, em simultâneo com outros equipamentos de visão, como sensores e lentes, tornando possível uma interligação com todo o processo fabril, ou seja, desde o controlo de entrada de peças através da leitura de códigos de barras ou códigos QR até à validação do produto final [35].

### 2.7.1. CONSTITUIÇÃO DE UM SISTEMA DE VISÃO ARTIFICIAL

Um sistema de visão artificial é constituído por um conjunto de etapas, como se pode observar pela Figura 18, responsáveis pela aquisição do sinal, seguido do seu processamento e exibição.



**Figura 18** Sistema de visão artificial.

A fase da aquisição engloba um processo de iluminação seguido da captura de imagem. A iluminação é um dos elementos mais importantes de todo o sistema, pois tem uma grande influencia na qualidade da imagem obtida. Por este motivo é fundamental escolher uma iluminação adequada (LED, do inglês *Light Emitting Diode*, lâmpadas halogéneas, laser, fibra ótica ou fluorescente) permitindo realçar características e minimizar o trabalho necessário ao nível de algoritmos de visão. A nível das câmaras de visão artificial, estas são utilizadas para captar uma imagem projetada no sensor e depois enviá-la para um sistema eletrónico externo, como um computador. Uma câmara consegue digitalizar diretamente a luz original refletida pelo objeto, decompondo esse padrão de luz numa matriz de pontos (pixéis) armazenados em memória.

Relativamente à unidade de processamento, esta agrega vários módulos, nomeadamente, um computador, *inputs* e *outputs*, *framegrabber*, que serve para converter imagens de vídeo para um formato digital (caso as câmaras não sejam *Firewire*, *Gigabit Ethernet*, ou não suportem estes formatos de comunicação) e ainda um *software* de visão que irá realizar o processamento por etapas. Em primeiro lugar, uma imagem é captada a partir do sensor. Por vezes, é necessário realizar um pré-processamento, de modo a otimizar a imagem e assegurar que todas as suas características necessárias são bem visíveis. Feito isto, o *software* localiza as características intrínsecas e compara-as com as especificações. Por fim, é tomada uma decisão e os resultados são comunicados, entrando assim na fase da exibição. Aqui, as imagens são exibidas com recurso a monitores, cujas características irão fazer variar a nitidez da amostra da imagem, ou através de passagem da imagem para o papel, como por exemplo, reprodução fotográfica, impressoras térmicas coloridas, entre outras [33], [35].

### **2.7.2. VANTAGENS DA VISÃO ARTIFICIAL**

A visão artificial pode ser descrita como um conjunto de ferramentas e mecanismos que permite adquirir, analisar e processar imagens em tempo real, graças a computadores que se encontram interligados, tornando possível a automação de diversas tarefas. Simultaneamente, são geradas grandes quantidades de dados que são utilizados por gestores e operadores para detetar erros aquando da fase de processamento e por conseguinte, proceder em conformidade e atempadamente. Assim, a utilização da visão artificial a nível industrial apresenta uma série de vantagens, destacando o aumento da produtividade, diminuição de tempos de ciclo, maior autonomia dos robôs com a possibilidade de tomada de decisão perante determinadas circunstâncias, aumento do grau de precisão e consequentemente aumento da qualidade do produto final, bem como possibilidade de reprogramação para realização de diferentes tarefas e armazenamento de informações numa base de dados para consulta futura [34], [35], [37].



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao longo da revisão bibliográfica são apresentados alguns exemplos de aplicações de soluções robotizadas, tanto na indústria dos pneus em geral, como no contexto da empresa Gislotica. Adicionalmente, foram analisadas as máquinas industriais *Spotting Station*, *Combo Marking Station* e *Inspection Station*, construídas e estudadas na Gislotica, cujas funcionalidades correspondem aos requisitos do trabalho proposto.

Importa salientar que, uma vez que se trata de um tema inovador, a informação fidedigna disponível para consulta sobre robôs semelhantes é muito limitada e escassa, fazendo crescer o grau de dificuldade do trabalho em causa.

### 3.1. PRESENÇA DA ROBÓTICA NA INDÚSTRIA DOS PNEUS

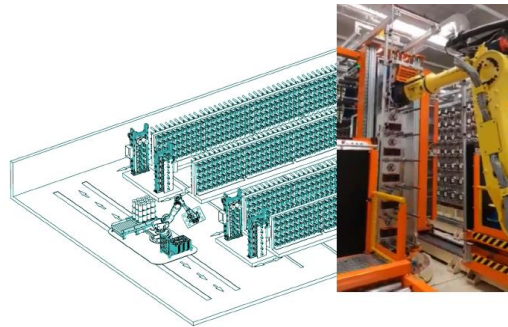
A presença de robôs estende-se a praticamente todas as indústrias, pois podem ser adaptados para efetuar várias tarefas distintas. Neste subcapítulo são apresentados os tipos de robôs mais frequentemente utilizados na indústria dos pneus, destacando os seguintes:

- Robôs manipuladores - utilizados para manuseamento e transporte de pneus durante o seu processo de fabrico. Geralmente, através de movimentos lineares e precisos para mover um pneu de um ponto para outro (*pick and place*);
- Robôs de paletização - tipicamente são utilizados robôs com 4, 5 ou 6 eixos, para empilhar de forma rápida e precisa pneus em paletes, tendo em consideração aspetos específicos como características do produto, número de camadas, dimensões da paleta e cadência.
- Robôs de inspeção - utilizados para inspecionar pneus, a fim de detetar irregularidades como bolhas, depressões ou cortes, com recurso a câmaras e sensores incorporados. Desta forma, são realizadas verificações de qualidade, assegurando com maior taxa de fiabilidade, que apenas pneus de alta qualidade saem da fábrica para o mercado.
- Robôs de pintura – a fim de conseguir uma aplicação de tinta uniforme e consistente nas laterais dos pneus, certos fabricantes recorrem a soluções robotizadas para a realização deste processo, assegurando simultaneamente um acabamento de qualidade e otimização de recursos.

Em suma, os robôs mencionados correspondem apenas a alguns exemplos daqueles cuja utilização é mais recorrente na indústria dos pneus. Apesar dos diversos tipos de soluções autónomas e robotizadas disponíveis no mercado, todos tem como objetivos o aumento da eficiência, qualidade e segurança dos processos de fabrico de pneus.

### 3.2. PRESENÇA DA ROBÓTICA NA GISLOTICA

Como mencionado logo no primeiro capítulo, a Gislotica possui um extenso portfólio de produtos direcionados para a indústria dos pneus. No âmbito deste trabalho e em particular desta secção do relatório, são apresentadas as duas células robóticas desenvolvidas no contexto da empresa. Uma das aplicações robotizadas da Gislotica corresponde a um sistema de carregamento automático de bobinas, como mostra a Figura 19.



**Figura 19** Estação robotizada de carregamento automático de bobinas [2].

Esta estação é composta por um sistema linear e um rotativo. O sistema linear corresponde a um carrinho que se desloca ao longo de uma fileira. Por sua vez, o sistema rotativa é composto pelo robô que transfere as bobinas, com 40 kg cada, da paleta para o sistema linear [2], [33].

Por sua vez, a segunda estação robotizada desenvolvida na Gislotica traduz-se num sistema de aplicação de silicone no interior de um pneu em verde, com objetivo de facilitar o desenformar do molde da prensa e cujo *layout* pode ser observado na figura 20.

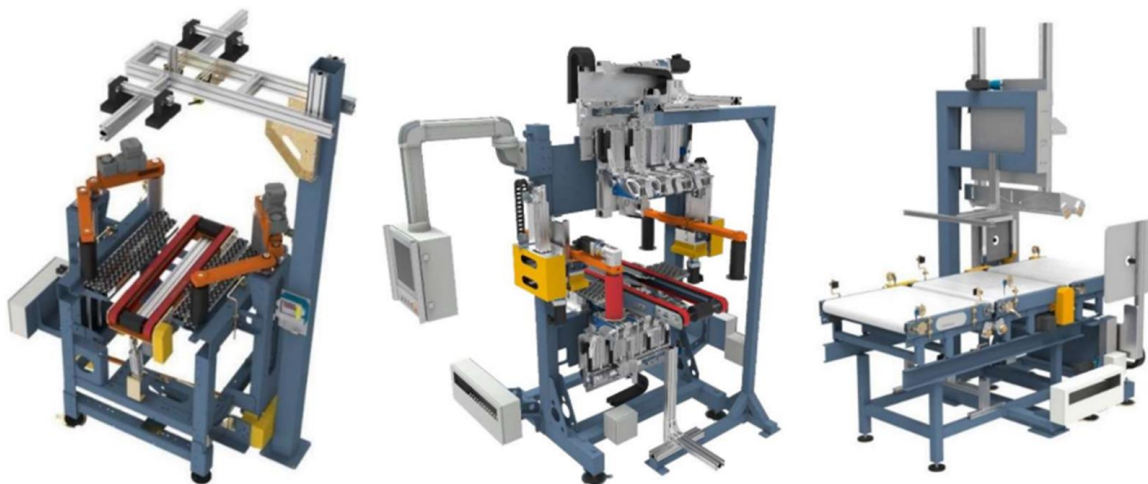


**Figura 20** Estação robotizada de aplicação de silicone no interior de um pneu [2].

Este processo inicia-se com a chegada do pneu, por via de um tapete rolante. De seguida, um sistema de visão artificial determina o centro do pneu, transmite essa informação ao robô e este, de acordo com as coordenadas fornecidas, leva o pneu até à pistola de pintura. Para uma aplicação uniforme em toda a superfície interior do pneu, a garra do robô realiza uma rotação de 360°. Feito isto, a garra abre, solta o pneu e dirige-se para uma estação de limpeza para limpar a garra e reiniciar todo o processo [2], [33].

### 3.3. CÉLULAS DE MARCAÇÃO E VALIDAÇÃO DE PNEUS

Importa salientar que, devido à escassez de informação técnica ou científica fidedigna disponível para consulta relativa ao tema em questão, não foram encontrados exemplos de outras máquinas ou robôs disponíveis no mercado, com um funcionamento idêntico ou semelhante ao do trabalho proposto. Por esse motivo, optou-se por estudar as máquinas no ambiente da empresa. Na Gislotica são desenvolvidas e testadas células para realização das tarefas alusivas a este projeto. Essas células são compostas por três máquinas industriais montadas em série, designadas *Spotting Station*, *Combo Marking Station* e *Inspection Station* e ilustradas na Figura 21.



**Figura 21** *Spotting Station*, *Combo Marking Station* e *Inspection Station* [2].

A *Spotting Station* é a estação responsável pelo centramento do pneu pelo eixo do transportador/tapete, bem como do alinhamento do seu código de barras, consoante o ângulo definido. Por sua vez, a *Combo Marking Station* é uma estação programada para

efetuar as marcações de QM. Finalmente, a *Inspection Station* tem a função de validação das marcações realizadas [2], [33].

Relativamente ao funcionamento de todo o processo desde a chegada até à saída do pneu da célula, este é explicado de seguida:

- ***SPOTTING STATION***

Quando um pneu é colocado horizontalmente no transportador, este encaminha-o para o centro da estação, aí os quatro braços (da estação) fecham-se em volta do pneu, centrando-o em relação ao transportador. Adicionalmente, esta máquina integra um sistema de visão artificial que visa detetar o pneu e respetivo código de barras. Esta informação permite identificar o quanto o pneu deve girar para a marcação ser efetuada no ângulo estipulado. Após o seu alinhamento, os braços abrem e o pneu segue para a próxima estação.

- ***COMBO MARKING STATION***

Inicialmente, a estação recebe o pneu, devidamente centrado com o eixo do transportador e com o local de marcação alinhado. De seguida, o pneu avança até ao local de marcação, onde um cilindro avança para o centro do pneu, prensa-o contra a ferramenta de marcação, realizando-se assim o processo de marcação por LTA. Terminado este processo, o cilindro recua e o pneu é transportado para a estação seguinte.

- ***INSPECTION STATION***

Todo o funcionamento desta estação se centra na visão artificial. Assim, quando recebe o pneu, este é movido para a zona de captura da câmara. Neste seguimento é realizada uma inspeção da marcação previamente realizada, sendo ou não validada. Quando o pneu chega a esta fase, dá-se por concluído o processo de marcação e validação de QM [2], [33].



## 4. PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma proposta de solução para o problema anteriormente descrito. Para tal, é feita uma enumeração dos requisitos que o trabalho deve satisfazer indo ao encontro dos objetivos estabelecidos, bem como uma identificação dos principais equipamentos que o compõe. De seguida é descrito, de forma sucinta, o ciclo de funcionamento do trabalho. Finalmente é apresentada a arquitetura do mesmo, e explicadas as principais funções de cada um dos equipamentos utilizados.

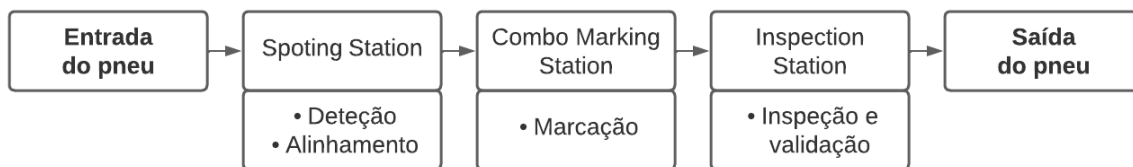
## 4.1. REQUISITOS

Como referido na introdução do relatório, a finalidade do trabalho consiste no desenvolvimento de uma solução original e flexível, que se destaque das atuais máquinas industriais intransigentes e de grandes dimensões.

Por se tratar de um tema inovador, o acesso a informação confiável mostrou-se bastante limitado e restrito, inclusive, não foram encontrados trabalhos semelhantes, que pudessem servir de guia ou auxiliar na execução, fazendo com que, todas as tarefas tivessem de partir do zero. Foi necessário um estudo prévio, uma vez que, sem ele, não seria possível desenvolver qualquer tipo de implementação. Assim, foram estabelecidos os seguintes requisitos associados ao trabalho a desenvolver:

- Estudo da constituição, funcionamento e operações das máquinas industriais Spotting Station, Combo Marking Station e Inspection Station;
- Estudo sobre robótica industrial, em particular, do funcionamento de robôs FANUC;
- Análise do processo de marcação e respetivos equipamentos utilizados em fábrica;
- Programação de um robô FANUC R-2000iC 210F;
- Desenvolvimento de uma ferramenta de marcação incorporando o KBA;
- Programação de PLC Siemens S7 1214C DC/DC/DC.

A solução robotizada proposta necessita de cumprir requisitos a nível do posicionamento, marcação e validação, atualmente desempenhados pelas máquinas industriais *Spotting Station*, *Combo Marking Station* e *Inspection Station*, desenvolvidas na empresa Gislotica. De modo a compreender os requisitos intrínsecos ao trabalho é necessário entender como estas máquinas operam. O funcionamento das máquinas mencionadas encontra-se explicado no capítulo anterior e resumidamente representado na Figura 22.

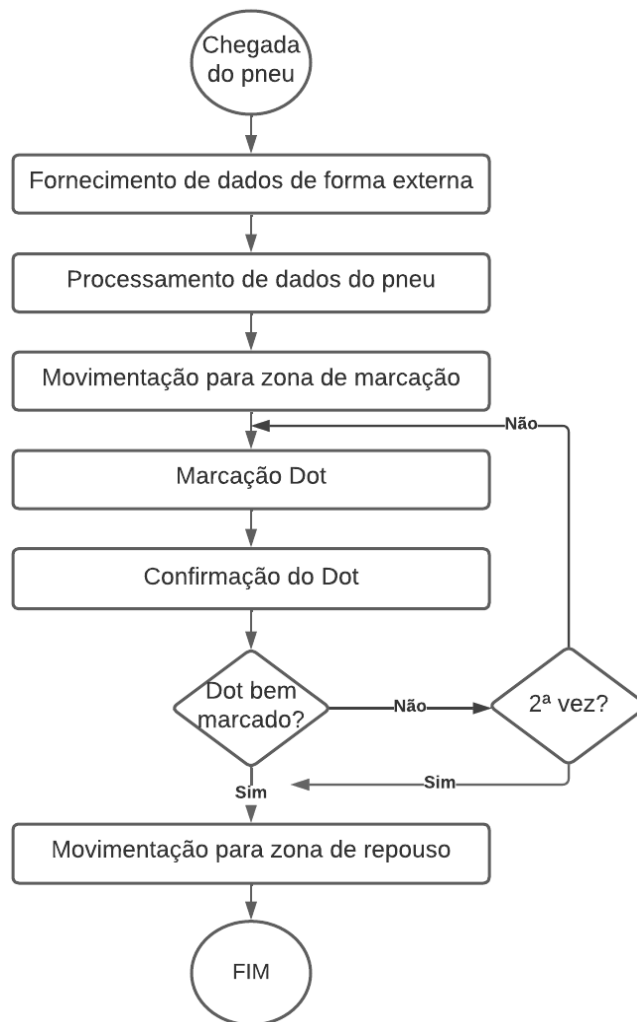


**Figura 22** Síntese de funcionamento das máquinas.

Como é possível observar pela Figura 22, as máquinas encontram-se montadas em série e as operações são sequenciais. Em primeiro lugar, a *Spotting Station*, utiliza visão artificial para detetar o código de barras de um pneu, feito isso, a máquina centra-o e alinha o seu local de marcação com o seu eixo central. De seguida, o pneu passa para *Combo Marking Station*, onde são feitas as marcações pretendidas. Finalmente, quando o pneu chega à última máquina, *Inspection Station*, é feita uma inspeção e validação da marcação. Partindo desta informação, é possível enumerar os requisitos inerentes à solução robotizada que visa, num projeto posterior, substituir todas estas máquinas, nomeadamente, utilização do robô FANUC R-2000iC 210F, marcação de QM, deteção do pneu e ângulo do respetivo código de barras, troca de ferramenta e validação automática da QM realizada. No âmbito deste trabalho pretende-se dar resposta aos dois primeiros requisitos. Para tal, juntamente com a utilização do robô mencionado, cujo *datasheet* se encontra no anexo B, é utilizado um PLC Siemens S7 1214C DC/DC/DC, uma Interface Homem Máquina (HMI), no caso um computador pessoal e uma ferramenta hpdSYSTEM modelo Moto do KBA. O centramento do pneu na mesa de marcação e alinhamento do centro do seu código de barras com o robô serão feitos manualmente, assim como a validação da marcação realizada.

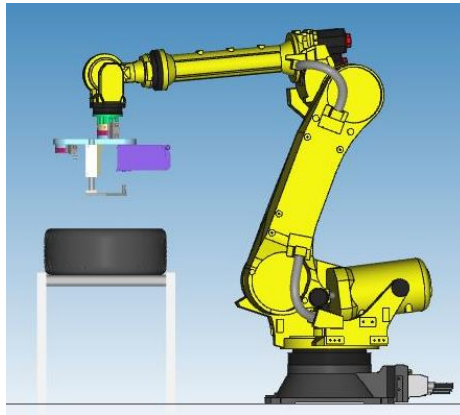
## 4.2. PROPOSTA DE FUNCIONAMENTO DO PROJETO

A fim de satisfazer os requisitos anteriormente mencionados, foi elaborado um fluxograma da sequência de processos, representado na Figura 23.



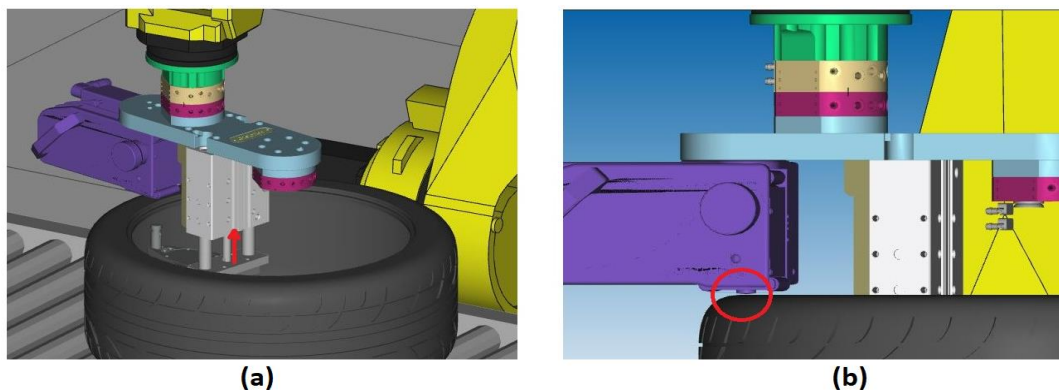
**Figura 23** Fluxograma da sequência de funcionamento do trabalho.

Todo o processo é iniciado com a chegada do pneu. Este é manualmente colocado e centrado na mesa de marcação, tendo o cuidado de alinhar paralelamente o centro do código de barras do pneu com a linha de zero graus do ângulo do robô, facilitando a determinação do ângulo de marcação da QM. Dado que, o pneu chega até ao robô na horizontal e a marcação será sempre realizada na zona plana da *sidewall* superior do pneu, a posição da ferramenta do robô terá de estar perpendicular à zona de marcação, como se observa na Figura 24.



**Figura 24** Posição vertical da ferramenta em relação à zona de marcação.

Depois do posicionamento correto do pneu, é selecionado o modelo do pneu pretendido e acionado o botão *START* da HMI. Cada modelo inclui informação relativa ao diâmetro interior e exterior, bem como ângulo e raio de marcação do respetivo pneu. Estas informações são enviados para o PLC, processadas e posteriormente transmitidas ao robô, iniciando assim o ciclo de marcação da QM. Por sua vez, este ciclo inicia-se com a ordem do PLC à válvula pneumática para fazer recuar o cilindro, fazendo com que a ferramenta fique pressionada contra o pneu, como mostra a Figura 25 (a).



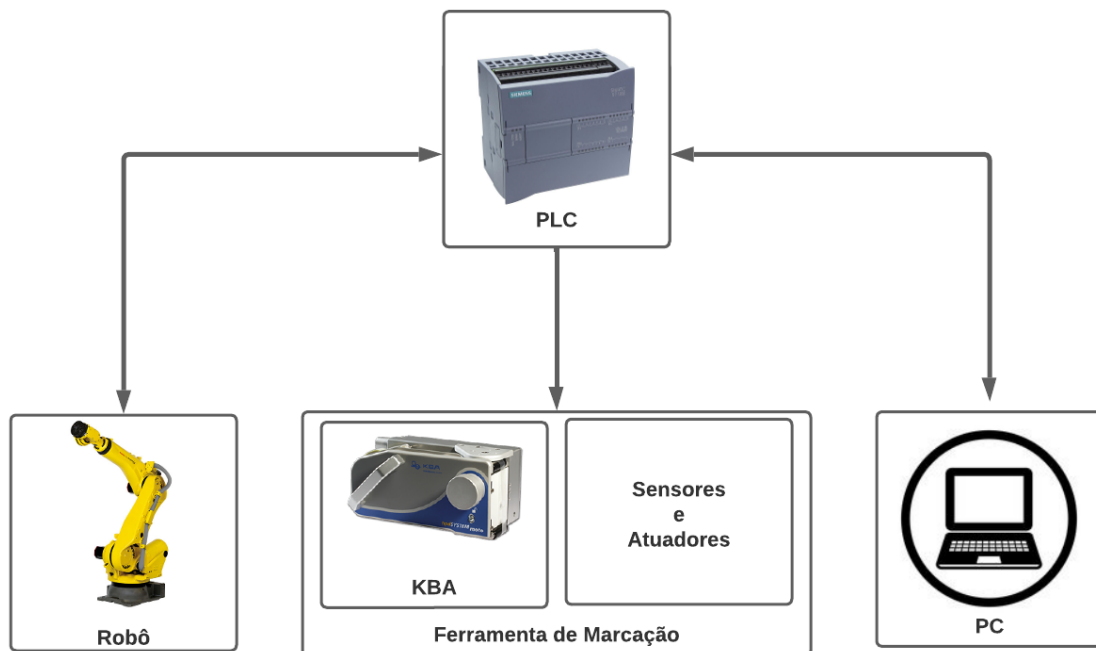
**Figura 25** Ciclo de marcação QM (a) Subida do cilindro (b) Marcação.

Depois, o PLC dá uma nova ordem à KBA para esta efetuar a marcação, visível na Figura 25 (b). Quando esta tiver concluída, a KBA informa o PLC e este dá uma ordem de abertura do cilindro, indicando ao robô que o ciclo de marcação está concluído. Terminada a marcação é feita uma validação externa, através da seleção do botão *VALID* ou *INVALID*. Se o resultado obtido for válido, então o robô move-se para a posição inicial (*home*), isto é, posição de repouso. Caso contrário, repete-se todo o ciclo de marcação. Se na segunda marcação consecutiva o resultado for inválido, a informação é

adicionada à base de dados, o robô move-se para a posição de repouso e prossegue-se com o processo de saída do pneu e entrada de um novo.

### 4.3. ARQUITETURA

A arquitetura do sistema, representada pela Figura 26, tem como objetivo mostrar de forma visualmente simples toda a estrutura do trabalho desenvolvido, auxiliando, posteriormente, na compreensão das respectivas implementações.



**Figura 26** Arquitetura do trabalho.

Como se pode observar pela Figura 26, o PLC é o elemento central do sistema, pois é responsável pelo seu funcionamento como um todo, sendo o elo de comunicação entre todos os elementos. O PLC recebe dados sobre o pneu em causa, fornecidas pelo computador, processa-os e envia-os para o robô. Adicionalmente, recebe e envia informações para a KBA, sendo ainda responsável pelo acionamento de sensores e atuadores, tais como as válvulas pneumáticas da ferramenta de marcação.

Por sua vez, o robô recebe dados do PLC e executa os respectivos comandos. Para além de receber, também envia dados para o PLC relativamente à chegada da posição de marcação do pneu e aquando da conclusão da marcação.

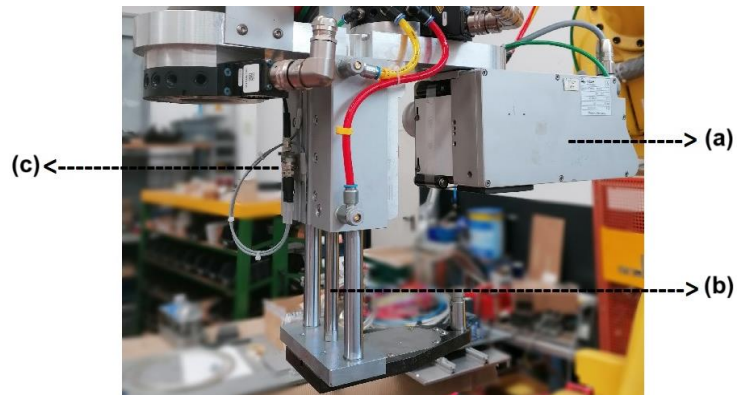
Relativamente ao PC, computador pessoal, este funciona como uma HMI, sendo responsável pela notificação da chegada de um novo pneu e seleção do seu modelo, inicialização do processo de marcação e validação das QM.

# 5. IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

Ao longo deste capítulo são explicadas as etapas de implementação e desenvolvimento do projeto. Começando com a instalação da ferramenta de marcação, seguida das componentes elétrica e pneumática. Posteriormente, são abordadas as implementações a nível de *software*, nomeadamente a programação do robô e do PLC, bem como a comunicação entre dispositivos. Para finalizar o capítulo são referidas as implementações a realizar no futuro de modo a obter uma solução totalmente automatizada.

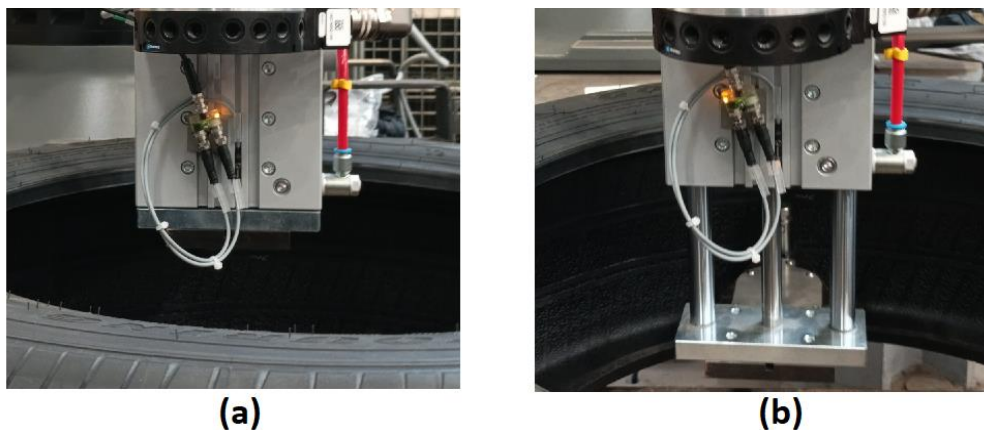
## 5.1. FERRAMENTA DE MARCAÇÃO

A fase da implementação da solução proposta teve como ponto de partida o desenvolvimento de uma ferramenta de marcação acoplada na garra do robô. Esta é composta pelo KBA, cilindro e sensores como mostra a Figura 27.



**Figura 27** Constituintes da ferramenta de marcação (a) KBA (b) Cilindro (c) Sensores.

Para o trabalho desenvolvido foram apenas utilizados dois sensores indutivos magnéticos que detetam quando o cilindro está recuado ou em avanço, denominados sensor cilindro-*up* e sensor cilindro-*down*, respetivamente, como mostra a figura 28.



**Figura 28** Sensores (a) Cilindro-*up* (b) Cilindro-*down*.

Uma vez implementada a ferramenta, foi necessário programar o KBA com auxílio de um controlador KBA, apresentado na figura 29.



**Figura 29** Controlador do KBA.

O controlador é responsável pela determinação da duração, temperatura ideal, número total de marcações e possíveis erros tais como temperaturas desadequadas e número de marcações não exequíveis.

## 5.2. PARTE ELÉTRICA

A componente elétrica desempenhou um papel muito importante para o seu correto funcionamento do trabalho, estando o seu esquema elétrico completo disponibilizado para consulta no Anexo C. Duas das principais preocupações aquando da montagem foram a passagem de todos os cabos e tubos pela zona segura do robô, bem como a garantia de que os cabos tem um comprimento adequado para não serem demasiado esticados ou até danificados durante a movimentação dos eixos 5 e 6 do robô, como se pode observar pela Figura 30 relativa à sua implementação real.

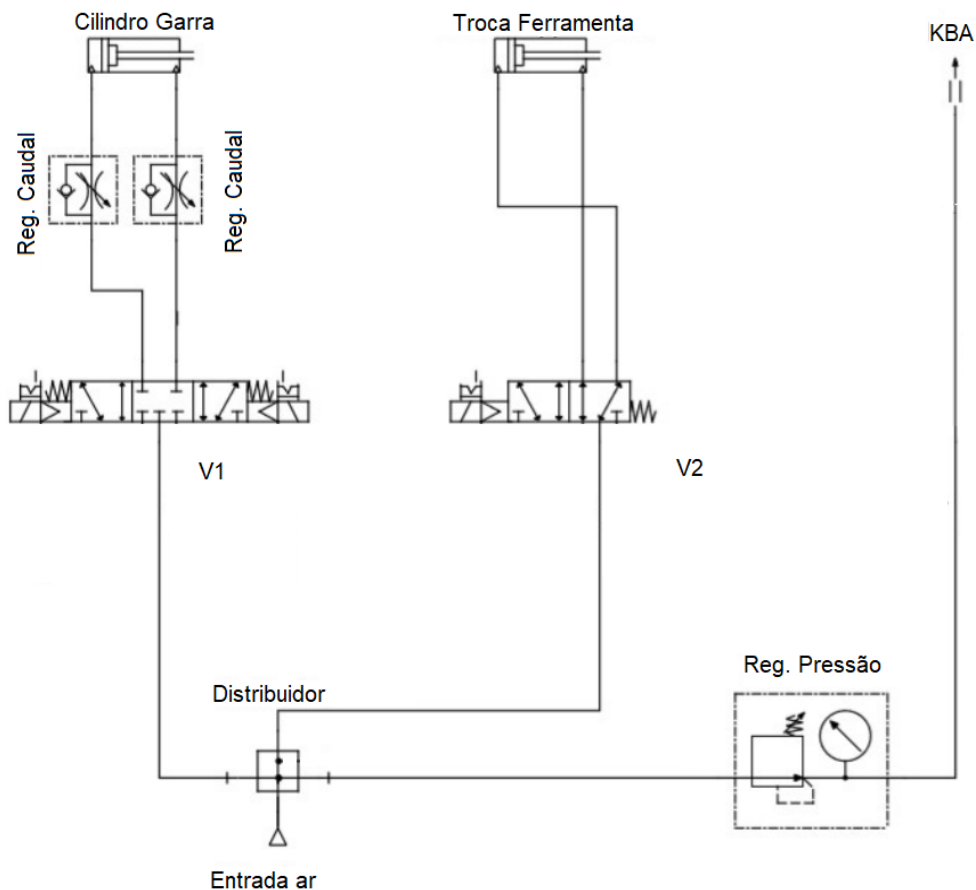


**Figura 30** Apresentação da disposição da cablagem.

Também era fundamental garantir que a conexão entre o KBA e o seu controlador nunca era interrompida. Assim, para além da atenção ao comprimentos dos cabos que ligam a caixa de derivação do controlador do KBA às trocas de ferramenta, foi também assegurado que as quedas de tensão eram iguais e que nenhuma extremidade possui um tensão inferior à tensão mínima de funcionamento do KBA.

### 5.3. PARTE PNEUMÁTICA

A implementação do *hardware* pneumático tem como objetivos permitir o acionamento do cilindro e regulação de ar no KBA. Com vista implementações futuras, nesta fase foram já desenvolvidas as ligações para uma troca de ferramenta do robô, como se pode observar pela Figura 31.



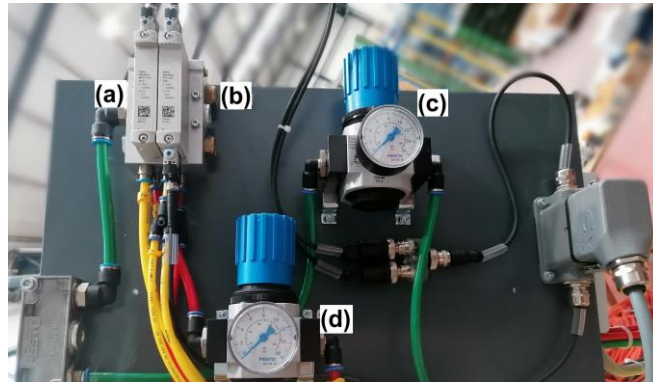
**Figura 31** Esquema Pneumático.

Por uma questão de segurança e controlo foram utilizadas eletroválvulas com retorno acionado por mola garantido que, em caso de falha energética, não ocorre um desacoplamento accidental da ferramenta. Isto deve-se ao facto de, no estado normal das válvulas as esferas encontram-se bloqueadas. Para estas serem desbloqueadas é necessário que a válvula seja acionada, originando uma inversão de estados e consequente desacoplamento intencional.

Como já foi referido, a pneumática é responsável pelo acionamento do cilindro acoplado na garra do robô. Por outras palavras, é necessário que o cilindro recue de modo a pressionar o pneu contra o KBA e após a realização da marcação, o cilindro deve avançar permitindo o afastamento do pneu da ferramenta. Tudo isto é conseguido através do fornecimento e corte de pressão, respetivamente. No caso da troca de ferramenta, dá-se uma abertura dos tubos que interligam o cilindro e o KBA, o que por si só seria um problema, pois o cilindro necessita de duas saídas da válvula para o seu controlo. Para tal, foi utilizada uma electroválvula 5/3 de centros fechados com retorno por mola. O estancamento é mantido pelos centros fechados, e a abertura e fecho do cilindro são assegurados pelo acionamento da electroválvula do lado direito e do lado esquerdo, respetivamente.

A ferramenta de marcação é capaz de ajustar a pressão de ar que lhe é fornecida através de uma eletroválvula que se encontra no seu interior. Para realizar o controlo, foi adicionado um regulador de pressão, como se pode ver no esquema anterior, capaz de aceder ao KBA mesmo com a eletroválvula fechada.

Atendendo à Figura 32 é possível observar a implementação real do hardware pneumático mencionado.



**Figura 32** Montagem real do *hardware* pneumático (a) Cilindro Garra (b) Troca de ferramenta (c) Regulador KBA (d) Regulador Cilindro KBA.

## 5.4. SOFTWARE

Nesta secção são apresentados todos os *software* realizados e que acompanham a implementação prática do hardware. Começando com a programação de todo o trajeto do robô, passando pela programação do PLC e finalizando na comunicação entre controlador, isto é, o PLC e dispositivos, no caso, robô e ferramenta de marcação.

### 5.4.1. PROGRAMAÇÃO DO ROBÔ

Toda a programação do robô foi realizada utilizando o *software* ROBOGUIDE HandlingPRO. A primeira etapa consistiu na definição de pontos gerais fixos, que correspondem às diferentes posições do robô, nomeadamente, posição inicial (*Home*), posição acima do centro do pneu (*Approach*) e posição no centro do pneu (*Center*).

De seguida, foi feita a configuração da comunicação PROFINET entre robô e PLC, havendo uma entrada e saída de 32 bytes, tanto do lado do robô como do PLC. Deste modo, é assegurada uma configuração correta permitindo a comunicação entre ambos os dispositivos. A etapa seguinte envolveu a criação de 5 *group inputs*, correspondentes às coordenadas X, Y, Z, R e *Offset*, que consistem numa manipulação de bits para criação de números inteiros. Adicionalmente, foi definida uma *Tool Frame* (TF) correspondente ao

centro do cilindro da KBA. Por fim, foram realizados os programas relativos ao movimento do robô e tratamento de dados, como explicado de seguida:

- **Programa da movimentação do robô**

O programa é iniciado com o robô na posição *Home*. De seguida, o robô desloca-se para a posição *Approach* e reescreve as coordenadas do ponto central do pneu e do ponto de marcação através de registos, que variam consoante o tamanho do pneu. Feito isto, o robô segue para a posição *Center* e depois para a posição de marcação, informando o PLC que se encontra pronto a marcar, através do envio de um *digital output* denominado *ready*. Atingida esta fase, o robô aguarda que o sensor cilindro-*up* esteja ativo e que a marcação seja dada por concluída, esperando 1,5 segundos, para depois informar o PLC que deixou de estar pronto para marcar e ativar o sensor cilindro-*down*. Posteriormente, desloca-se para a posição *Center*, seguindo para a posição *Approach*, aonde espera por um sinal do PLC a indicar se a marcação foi validada ou não. Caso a marcação seja inválida, o robô refaz a marcação pela segunda vez, caso seja válida, retorna para a posição *Home*. O programa da movimentação do robô termina quando não houver um sinal de chegada de um novo pneu.

- **Programa de processamento de dados**

Como referido anteriormente, as coordenadas do ponto central e do ponto de marcação são anotadas em registos, conforme as dimensões do pneu. A atribuição desses registos foi feita segundo a Tabela 5.

**Tabela 5** Atribuição de registos de coordenadas

Registos	Group inputs	Variável
R [1]	GI [1]	X
R [2]	GI [2]	Y
R [3]	GI [3]	Z
R [4]	GI [4]	R
R [5]	GI [5]	<i>Offset</i>

Em todos os registos é feita uma divisão à decima para obter um valor mais preciso, dado que o robô só consegue receber valores inteiros, pois todos os valores são obtidos através de bits e para uma marcação são necessários valores reais.

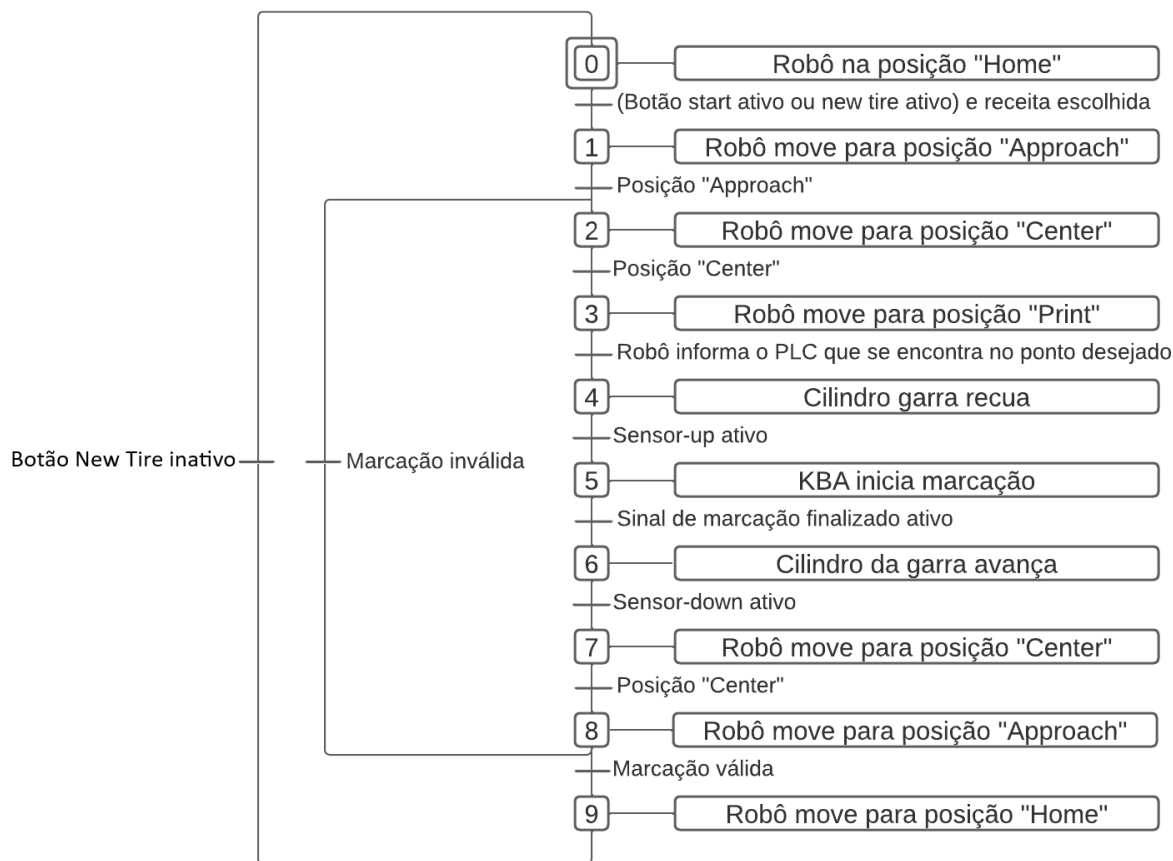
#### 5.4.2. Programação do PLC

A programação foi realizada num *software* de programação de PLC da Siemens, TIA PORTAL e utilizado um PLC S7 1214C DC/DC/DC, como o da Figura 33.



**Figura 33** PLC S7 1214C DC/DC/DC.

Toda a execução do processo é iniciada pelo acionamento do sinal *Start*, dado pelo PLC, seguido da seleção do modelo do pneu pretendido, como mostra a Figura 34.



**Figura 34** GRAFCET do trabalho desenvolvido.

O PLC copia os dados da receita do pneu para uma nova receita, de modo a que esta seja utilizada para realizar todos os cálculos. Esses cálculos envolvem a soma de  $180^\circ$  ao ângulo fornecido pela receita, de modo a que este esteja paralelo ao ângulo do robô, e ainda a aplicação da fórmula de conversão de graus para radianos para determinação do respetivo seno e cosseno, como mostra a equação 1. Esta conversão é necessária, pois o PLC apenas interpreta radianos.

$$R = (\alpha + 180^\circ) \times \pi \div 180^\circ \quad (1)$$

Depois, é feita uma multiplicação entre o raio de marcação ( $r$ ), seno e cosseno, para obtenção das respetivas coordenadas  $X$  e  $Y$  do ponto de marcação e adicionadas as coordenadas de referência, isto é 1200 e 256 milímetros em  $X$  e  $Y$ , respetivamente, como representado nas equações 2 e 3.

$$X = r \times \cos (R) + 1200 \quad (2)$$

$$Y = r \times \sin (R) + 256 \quad (3)$$

Por sua vez, a coordenada Z é obtida a partir da diferença entre a altura do pneu (H) e a altura da mesa onde este se encontra pousado, como mostra a equação 4.

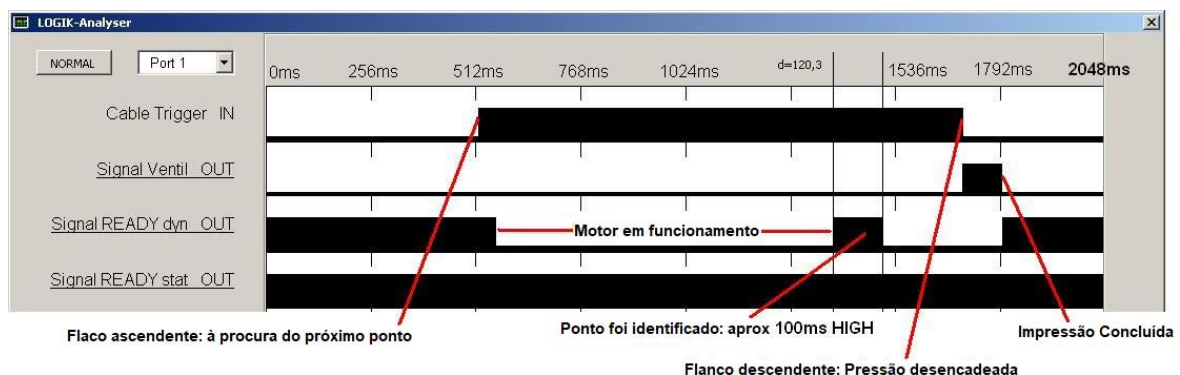
$$Z = 471,5 - H \quad (4)$$

Para obter o valor de *offset* é utilizada uma cláusula para determinar se a altura interna do pneu é menor que a altura da ferramenta. Caso essa cláusula seja verdadeira, o *Offset* corresponde à diferença entre a altura da ferramenta e a altura interior do pneu (B), como é possível observar na equação 5.

$$Offset = 200 - B \quad (5)$$

Caso a cláusula seja falsa, o *Offset* adquire o valor zero. Uma vez obtidos todos os valores pretendidos, estes são multiplicados pela décima, fazendo uma conversão de real para inteiro, sendo posteriormente convertidos para números reais no robô.

O cálculo da posição da QM é feito no PLC através de receitas de pneus. Estas fornecem dados relativos ao ângulo e raio de marcação, bem como a dimensão do pneu (diâmetro e altura, internos e externos). De forma a realizar a marcação com a ferramenta é necessário manipular a *bit Signal READY Dynamic*, uma vez que é o sinal responsável pelo posicionamento da fita de marcação diretamente abaixo do cilindro da própria ferramenta, que só pode ser validado quando este estiver ativo num intervalo de tempo de aproximadamente 100 milissegundos, como representado na Figura 35.

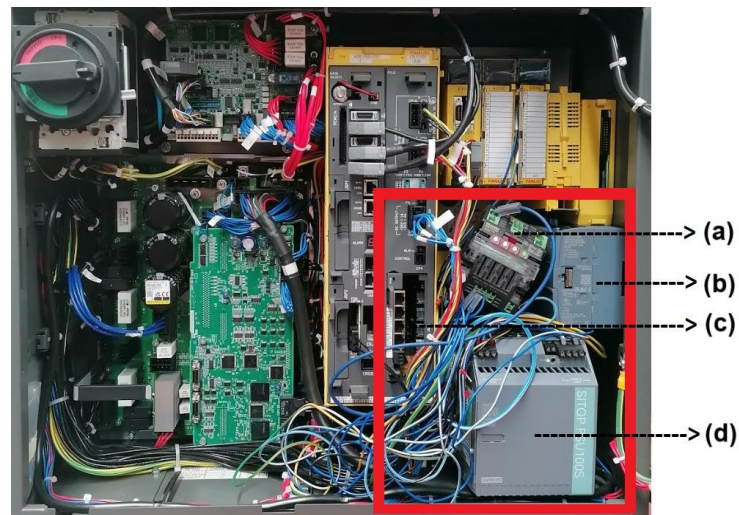


**Figura 35** Sinais lógicos de alimentação e marcação do KBA.

Por sua vez, o *Signal READY Static* corresponde a um sinal de alerta de erros da ferramenta, como temperatura inadequada, intervalos de temperatura inválidos ou ausência do deslocamento da fita.

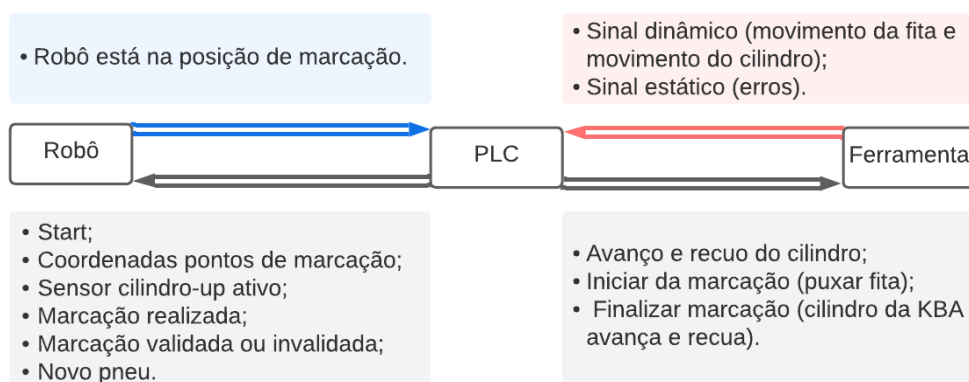
### 5.4.3. Comunicação entre controlador e dispositivos

A comunicação entre o controlador e os dispositivos, à exceção da ferramenta, é feita por comunicação PROFINET através de um cabo PROFINET, com auxílio de um adaptador USB PROFINET. Por sua vez, a comunicação entre o controlador e ferramenta ocorre por meio de ligações físicas, como é possível observar na Figura 36.



**Figura 36** Ligações físicas da ferramenta (a) Disjuntor 24V DC (MICO) (b) PLC (c) Carta PROFINET Molex (d) Fonte de alimentação.

Toda troca de dados é bidirecional e passa sempre pelo controlador, como mostra a Figura 37.



**Figura 37** Troca de dados entre controlador e dispositivos.

## 5.5. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A principal funcionalidade do trabalho consiste na marcação de QM, com a possibilidade de fazer até duas marcações consecutivas no mesmo ponto do pneu, caso a primeira não seja aprovada. No entanto, este trabalho corresponde apenas a uma pequena porção de um projeto que objetiva a utilização do robô para a realização de todo o processo de posicionamento, marcação e validação de forma autónoma, ou seja, desenvolvimento de uma estação robotizada FANUC que substitua as funções desempenhadas pelas atuais máquinas, *Spotting*, *Combo Marking* e *Inspection Stations*. Tendo estas informações em consideração foram estudadas algumas implementações para o futuro deste trabalho, destacando as seguintes:

- **Transporte de pneu através de tapete rolante**

O transporte do pneu não foi considerado um objetivo para este trabalho, pois seria algo a implementar somente quando a estação robotizada estivesse a funcionar de forma totalmente autónoma. Por este motivo, durante as fases de teste, os pneus eram colocados numa mesa, um a um, e retirados após validada a marcação, sempre de forma manual. No futuro, seria vantajoso incorporar um tapete rolante para transporte do pneu desde a sua chegada ao robô até à saída. Deste modo, a movimentação do pneu seria completamente automática e independente da intervenção humana, trazendo vantagens a nível da redução de tempos de ciclo e aumento de produtividade. A nível industrial, é bastante frequente a utilização de tapetes rolantes, *conveyors*, para transportar materiais entre dois pontos, sendo particularmente útil quando se tratam de materiais pesados ou volumosos.

- **Visão artificial**

A implementação da visão artificial tem como objetivo a automatização da leitura do código de barras dos pneus e validação das marcações. Através da incorporação de um sistema de iluminação e uma câmara no robô, este teria a capacidade de detetar a chegada de um pneu através da leitura do respetivo código de barras e processamento das informações do mesmo relativas às dimensões do pneu e local de marcação. Deste modo, seria descartada a obrigatoriedade de alinhar manualmente o código de barras do

pneu com o robô, pois este conseguiria detectar a sua posição e iniciar o ciclo de marcação autonomamente. Por sua vez, o sistema de visão artificial também teria um papel fundamental aquando da validação da marcação realizada, avaliando se o tipo de QM selecionado e o ângulo de marcação executado estavam conforme as especificações, dadas pelo cliente e contidas no código de barras. Com estas funcionalidades era assegurado uma total automatização dos processo de posicionamento e validação, levando a uma redução dos tempos de ciclo.

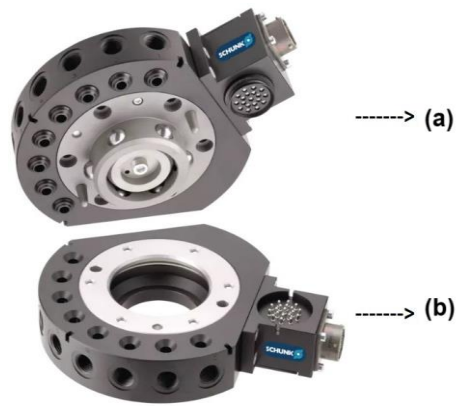
- **Troca de ferramenta**

Ao longo do trabalho foram utilizados maioritariamente dois tipos de QM, pontos (*dots*) vermelhos e pontos brancos, como o da Figura 38 (a), salientando que, para alterar o tipo de QM é sempre necessário parar o robô para trocar o rolo no interior da KBA, como mostra a Figura 38 (b).



**Figura 38** Marcações (a) *Dot* branco (b) Rolo no interior do KBA.

Porém, num caso real, tal como referido anteriormente, cada fabricante de pneu define o tipo e cor da QM. Por este motivo, as máquinas *Combo Marking Station* estão equipadas com várias ferramentas de marcação, cada uma capaz de estampar diferentes QM. Visto que, uma troca manual da ferramenta seria um processo demasiado demorado e incluir várias ferramentas em simultâneo no robô levaria a um excedente da sua capacidade de carga, é necessário desenvolver uma alternativa mais viável. Esta passa pela troca automática da ferramenta, composta por duas peças, uma acoplada ao robô e outra acoplada nas ferramentas, como mostra a Figura 39, sendo o acoplamento feito através de um mecanismo de bloqueio de esferas acionado pneumaticamente.



**Figura 39** Troca de ferramenta (a) Acoplada no robô (b) Acoplada na ferramenta.

Este processo seria realizado automaticamente numa estação, dentro do alcance da garra do robô, composta por estruturas físicas de suporte (*stands*), onde as ferramentas de marcação adicionais ficariam acopladas e continuamente prontas a utilizar.

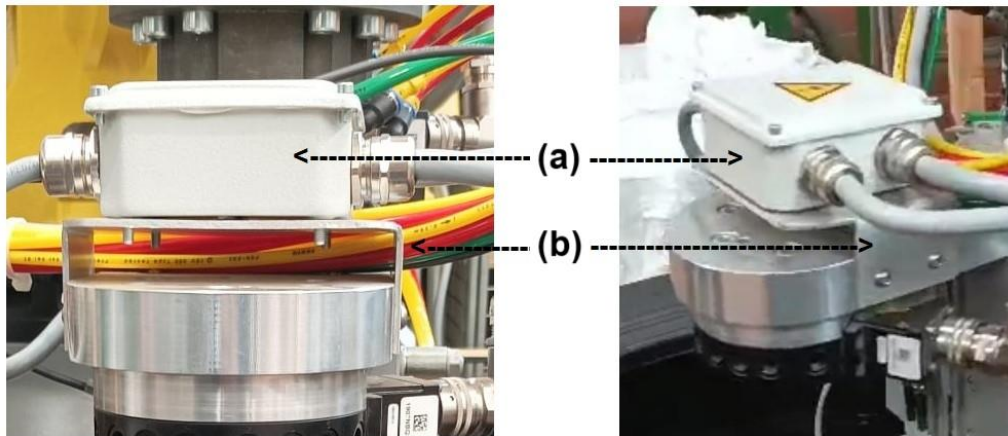
Em suma, a implementação desta funcionalidade torna todo o processo mais flexível, rápido e seguro, pois permite a realização de diferentes tipos de marcações sem necessitar da intervenção humana.

## 6. VALIDAÇÃO DA SOLUÇÃO

No decorrer da fase de implementação do trabalho, foram realizados testes para avaliar o seu correto funcionamento. O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados obtidos nesses testes, com o objetivo de aferir a eficácia do sistema e validação da solução proposta. Esta avaliação centrou-se em dois aspetos chave, sendo eles, a performance da ferramenta e o processo de marcação de *quality marks*.

Durante a validação da ferramenta foram analisados alguns aspetos considerados fundamentais, como a incorporação e disposição de componentes, assim como a sua aparência e funcionamento. Em primeiro lugar, foi necessário avaliar a incorporação de todos os componentes necessários, sendo eles o KBA, os cilindros, os sensores indutivos e

a caixa de derivação, de maneira a que, a sua disposição não apresentava nenhum entrave no processo de marcação. Foi igualmente importante assegurar que, a ferramenta era esteticamente apelativa, do ponto de vista do utilizador. Daqui resultou a adição de um suporte metálico, aparafusado à superfície superior da ferramenta, onde ficaria fixada a caixa de derivação, como mostra a Figura 40. Assim, era libertado espaço na ferramenta, permitindo uma movimentação mais flexível no interior de um pneu.



**Figura 40** Vista frontal e lateral (a) Caixa de derivação (b) respetivo suporte.

Em suma, todos estes parâmetros foram alcançados com sucesso. Por fim, foi necessário fazer a validação do funcionamento da ferramenta. Esta apresentou um funcionamento ideal em todos os testes, mantendo-se sempre operacional, não ocorrendo desconexões nem desacoplamentos acidentais.

Numa fase inicial da realização dos testes, surgiu um pequeno contratempo a nível da marcação das QM, uma vez que estas não estavam a ser transferidas na totalidade para o pneu e conseguiam ser facilmente arrancadas. A origem deste problema foi rapidamente identificada e corrigida através da substituição da fita dentro do KBA por uma nova. Com isto, foi possível validar o processo de marcação por transferência LTA. Salienta-se que, o robô estava programado para realizar uma segunda marcação, caso a primeira não fosse bem sucedida. Por conseguinte, foi feita uma análise à capacidade do robô realizar uma marcação dupla de QM. Este parâmetro foi igualmente validado, como comprova a Figura 41.



**Figura 41** Validação das marcações e dupla marcação.

Partindo da Figura 41 é possível observar marcações de QM em vários ângulos na *sidewall* dos diferentes pneus utilizados. Assim, consegue-se demonstrar o alcance do robô validando a capacidade da ferramenta chegar a todos pontos da superfície de cada pneu, e daí realizar uma marcação de acordo com as especificações impostas pelos fabricantes, sem qualquer restrição.

Por vezes, durante a realização de testes, as QM não coincidiam exatamente com as coordenadas de marcação introduzidas no programa, resultando em ligeiros deslocamentos entre o local de marcação previsto e o real. Tal aconteceu porque não foi utilizada uma superfície de apoio à marcação adequada, mas sim um banco de madeira, representado na Figura 42, que não estava fixo ao chão.

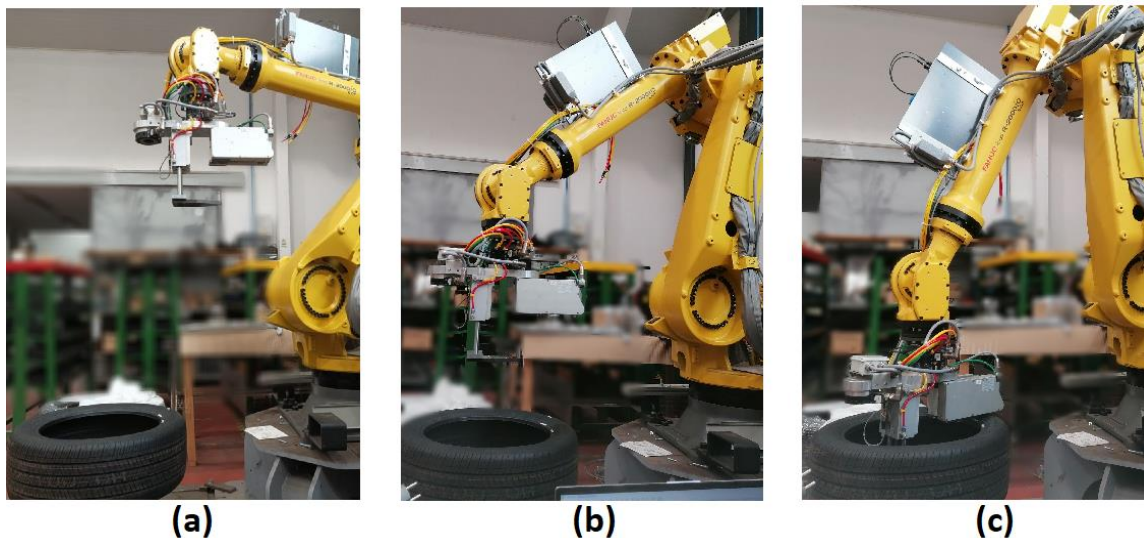


**Figura 42** Solução provisória para superfície de apoio à marcação.

Após o alinhamento manual do pneu, este era pousado no banco, como se vê na Figura 42, não estando amarrado ou fixado. Durante a movimentação do robô, aquando da

realização das suas rotinas de marcação, ocorreram eventuais levantamentos do pneu e/ou ligeiros arrastamentos do banco, gerando resultados um pouco diferentes do esperado. Embora tenha sido introduzida como uma solução provisória, acabou por se tornar definitiva dado que, o impacto que tinha nos resultados era pouco significativo e a criação de uma outra alternativa não fazia parte dos objetivos do trabalho.

Relativamente à movimentação do robô, foi possível validar que este se deslocava de acordo com a trajetória estabelecida, passando por todas as posições pré-definidas (*Home*, *Approach* e *Center*, representadas na Figura 43) e retornando sempre à posição inicial após concluída a marcação, demorando em média cerca de trinta segundos para completar cada ciclo.



**Figura 43** Posições do robô (a) *Home* (b) *Approach* (c) *Center*.

Ainda que, a maioria dos resultados obtidos tenham sido positivos, há um que se destaca pela negativa, nomeadamente, a impossibilidade de utilizar pneus de 17 polegadas. Tal deve-se ao facto de estes pneus apresentarem uma altura interna menor que a ferramenta, assim como uma *sidewall* com um declive de ângulo indeterminado, não permitindo uma marcação adequada. Por estas razões, salienta-se que foram somente considerados pneus de quatro dimensões diferentes, sendo eles de 16, 18, 19 e 20 polegadas.

Para além de todas estas validações locais, foi ainda obtida uma validação de alto nível, dada pelo Engenheiro Humberto Ramos, enquanto supervisor do trabalho e

representante da empresa. Como supervisor, foi acompanhando de perto e em tempo real as várias etapas do trabalho, tendo dado a aprovação final após este estar terminado.

Com isto, o trabalho desenvolvido foi considerado uma mais-valia pelo supervisor na empresa, uma vez que, futuros engenheiros encarregues de um projeto semelhante tenham um sólido ponto de partida para futuras implementações e melhorias.



## 7. CONCLUSÕES

Todas as conclusões inerentes às diferentes etapas do trabalho foram devidamente registadas ao longo desta dissertação, pelo que, este capítulo visa apresentar as principais conclusões, de forma sintetizada, assim como as maiores dificuldades enfrentadas e perspectivados os futuros desenvolvimentos.

Perante a impossibilidade de conseguir produzir pneus ideais, isto é, perfeitamente circulares, muitos fabricantes de pneus decidem efetuar uma marcação no local onde foi detetado um distanciamento irregular do centro geométrico do pneu, sendo esse local determinado por testes de uniformidade, aos quais o pneu foi previamente submetido. Por sua vez, a Gislotica desenvolve e vende a muitos desses fabricantes, máquinas industriais que realizam o processo de marcação das QM, designadas *Spotting Station*, *Combo Marking Station* e *Validation Station*. Porém, estas máquinas são bastante

robustas, caras e de grandes dimensões. Uma alternativa mais flexível, barata e compacta envolve a utilização de um robô, projetado para igualar as operações desempenhadas por essas máquinas industriais. Assim, ficou definido como objetivo do trabalho o desenvolvimento e programação de um robô FANUC, capaz de desempenhar as mesmas funções que as máquinas envolvidas no processo de marcação de QM, fabricadas atualmente na Gislotica. De modo a atingir este objetivo foi necessário, em primeiro lugar, investir numa pesquisa a nível dos conceitos teóricos considerados fundamentais para uma boa compreensão do trabalho a desenvolver, bem como, um estudo das ferramentas a utilizar. Posteriormente, foi apresentada uma proposta de solução devidamente fundamentada e a partir daí, foram iniciadas as implementações, tanto a nível de *hardware*, com a montagem da ferramenta de marcação e instalações elétrica e pneumática, como a nível de *software*, com o desenvolvimento dos programas do robô, do PLC e respetivos dispositivos. Uma vez concluídas as implementações, foram realizadas as respetivas validações, que retornaram resultados muito positivos.

A nível de obstáculos encontrados, importa salientar o difícil acesso a informação fidedigna relacionada com o tema. Por se tratar de algo inovador e conseqüentemente confidencial, não foram encontrados artigos disponíveis para consulta nem outros trabalhos semelhantes, o que levou a uma grande dedicação a um estudo prévio de documentação técnica, para posteriormente ser possíveis efetuar as implementações. Por sua vez, todas as implementações de *hardware*, assim como de *software*, tiveram de ser desenvolvidas a partir do zero, fazendo aumentar o grau de dificuldade do trabalho e tempo despendido em cada tarefa. Adicionalmente, numa fase inicial das implementações, foram encontradas algumas dificuldades na utilização do *software* ROBOGUIDE, dada a inexperiência enquanto utilizador do mesmo. Para ultrapassar estas dificuldades foi fundamental recorrer ao apoio e partilha de conhecimentos por parte de colegas de equipa especializados na matéria, bem como investir numa autoaprendizagem.

Este trabalho representa uma pequena parte de um projeto de grande escala, que tem como principal objetivo substituir as máquinas atualmente desenvolvidas na Gislotica, para o processo de marcação de pneus, por uma estação robotizada FANUC e com isto, eliminar por completo a necessidade da intervenção humana. Perante os bons resultados

obtidos, é possível afirmar que, o trabalho desenvolvido constitui um sólido ponto de partida para implementações futuras, indo ao encontro do objetivo anteriormente referido. Algumas dessas implementações futuras perspectivadas passam pela construção de uma superfície de marcação adequada, com transporte assegurado por tapete rolante, bem como o desenvolvimento de um sistema de troca de ferramentas, permitindo a realização de diferentes tipos de marcações, sem paragens do robô e finalmente, a implementação de visão artificial para deteção do pneu, leitura e processamento das informações do seu código e barras e por fim, validação da marcação efetuada.

Em suma, os objetivos estabelecidos para o trabalho foram alcançados, salvaguardando os interesses da empresa e trazendo benefícios a nível pessoal e profissional, como a aquisição de novos conhecimentos, consolidação de bases e experiência em ambiente empresarial.



## Referências Documentais

- [1] Gislotica, “Objectivos Missão Política de Qualidade,” *Quem é a Gislotica*, 2012. [http://www.gislotica.pt/pt/quem\\_e\\_a\\_gislotica.4.html](http://www.gislotica.pt/pt/quem_e_a_gislotica.4.html)
- [2] Gislotica, “Products Portfolio.” Porto, Portugal, 2019.
- [3] N. B. of S. United States. Bureau of Standards. United States Department of Commerce, *The Mechanics of Pneumatic Tires*. Washington D.C.: United States Government Printing Office, 1971. [Online]. Available: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc13166/#who>
- [4] Y. Ishikawa, “Systematic Review of Tyre Technology,” Tóquio, 2011. [Online]. Available: [https://sts.kahaku.go.jp/diversity/document/system/pdf/066\\_e.pdf](https://sts.kahaku.go.jp/diversity/document/system/pdf/066_e.pdf)
- [5] Continental, “Tire Components,” *Tire Knowledge*, 2023. <https://www.continental-tires.com/pt/pt/b2c/tire-knowledge/tire-components.html> (accessed Apr. 20, 2023).
- [6] Michelin, “What is the structure of a tire?,” *Auto tips and advice*, 2023. What is the structure of a tire? (accessed Mar. 20, 2023).
- [7] N. Marques, “Desenvolvimento de uma unidade completa de aplicação de sealant em pneus,” Insituto Superior de Engenharia do Porto, 2019.
- [8] TheCarExpert, “Tyre markings explained,” *Tyre markings explained*, 2022. <https://www.thecarexpert.co.uk/tyre-markings-explained/> (accessed Mar. 30, 2023).
- [9] Oponeo, “Car Tyre Markings - A Complete Guide,” *Car Tyre Markings - A Complete Guide*, 2019. <https://www.oponeo.ie/blog/car-tyre-markings-a-complete-guide> (accessed Mar. 30, 2023).
- [10] Euromaster, “Como se lê um pneu?,” *Ler medidas dos pneus*. <https://www.euromaster.pt/pneus/ler-medidas-dos-pneus> (accessed Mar. 31, 2023).
- [11] T. A. Wang Y, Wu Y , Liu Y, “The application of Radio frequency identification technology on tires tracking,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Automation and Logistics, ICAL 2007*, 2007, pp. 2927–2930. doi: 10.1109/ICAL.2007.4339082.
- [12] B. Jerew, “Tire and Wheel Problems,” *How to Fix Steering Wheel Shimmy*, 2019. <https://www.liveabout.com/how-to-fix-steering-wheel-shimmy-4154504> (accessed Apr. 03, 2023).

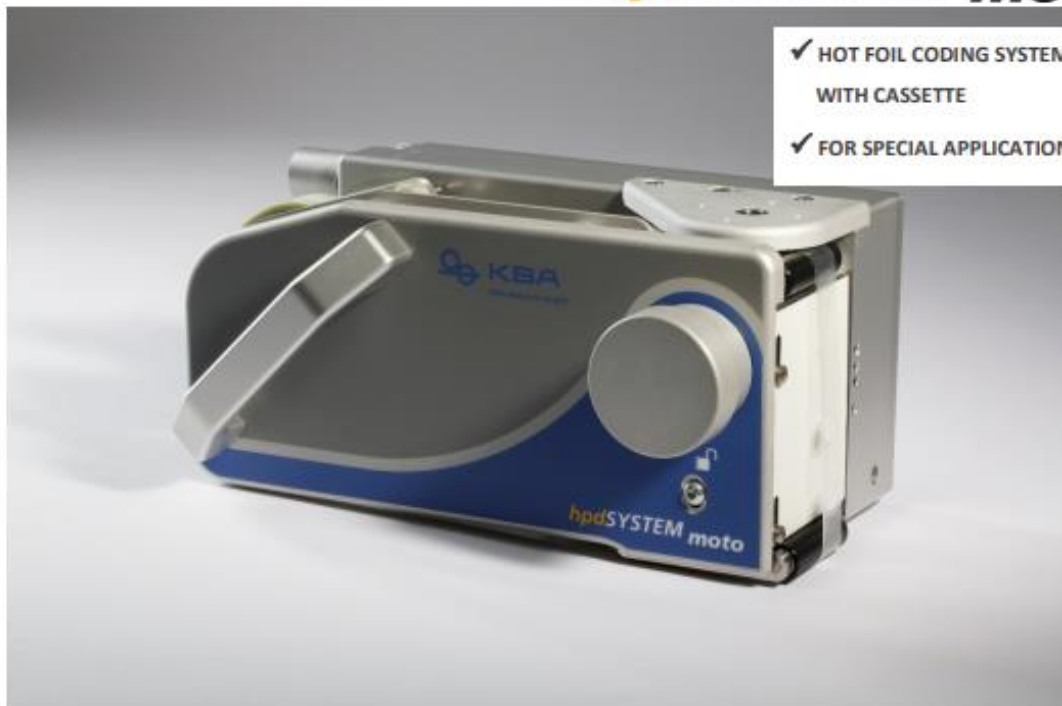
- [13] C. Hofelt, H. D. Tarpinian, and C. Z. Draves, "Measuring Tire Uniformity," Feb. 1965. doi: 10.4271/650522.
- [14] L. Linhares, "Otimização do processo de raspagem na produção de pneus," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [15] S. Kim, S. Park, W. Lee, and M. Kaliske, "Numerical investigation of radial passenger car tire standing waves," *Finite Elem. Anal. Des.*, vol. 220, p. 103945, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.finel.2023.103945.
- [16] D. Scribner, "Vehicle Tire & Wheel Assembly RFV," *What RFV Means to the Tire Industry, Part 1*, 2020. <https://www.tirereview.com/rfv-tire-industry-part-1/> (accessed Apr. 03, 2023).
- [17] M. Caetano, "Conicidade (Conicity)," *Parâmetros de Medida da Uniformidade de um Pneu Vulcanizado*. <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/aplicacoes/pneus/ensaios-no-fabrico-de-pneus/conicidade-conicity/> (accessed Apr. 06, 2023).
- [18] J. Afonso, "Separação e Análise de Efeitos Sistemáticos de Uniformidade na Construção e Vulcanização de Pneus," Faculdade de Engenharia do Porto, 2019.
- [19] H. Pacejka, *Tire and Vehicle Dynamics*, 2nd Editio. Elsevier, 2005. [Online]. Available: <https://www.elsevier.com/books/tire-and-vehicle-dynamics/pacejka/978-0-7506-6918-4>
- [20] A. Gent and J. Walter, "Pneumatic Tire," Universidade de Akron, 2006. [Online]. Available: [https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical\\_ideas/854/](https://ideaexchange.uakron.edu/mechanical_ideas/854/)
- [21] "Por que razão há pontos coloridos nos pneus novos?," *Notícias ao Minuto*, 2023. <https://www.noticiasao minuto.com/auto/2307565/por-que-razao-ha-pontos-coloridos-nos-pneus-novos> (accessed May 01, 2023).
- [22] A. Oliveira, "ROB : Robótica Introdução à Robótica".
- [23] F. Ferreira, "Desenvolvimento da componente de controlo e de montagem de um sistema de montagem de pinças kocheer," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2018.
- [24] M. Pimenta, "Estudo de otimização de célula robótica para processo de injeção de volantes," Faculdade de Engenharia do Porto, 2017.
- [25] M. Silva, "Noções Básicas de Robótica." Porto, Portugal, 2016.
- [26] V. Scheinman and J. M. McCarthy, "Mechanisms and Actuation," in *Springer Handbook of Robotics*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 67–86. doi: 10.1007/978-3-540-30301-5\_4.
- [27] A. Mendes, "Otimização de um layout de pintura de pneus," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2016.

- [28] V. Bottazzi, "Framework para Programação Offline de robôs," Escola de Engenharia Universidade do Minho, 2006.
- [29] N. Moita, "Concepção e Simulação de uma Célula Robotizada para Acabamentos de Solas de Calçado," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [30] FANUC, "Robot Simulation Software | FANUC ROBOGUIDE Simulation Software," *Robot Products*. <https://www.fanucamerica.com/products/robots/robot-simulation-software-FANUC-ROBOGUIDE> (accessed May 20, 2023).
- [31] FANUC, "FANUC ROBOGUIDE - HandlingPRO Intelligent 3D simulation for handling." p. 2, 2018. [Online]. Available: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/robot-simulation-software-FANUC-ROBOGUIDE>
- [32] V. de S. L. Oliveira, "Protocolo de comunicação PROFINET paara redes de automação," Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016. [Online]. Available: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10018680.pdf>
- [33] J. Sá, "Estação robotizada de marcação de pneus," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2019.
- [34] J. D. A. Martins, "Visão artificial na inspeção e caraterização de defeitos superficiais em peças fundidas," Universidade de Engenharia do Porto, 2018.
- [35] J. P. G. Borges, "Visão Artificial no Controlo de Qualidade," Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2021.
- [36] Z. A. Jaffery and A. K. Dubey, "Scope and Prospects of Non-Invasive Visual Inspection Systems for Industrial Applications," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. Volume 9, p. 11, 2016, [Online]. Available: <https://sciresol.s3.us-east-2.amazonaws.com/IJST/Articles/2016/Issue-4/Article53.pdf>
- [37] Infaimon, "Processo de fabricação: O controlo de qualidade é imprescindível," *[R]evolução artificial*, 2020. <https://infaimon.com/pt-pt/blog/> (accessed May 15, 2023).

# Anexo A. Datasheet HpdSYSTEM moto KBA

KOENIG & BAUER

## hpdSYSTEM moto



*Simple. Runs. Circular.*

INKJET Thermal Transfer Overprint

**HOTFOIL-CODING** **LASER** *Thermal-Inkjet* *Offline coding*

For use-by-dates **AFTER SALES** **BARCODE** *etc.*

**CODING SYSTEMS**

„MADE IN GERMANY“

# hpdSYSTEM moto

## Technical data sheet

## Technical data sheet

### Print

- up to 20 x 20 mm printing format
- 60 prints / min.
- Print time: 20 x 2000 ms
- Temperature: 50 – 220 ° C
- Printing pressure: 580 N at 6 bar

### Film

- Film diameter: 100 mm
- Automatic
- Displays film end
- Printer reset function



### Control unit

- 24 V / 10 A: with graphical display and keypad, interface RS 232, for second printer connection suitable, IP 54
- 110 - 240 V / 1 - 2 A: with graphical display and keypad, interface RS 232, IP 54
- Powerbox 110 - 240 V / 1 - 2 A

### Type

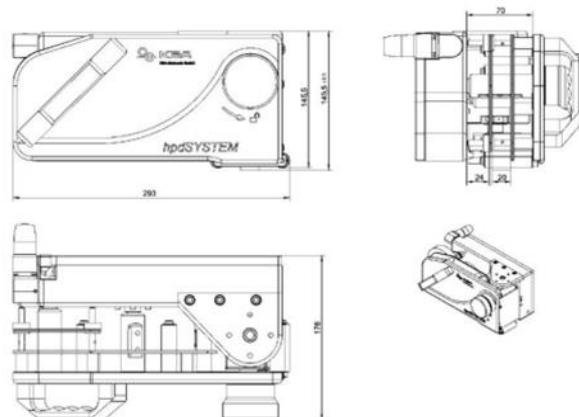
- horizontal, optionally
  - right device variant
  - left device variant

### Technical data

Dimensions:	142 x 288 x 166 mm, H x W x T
Installation height:	142 mm
Drive type:	pneumatic drive
Air connection:	min. 4 – max. 6 bar, ø 6 mm
Compressed air consumption:	ca. 0,16 l per printing cycle
Power requirements:	24 V DC ± 10 %, 125 VA
Protection class:	Printer: IP 20
Temperature:	323 - 473 K (50° - 200° C) (infinitely variable)
Heating power:	120 W

### Printing accessories

- PC-software hpdCONTROL
- Types
- Standard-mounting frame



Subject to  
technical and  
design changes.  
E&OE

KBA-Metronic GmbH  
Benzstraße 11 · D-97209 Veitshöchheim

Telefon +49(0)931/9085-0  
Fax +49(0)931/9085-100

info@kba-metronic.com  
www.kba-metronic.com

# Anexo B. Datasheet FANUC Robot R-2000iC 210F

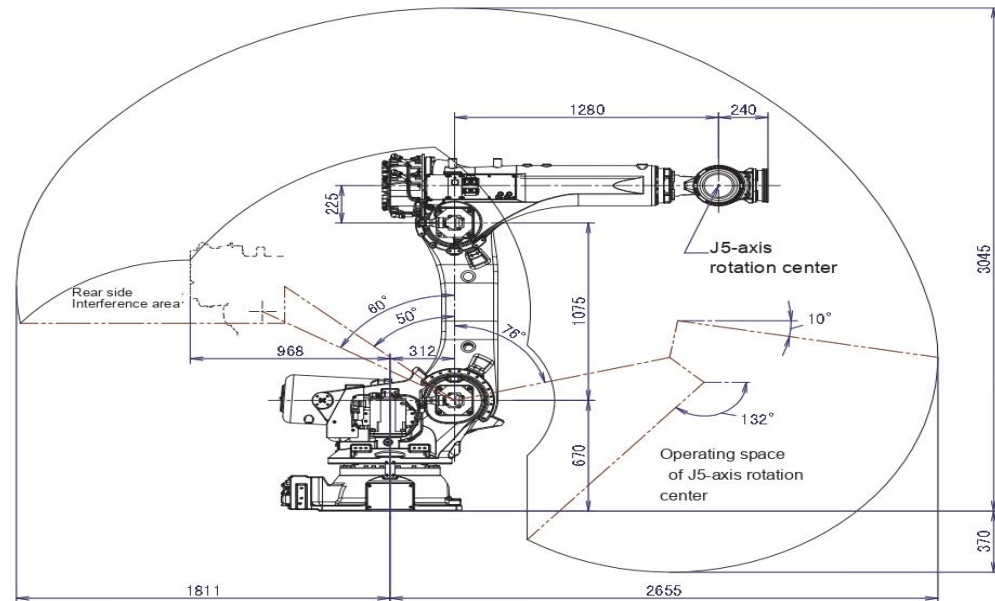
Robot			Max. load capacity at wrist: 270 kg		Max. reach: 2655 mm												FANUC								
Series	Version	Type	Max. load capacity at wrist (kg)	Reach (mm)	Controlled axes	Repeatability (mm)	Mechanical weight (kg)	Motion range (°)						Maximum speed (°/s)						J4 Moment/Inertia	J5 Moment/Inertia	J6 Moment/Inertia	Average Power consumption (kW)	Protection	
								J1	J2	J3	J4	J5	J6	J1	J2	J3	J4	J5	J6					Body standard/optional	Wrist & J3 arm standard/optional
R-2000	iC	270F	270	2655	6	±0.05**	1320	370	136	312	720	250	720	105	90	85	120	120	200	1730/320	1730/320	900/230	2.5	IP54 / IP56	IP67

● standard   ○ on request   - not available   | | with hardware and/or software option   \*1) depending on rail specification   \*\* Based on ISO9283

R-2000iC/270F Standard model



R-2000iC/270F



## Anexo C. Esquema elétrico e pneumático

