

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO



**Conceção, desenvolvimento e implementação de
uma bancada de ensaio automático para motores
elétricos**

Por

Inês Carvalho da Silva

Orientador: Sérgio Augusto Pires Leitão

Co-orientador: Pedro Miguel Machado Apóstolo

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, de acordo com o disposto no
Regulamento Geral dos Ciclos de Estudos Conducentes ao Grau de Mestre na UTAD

DR, 2.^a série – N^o133 Regulamento n.^o 658/2016 de 13 de julho de 2016

Vila Real, 2019

Orientação Científica :

Sérgio Augusto Pires Leitão

Professor Auxiliar do
Departamento de Engenharias
Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Pedro Miguel Machado Apóstolo

Coordenador do
Laboratório de Ensaios WEGeuro S.A.

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Os membros do Júri recomendam à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro a aceitação da dissertação intitulada “**Conceção, desenvolvimento e implementação de uma bancada de ensaio automático para motores elétricos**” realizada por **Inês Carvalho da Silva** para satisfação parcial dos requisitos do grau de **Mestre**.

Presidente: **João Agostinho Batista Lacerda Pavão,**
Direção do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de
Computadores do Departamento de Engenharias da Universidade
de Trás-os-Montes e Alto Douro

Vogais do Júri: **Sérgio da Costa Mendes,**
Mestre em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Chefe de Soluções em Automação e Painéis Elétricos na WEGeuro

Sérgio Augusto Pires Leitão,
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharias da Escola de
Ciências e Tecnologia da Universidade de Trás-os-Montes e Alto
Douro

Conceção, desenvolvimento e implementação de uma bancada de ensaio automático para motores elétricos

Inês Carvalho da Silva

Submetido à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para o preenchimento dos requisitos parciais para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Resumo — Este projeto surgiu tendo como base as evoluções tecnológicas aplicadas na empresa WEG sediada em Santo Tirso. Assim, atendendo aos trabalhos já desenvolvidos e o facto da Indústria 4.0 estar cada vez mais presente, vai-se estudar, projetar, implementar e testar melhorias face às bancadas atuais, que têm como função a realização de ensaios de motores elétricos de indução trifásica.

É previsto que a Indústria 4.0, aliada às novas tecnologias de automação, seja uma das principais soluções para proporcionar o aumento da produtividade fazendo com que o PIB mantenha as taxas de crescimento históricas. Estima-se que possam ser perdidos até 1,1 milhões de postos de trabalho pela implementação de tecnologias de automação, mas também, que esta possibilite a criação de 0,6 a 1,1 milhões de novos postos de trabalho até 2030, o que permite que seja atingido um equilíbrio entre o número de postos de trabalho dispensáveis e os que serão criados. De forma a minimizar o impacto que os desafios desta revolução industrial representam, será necessário criar oportunidades para que a população possa ser requalificada.

Os ensaios realizados aos motores de indução trifásica, implicam tarefas repetitivas que podem ser simplificadas através de uma bancada de ensaios automática. A automatização das bancadas utilizadas para os ensaios de motores elétricos, aliada à utilização de um PLC (*Programmable Logic Controller*) e dos respetivos módulos de expansão, vai permitir a realização dos ensaios de uma forma mais automática, dando também início à transição para a Indústria 4.0.

A projecção da bancada de ensaios automática implicou que fosse estabelecida a comunicação entre o PLC e as RUW, onde se utilizou o protocolo CAN.

A programação foi realizada no programa WPS (*WEG Programming Suite*) através

de linguagem *ladder*.

Para se perceber o funcionamento e de modo a preparar o máximo de componentes necessários à bancada de ensaios final, como os encravamentos necessários, a programação de cada botão, a disposição mais adequada e mais intuitiva dos aparelhos de medição e dos botões que irão efetuar as funções necessárias ao ensaio, para testar tanto a programação como a comunicação do PLC, foi criado um protótipo dessa mesma bancada.

O trabalho desenvolvido permitiu concluir que a automatização dos métodos de ensaio representa uma redução significativa no tempo de execução das tarefas, uma redução na probabilidade de ocorrência de erros e o aumento da segurança dos colaboradores durante a elaboração dos ensaios.

Palavras Chave: Automação, Bancada de Ensaio, PLC, Indústria 4.0.

Design, development and implementation of an automatic test bench for electric motors

Inês Carvalho da Silva

Submitted to the University of Trás-os-Montes and Alto Douro
in partial fulfillment of the requirements for the degree of
Master in Electrical Engineering and Computers

Abstract — This project came to light based on the technological evolutions applied in the company WEG based in Santo Tirso. Therefore, taking into account the work already developed and the fact that industry 4.0 is increasingly present, we will study, design, implement and test improvements compared to the existing test benches, which have the function of conducting tests of induction electric motors.

Industry 4.0, coupled with new automation technologies, is expected to be one of the key solutions for delivering increased productivity by keeping GDP at historic growth rates. It is estimated that up to 1.1 million jobs could be lost through the implementation of automation technologies, but it could also lead to the creation of 0.6 to 1.1 million new jobs by 2030, this allows a balance to be struck between the number of jobs that are expendable and those that will be created.. In order to minimize the impact that the challenges of this industrial revolution represent, it will be necessary to create opportunities for the population to be requalified.

The tests performed on three-phase induction motors involve repetitive tasks that can be simplified by designing an automatic test bench. The automation of the test benches used for the testing of electric motors, combined with the use of a PLC (Programmable Logic Controller) and its expansion modules, will allow the tests to be carried out more automatically and also to start the transition to Industry 4.0. The projection of the automatic test bench meant that communication was established between the PLC and the RUW, where the CAN protocol was used. The programming was performed in WPS (WEG Programming Suite) through ladder language.

In order to understand the operation and to prepare as many components as possible

for the final test bench, such as the necessary interlocks, the programming of each button, the most suitable and intuitive arrangement of the measuring devices and the buttons that will perform the functions required for the test, but also to test both PLC programming and communication, a prototype of the same bench was created.

The work carried out led to the conclusion that the automation of the test methods represents a significant reduction in the execution time of the tasks, a reduction in the probability of errors occurrence and the increase of the workers safety during the elaboration of the tests.

Key Words: Automatiomm, Test Bench, PLC, Industry 4.0

Agradecimentos

Ao Professor Doutor Sérgio Augusto Pires Leitão por ter aceite orientar esta dissertação, por toda a disponibilidade, mas também por todas as sugestões e motivação ao longo de todo o processo.

Ao Engenheiro Pedro Apóstolo por ter aceite coorientar esta dissertação, pela atenção, pela confiança, pelos conhecimentos que me transmitiu ao longo desta etapa e pela disponibilização de recursos para a realização da mesma.

A toda a minha família, mas em especial, à minha mãe, ao meu pai, à minha irmã e à minha avó por terem sido e serem o meu pilar, por estarem sempre do meu lado, por acreditarem em mim, principalmente quando nem eu acreditava, pelos conselhos e apoio durante a realização desta dissertação, sem eles não teria sido possível.

À Marisa, à Melanie, à Magda, à Catita e ao Francisco pelos conselhos, pela presença nos bons e maus momentos, pela paciência e pelo otimismo que têm demonstrado sempre, mas principalmente ao longo desta etapa.

Ao Pedro Alves (em especial, por me ter apoiado e acompanhado sempre e por me

ter chamado à razão quando mais precisei), ao Carlos Cruz, ao António Costa ao Luís Marinheira, à Sofia Teixeira Guedes, ao João Carvalho e ao Renato Silva pelos momentos partilhados, amizade e por me terem acompanhado sempre ao longo do meu percurso académico.

À Engenheira Inês Martins, pela disponibilidade, pela ajuda e pelos conhecimentos que me transmitiu durante a realização desta dissertação.

Ao Rafael Pratas, ao José Pereira e ao João Gonçalves, por terem sido uma parte essencial na minha integração na empresa, pela amizade, pela paciência, pelos ensinamentos transmitidos e pela entreeajuda no laboratório, e fora dele.

Ao senhor Nestor Duarte, ao João Lopes, ao Abel Rodrigues, ao Ricardo Merêncio, ao Fábio Ferreira e ao Hugo Pinto por sempre me terem ajudado a esclarecer as dúvidas que iam surgindo aquando da realização desta dissertação e por me terem acolhido na equipa. Um obrigado abrangente a toda a empresa WEG.

UTAD,
Vila Real, Outubro de 2019

Inês Silva

Índice geral

Resumo	vii
<i>Abstract</i>	ix
Agradecimentos	xi
Índice de tabelas	xvii
Índice de figuras	xix
Glossário, acrónimos e abreviaturas	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Motivação e objetivos	2
1.2 Organização da dissertação	2
2 Automação aplicada à Indústria	5
2.1 Evolução da Automação	6
2.2 Automação em Portugal	9
2.3 Implicações do aumento da Automação	13
2.4 Perdas de postos de trabalho	14
2.5 Criação de postos de trabalho	15
2.6 Requalificação da população	19
2.6.1 Iniciativas governamentais	19
2.6.2 Iniciativas de educação	20

2.6.3	Iniciativas patronais	22
3	Procedimentos de Ensaio	25
3.1	Motor de indução trifásico	25
3.1.1	Proteções	28
3.2	Acionamento de motores	30
3.3	Ensaio gerais	34
3.3.1	Medição da resistência dos enrolamentos	35
3.3.2	Medição que permite calcular o binário e corrente de arranque (Corrente/binário de rotor bloqueado a tensão reduzida)	37
3.3.3	Verificação do sentido de rotação	39
3.3.4	Ensaio de aquecimento com carga nominal	39
3.3.5	Características em carga	42
3.3.6	Tensão de curto-circuito a I_n	42
3.3.7	Ensaio em vazio	42
3.3.8	Rigidez dielétrica e resistência de isolamento	43
4	Caso de Estudo - Arquitetura do protótipo	45
4.1	Comunicação PLC e RUW	45
4.1.1	Protocolo e interface CAN	46
4.1.2	Configuração do Mestre	51
4.1.3	Configuração do Escravo	54
4.1.4	Configuração dos PDO's do Mestre/Escravo	57
4.1.5	Monitorização Online	60
4.2	Conceção do Protótipo da Bancada de Ensaio	61
4.3	Programação do PLC	67
4.3.1	Componentes e blocos utilizados	68
4.3.2	Programação do PLC	72
4.3.3	Medição da resistência entre fases	75
4.3.4	Circuito de emergência	77
5	Projeção do Armário	79
5.1	Esquema geral do laboratório	80
5.2	Dimensionamento de contactores	81
5.3	Dimensionamento da secção de cabo	84
5.4	Relés de Monitorização	86
5.5	Alarmes	87

6	Discussão de Resultados	91
6.1	Encravamentos	92
6.2	Medição das resistências entre fases	93
6.3	Comutação triângulo/estrela	95
7	Conclusões e trabalhos futuros	97
7.1	Conclusões	97
7.2	Trabalhos Futuros	98
	Referências bibliográficas	99
A	Anexos	103
A.1	Relação dos valores de resistência/temperatura das PT100	105
A.2	Datasheet do motor utilizado como exemplo	107
A.3	Erros de comunicação passíveis de ocorrer no PLC	109
A.4	Erros de comunicação passíveis de ocorrer nas RUW	111
A.5	Material utilizado	113
A.6	Cotas de furos realizados da placa de fibra de vidro do protótipo	115

Índice de tabelas

3.1	Teste realizados num ensaio tipo e num ensaio de rotina	35
3.2	Valores da medição das tensões antes da estabilização térmica	36
3.3	Valores de resistência medida nos terminais do motor depois da estabilização térmica	36
3.4	Valores de ensaio de rotor travado	37
3.5	Registo de temperaturas	40
3.6	Valores recolhidos num ensaio de curto circuito	42
3.7	Valores de referência de tensão a serem aplicados na medição da resistência de isolamento	44
4.1	<i>Pinout</i> do conector para interface CAN	48
4.2	Endereços disponível para a comunicação por <i>word</i>	50
4.3	Taxas de comunicação das RUW	50
4.4	Taxas de comunicação suportadas e comprimento de cabo	52
4.5	COB-ID do PLC e das RUWs	58
4.6	Modos de transmissão suportados	59
4.7	Possíveis causas para falhas na comunicação	61
4.8	Entradas e saídas digitais das RUW	64

5.1	Tensões de acionamento da bobine	82
5.2	Número de contactos auxiliares associados a cada modelo de contactor	84
5.3	Códigos disponíveis para identificar o número de contactos auxiliares e principais	84
5.4	Caraterísticas físicas e elétricas do cabo	86
5.5	Pinos de saída do cartão de controlo	89
6.1	Encravamentos	93

Índice de figuras

2.1	Crescimento do PIB para Portugal (%) [McKinsey&Company (2019)]	10
2.2	Potencial de Automação de vários países em 2016 (%) [Duarte (2019)]	10
2.3	Potencial de Automação por atividade em 2016 (%) [McKinsey&Company (2019)]	12
2.4	Tempo atualmente despendido em atividades laborais, cenário acelerado e intermédio [McKinsey&Company (2019)]	13
2.5	Distribuição da redução de postos de trabalho nos vários setores [McKinsey&Company (2019)]	15
2.6	Visão geral da previsão das perdas e ganhos de emprego (em milhões) [McKinsey&Company (2019)]	16
3.1	Constituição básica do motor de indução	26
3.2	Estatótipo bobinado	26
3.3	Rotor com veio inserido	27
3.4	Funcionamento do motor	28
3.5	Classe de isolamento para motores [Silveira (2017)]	29
3.6	Gráfico de relação resistência/temperatura dos NTC e PTC [Motors (2019)]	30

3.7	Esquema dos possíveis tipos de acionamento do motor	31
3.8	Esquema de acionamento do motor por DOL	32
3.9	Diagrama do circuito do VSD	33
3.10	Motor WEG W22Xd	34
3.11	Medição das resistências entre fases VW, UW e UV respectivamente	35
3.12	Gráfico de estabilização térmica do motor	40
3.13	Gráfico para determinação da temperatura no motor no instante 0	41
3.14	Megaohmímetro do fabricante Megger	44
4.1	Modelo OSI	46
4.2	<i>Pinout</i> do conector para a alimentação [WEG (2010d)]	47
4.3	Alimentação do PLC e das RUW	47
4.4	Led de indicação da interface CAN	48
4.5	Definição mestre-escravo	49
4.6	Chaves de endereço e <i>baud-rate</i> das RUW [WEG (2010d)]	49
4.7	LEDs de indicação de CAN e de ERROR	51
4.8	Configuração do parâmetro NMT do mestre	51
4.9	Configuração do parâmetro SYNC do mestre	53
4.10	Configuração do parâmetro <i>Heartbeat</i> do mestre	54
4.11	Configuração do parâmetro NMT do escravo	55
4.12	Configuração do parâmetro <i>Node Guarding</i> do escravo	56
4.13	Configuração do parâmetro <i>Heartbeat</i> do escravo	57
4.14	Parâmetros de comunicação dos PDO's	58
4.15	Bancada de ensaio de Santo Tirso	62
4.16	Ligação do PLC e das expansões aos botões	62
4.17	Esquema de furação placa	63
4.18	Furos efetuados na placa de fibra de vidro	63
4.19	Sequência de ensaio	64
4.20	Ligação do PLC às expansões	65
4.21	Protótipo - Versão 1	65
4.22	Esquema de ligação inicial	66
4.23	Esquema de ligação final	66

4.24	Entradas e saídas digitais do PLC e das RUW	67
4.25	(a) Representação em <i>ladder</i> (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto	68
4.26	(a) Representação em <i>ladder</i> (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto	68
4.27	(a) Representação em <i>ladder</i> (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto	69
4.28	(a) Representação em <i>ladder</i> (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto	69
4.29	(a) Representação em <i>ladder</i> (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto	70
4.30	(a) Representação em <i>ladder</i> (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto	70
4.31	(a) Representação em <i>ladder</i> (b) Fluxograma	71
4.32	Funcionamento da RUW como multiplexador e demultiplexador	72
4.33	Fase inicial da programação da função DOL	72
4.34	Resultado final da programação da função DOL	73
4.35	Fase inicial da programação da função ESTRELA	74
4.36	Fase de desenvolvimento da programação da função ESTRELA	74
4.37	Resultado final da programação da função ESTRELA	75
4.38	Programação inicial do botão que aciona a leitura de resistência entre as fases RS	76
4.39	Desenvolvimento da programação da leitura de resistência entre as fases	76
4.40	Programação do botão que aciona a leitura de resistência entre as fase RS	77
4.41	(a) Programação da função Reset (b) Esquema de ligação	78
5.1	Layout final do armário	80
5.2	Esquema geral do laboratório	81
5.3	Gama de contactores consoante a corrente a acionar WEG (2019a)	82
5.4	Opções de posicionamento de contactores	83
5.5	Cabo <i>Energy Variflex</i> [Cable (2017)]	86

5.6	Relés de monitorização	87
5.7	Parte superior do armário	88
5.8	Cartão de controle CC11[WEG (2010c)]	88
6.1	Protótipo - Versão final	92
6.2	Medição das resistências entre fases VW, UW e UV respetivamente .	94
6.3	Circuito de potência para a medição das resistências entre fases VW, UW e UV	95
6.4	Comutação Triângulo/Estrela atual	95

Glossário, acrónimos e abreviaturas

Lista de acrónimos

Sigla	Expansão
AC	<i>Alternating Current</i> (Corrente Alternada)
BT	Baixa Tensão
CAN	<i>Controller Area Network</i>
COB-ID	<i>Communication Object Identifier</i>
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
DI	<i>Digital Input</i>
DO	<i>Digital Output</i>
DOL	<i>Direct-On-Line</i>
DT	Delta
fem	Força eletromotriz
GCF	Gestão de Chão de Fábrica
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
Hz	<i>Hertz</i>
IA	Inteligência Artificial

Sigla	Expansão
IP	Índice de Polarização
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
K	<i>Kelvin</i>
LA	Lado de Ataque
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LOA	Lado Oposto ao Ataque
MIT	Motor de Indução Trifásico
MT	Média Tensão
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
NMT	<i>Network Management</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
PDO	<i>Process Data Object</i>
PE	Projeto Elétrico
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
PVC	Policloreto de Vinilo
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
QILT	<i>Quality Indicators for Learning and Teaching</i>
RAC	Resistência Anti Condensação
ro	<i>Read only access</i>
rpm	Rotações por Minuto
RTDs	<i>Resistance Temperature Detectors</i>
RTR	<i>Remote Transmit Request</i>
rw	<i>Read/write access</i>
RxPDO	<i>Receive - Process data object</i>
SDO	<i>Service Data Object</i>
TI	Transformador de Intensidade
TxPDO	<i>Transmit - Process data object</i>
VSD	<i>Variable-Speed Drive</i>
WPS	WEG Programming Suite
XLPE	Polietileno reticulado,



Introdução

A introdução da automação nos processos industriais é utilizada a fim de melhorar as estratégias de produção. Em termos de custo, a automação proporciona a melhoria de preço de bens e serviços oferecidos ao consumidor. Em termos de qualidade, representa uma melhoria visto que implica a redução do erro humano. Em termos de inovação, uma vez que este tema, que sempre teve grande importância para a evolução industrial, tem tomado uma dimensão cada vez maior, a introdução de processos industriais implica a introdução na quarta revolução industrial também conhecida como a Indústria 4.0. Neste contexto, têm sido colocados novos desafios às empresas com vista ao cumprimento destes requisitos. Assim, este trabalho de desenvolvimento de uma bancada de ensaios automatizada, surge como uma necessidade da empresa com os objetivos principais de: aumentar a carga de trabalho do laboratório; tornar a forma como são realizados os ensaios aos motores mais intuitiva; reduzir o tempo entre tarefas realizadas pelos colaboradores; diminuir a probabilidade de ocorrência de erros ou falhas; facilitar a deteção de erros e sua resolução.

1.1 Motivação e objetivos

A adoção do tratado de Bolonha teve como consequência a redução das horas de contacto existente entre os professores e os alunos. Isto implica que o aluno precise de realizar mais trabalho fora das aulas de forma a conseguir definir bem os objetivos e capacidades que quer desenvolver, de forma a que estes se tornem uma mais valia para o seu futuro. Assim, este novo processo, não só de ensino, mas também de aprendizagem, implica que o aluno desenvolva mais o poder de iniciativa e que tenha um papel mais ativo na sua educação para além de assistir às aulas e tirar apontamentos. A melhor maneira dos alunos adquirirem conhecimento é pondo o que vão sendo ensinados em prática, principalmente num curso de engenharia onde em situações futuras, no mercado de trabalho, esses alunos vão estar perante situações reais e práticas [Barros (2013)]. Esta foi a motivação principal para o desenvolvimento deste projeto uma vez que o estágio possibilita a aplicação de conhecimentos adquiridos durante o percurso académico em situações reais e a oportunidade de adquirir novos conhecimentos através da prática e do contacto com pessoas que possuem experiência profissional na área.

O objetivo deste projeto é fazer com que a implementação desta nova forma de realizar ensaios utilize menos componentes e que os ensaios sejam feitos de forma mais rápida, segura e com menor probabilidade de erro.

1.2 Organização da dissertação

Para além da introdução, capítulo 1, esta dissertação divide-se em 7 capítulos. No capítulo 2 encontra-se o estado da arte, onde é de interesse mencionar a forma com a automação foi evoluindo, de que forma é que esta influencia a indústria e a sociedade bem como mencionar o estado atual e o que se prevê que seja o futuro da automação em Portugal.

No capítulo 3 faz-se a descrição dos ensaios realizados em laboratório bem como

a descrição dos métodos utilizados para a sua realização, tendo como objetivo o enquadramento do tema a ser desenvolvido.

No capítulo 4 apresenta-se todo o trabalho desenvolvido para que fosse estabelecida a comunicação entre o PLC e as expansões, a fim de ser possível montar uma bancada atuada por PLC, bem como as vantagens da realização dos ensaios através da mesma quando comparado com a bancada existente. Depois da comunicação ser estabelecida foi criado um protótipo da bancada de ensaio cujas fases do seu desenvolvimento se encontram explicadas neste capítulo. É necessário programar o PLC em *ladder* para que este consiga enviar e receber os comandos da bancada, isto é, para que quando um botão for pressionado, o PLC seja capaz de receber essa entrada e que consiga produzir a saída pretendida. Este capítulo é também constituído por este processo.

No capítulo 5 desenvolve-se o projeto referente à estrutura da bancada, isto é, a escolha dos materiais a ser utilizados, a preparação do *layout* final para que este fosse o mais intuitivo possível e que possibilitasse a sua expansão.

No capítulo 6 apresentam-se os resultados obtidos.

Finalmente, no capítulo 7 apresentam-se as conclusões retiradas da implementação do protótipo da bancada e os trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente a fim de melhorar e automatizar ainda mais a bancada.

No capítulo A, encontram-se 6 anexos: a tabela as PT100, a *datasheet* do motor utilizado como exemplo, os erros de comunicação passíveis de ocorrer no PLC e nas RUW, a listagem de material utilizado e as cotas de furação do *layout* final do armário.



Automação aplicada à Indústria

Segundo Chialastri, a automação é a técnica de controlo de aparelhos, processos ou sistemas através de dispositivos eletrónicos e/ou mecânicos que fossem capazes de substituir as capacidades de recolha de informação, capacidade de decisões e apresentação de resultados do Homem.

A automatização de processos tem sido aplicada cada vez mais em tarefas que de outra maneira seriam impossíveis de ser realizadas. A automação surge como consequência da era da mecanização onde se começaram a substituir as tarefas normalmente repetitivas ou de grande esforço realizadas pelo Homem ou pelos animais, por máquinas. Contudo, apesar desta substituição já servir para simplificar o trabalho que era feito, a utilização de máquinas não dispensava a ação humana. Assim a automação surge com o objetivo de facilitar ainda mais a execução de tarefas uma vez que a integração de máquinas em sistemas é feita a fim de reduzir ao máximo a necessidade de intervenção humana recorrendo a vários elementos para que o sistema funcione e se torne inteligente a ponto de melhorar os processos [Chialastri (2012)].

2.1 Evolução da Automação

Desde o início de século XVIII, a ciência entrou num processo de constante evolução. A 1ª revolução industrial ficou marcada, essencialmente, pela descoberta do carvão como fonte de energia e que permitiu o desenvolvimento da máquina a vapor e a locomotiva. A aplicação de máquinas nas indústrias foi o grande marco desta 1ª revolução [Boettcher (2015)].

Na 2ª revolução industrial começou-se a tornar evidente a necessidade de novas tecnologias. Esta procura por novidades deu origem a utilização da eletricidade e do petróleo como fontes de energia e também deu origem a implementação de linhas de produção automatizadas.

Durante a 3ª revolução industrial os avanços tecnológicos recaíram sobre as áreas da robótica, informática, telecomunicações, dos transportes e da biotecnologia, é marcada também pelo surgimento de dispositivos como o PLC (*Programmable Logic Controller*), dos microcontroladores, dos microcomputadores e do início do controlo computadorizado dos processos [Saltiel et al. (2017)].

O PLC teve origem na indústria automóvel em 1968, e surgiu da necessidade que a companhia *General Motors* teve de simplificar a forma como eram realizadas as mudanças dos painéis de controlo das linhas de montagem. Estes circuitos de controlo eram constituídos maioritariamente por relés e cada modificação nas linhas de montagem representavam altos gastos de tempo e dinheiro, não só para a indústria automóvel, mas que toda a indústria em geral [Borracha (2012)].

Os relés são componentes mecânicos e que quando utilizados para controlar equipamentos, estão sujeitos a desgaste, possuem elevado tempo de operação, alto gasto de energia e implicam especial atenção, para que tudo funcione corretamente [Leonardo (2003)].

Os PLC's recebem informações através das entradas de dados e processam esses dados segundo o programa que possuem na sua unidade de memória. Os resultados

do processamento são enviados através das saídas. Com a evolução tecnológica, estes controladores foram evoluindo o que permitiu o aumento da variedade de tipos de entradas e saídas, da velocidade de processamento e permitiu melhorar o modo de programação e a interface com o utilizador [Leonardo (2003)].

Inicialmente a programação era feita em *Assembly* o que implicava o conhecimento por parte do programador de todos os componentes eletrónicos que constituíam o equipamento. Na fase seguinte desta evolução, começaram a surgir programas capazes de converter o programa elaborado pelo utilizador em linguagem máquina. Posteriormente, os PLC's começaram por conter entradas de programação o que permitia que estes fossem ligados a teclados ou a programadores portáteis. Quando finalmente o PLC passou a possuir entrada para comunicação serial, tornou-se possível a sua programação diretamente a partir de um computador, existindo apenas a necessidade da instalação do *software* de programação. Isto permite realizar a programação, transferir o programa para o PLC e testar o funcionamento do mesmo. Além disso a utilização de padrões de protocolos de comunicação, facilitou a interface com outros equipamentos [Zancan (2011)].

Com o passar do tempo e com os avanços tecnológicos os PLC's foram sempre melhorando passando a possuir características que os destacam quando se fala em automação industrial. Estes dispositivos adaptam-se à aplicação que vão ter através do ajuste do número de entradas, saídas e de funções necessárias à aplicação.

A programação é essencialmente desenvolvida em *ladder* que se assemelha aos esquemas elétricos de relés e contactores, através de blocos funcionais, semelhantes a esquema com portas lógicas ou através de listas de instrução mnemónicas que partilham semelhanças com os programas escritos em *Assembly* [Júnior (2018)].

A 4ª revolução industrial ou Indústria 4.0, que tendo vindo a ocorrer e que se vai continuar a desenvolver, une tecnologias e métodos como o *Big Data*, o *Cloud Computing*, a *Advanced Analytics* e da Internet das Coisas. O *Big Data* permite armazenar com rapidez uma grande quantidade de informação, que depois de tratada e analisada em tempo real, ajuda à tomada de decisões de maneira mais precisa, a

Advanced Analytics trata-se de um conjunto de métodos avançados que se baseia no *Big Data* para prever riscos, tomar decisões e otimizar processos, o *Cloud Computing* é o sistema informático que permite o armazenamento e o acesso de dados via internet e finalmente, a Internet das Coisas, que a grosso modo, se refere à interligação de máquinas, aparelhos comuns, equipamentos de transporte etc. [Saltiel et al. (2017)].

Os métodos mencionados anteriormente, que foram surgindo graças à indústria 4.0, tiveram influência nas empresas portuguesas fazendo com que estas se debruçassem para conceitos que englobam a área de automação industrial como a robotização, o *machine learning* e a inteligência artificial, fazendo com que os setores se estejam a transformar de forma muito rápida [Castro (2019)].

Os robôs são uma parte já integrante de algumas empresas e fazem parte do futuro da indústria. A robotização descreve isso mesmo, ou seja, descreve o processo de automação de tarefas normalmente realizadas por colaboradores de tal modo que estas passem a ser executados por robôs [Ogorodnikova (2007)].

À partida a robotização não se diferencia da automação tradicional, no entanto, enquanto que quando se fala em automação esta implica a supervisão constante e ação humana em casos de falhas, a robotização torna-se mais flexível visto que tem a capacidade de se adaptar em caso de ocorrência de uma falha processual, tornando desta forma a ação humana desnecessária [Freitas (2018)].

A inteligência artificial (IA) é o conceito que se refere à capacidade da máquina de imitar algumas características humanas. Alguns exemplos dessas características são o reconhecimento facial, da voz, a capacidade de tomada de decisões, o reconhecimento das preferências do usuário ou a tradução de idiomas.

O *machine learning* pode ser considerado um ramo da IA no entanto esta tecnologia não requer programação para "aprender". Este tipo de sistema inteligente possui a capacidade de se adaptar consoante os dados que recebe, ou seja, o sistema pode estar a dar uma resposta de acordo com os dados disponíveis para análise, mas se receber mais dados, ele é capaz de se modificar de modo a dar a resposta mais

adequada tendo em conta a análise do novo conjunto de dados [Rabelo (2018)].

2.2 Automação em Portugal

Encontra-se uma necessidade cada vez maior de otimizar e de adotar novas técnicas industriais para tornar os processos melhores e incentivar desta forma o crescimento das empresas, isto justifica-se uma vez que, em Portugal, um quinto da população trabalha na indústria [Castro (2019)].

Existe uma necessidade de contrariar o abrandamento do produto interno bruto (PIB), a forma mais viável para isso é recorrer à automação, uma vez que esta proporciona a Portugal a injeção necessária de produtividade fazendo com que seja possível acelerar o crescimento da mesma, bem como ajudar a sustentar as taxas de crescimento verificadas nos últimos 20 anos [McKinsey&Company (2019)].

O crescimento do PIB de 1996 a 2016 foi de 1,1% a tendência, em 2030, é para que este valor desça para os 0,5%, tal como mostra gráfico apresentado na figura 2.1, no entanto, tendo em conta uma visão prospetiva que inclui a automação e o aumento de produtividade, estes tornam-se fatores essenciais, para que o país seja capaz de sustentar o valor de 1,1% de crescimento do PIB.

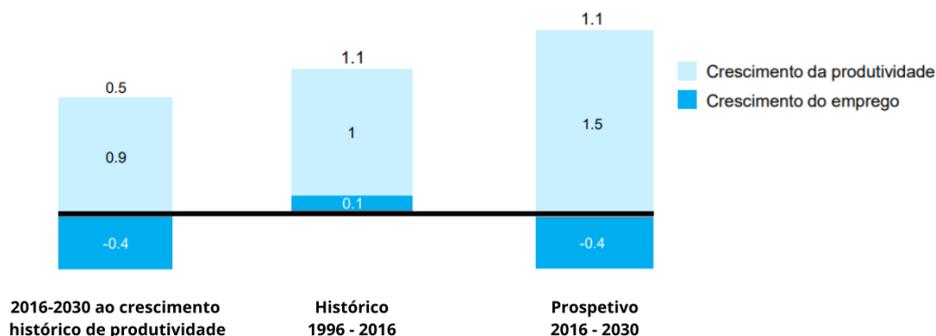


Figura 2.1 – Crescimento do PIB para Portugal (%) [McKinsey&Company (2019)]

Para que a produtividade aumente e seja possível contrariar a tendência de decréscimo do crescimento do PIB, é necessário apostar na automação. Portugal possui um potencial de automação que se pode considerar alto devido à existência de um grande número de atividades de trabalho repetitivo em diversos setores da indústria. Do diagrama presente na figura 2.2, onde o potencial de automação foi definido consoante as oportunidades de automatização de tarefas através utilização tecnologias já existentes, pode concluir-se que, comparando especificamente com outros países e com o valor global, Portugal apresenta um dos maiores potenciais de automação. A percentagem de potencial de automação de 50% que Portugal possui, significa que, atualmente, metade das atividades de trabalho possuem condições para serem automatizadas e correspondem a 52% do total das horas de trabalho em Portugal. [McKinsey&Company (2019)].

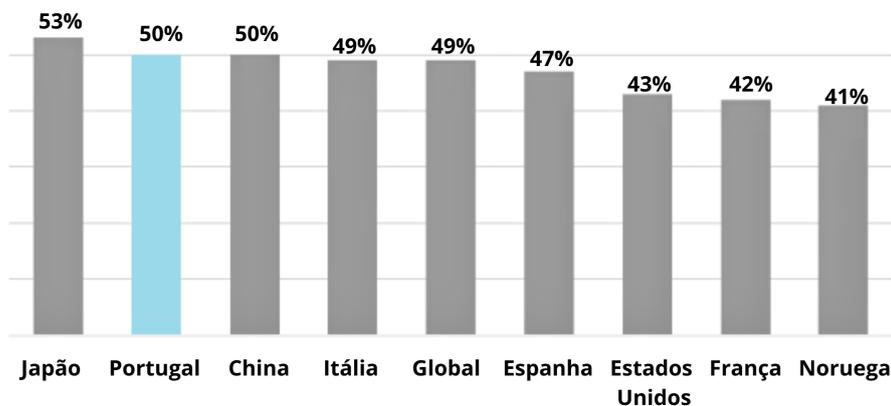


Figura 2.2 – Potencial de Automação de vários países em 2016 (%) [Duarte (2019)]

Contudo este valor pode subir para 67% em 2030 dependendo principalmente do surgimento de novas tecnologias. O facto de o potencial de automação ser elevado não tem influência direta na taxa de adoção de tecnologias de automação, isto é, a velocidade com que as empresas integram estas tecnologias depende principalmente do preço de investimento dos equipamentos, da resistência que pode existir a novas tecnologias e ao ciclo económico. Nos dias de hoje, o ciclo económico encontra-se numa fase onde a taxa de desemprego pode ser considerada baixa. Este fator faz com que as empresas apresentem mais dificuldade em encontrar mão-de-obra, o que pode fazer com que isto se torne uma motivação para investir na automação de processos, fazendo com que a adoção de novas tecnologias seja mais rápida [Duarte (2019)].

As ocupações referentes às atividades previsíveis e físicas, isto é, atividades laborais que implicam a realização de atividades físicas e de operação de máquinas em ambientes considerados previsíveis, são por exemplo, operários fabris, operadores mecânicos ou trabalhadores de produção. Este tipo de atividade, tal como se pode concluir através do diagrama presente na figura 2.3, representa a maioria do tempo de trabalho despendido em Portugal, mas também a que apresenta o maior potencial de automação.

Dentro das ocupações relacionadas com o processamento de dados podem-se considerar como exemplos os pagamentos e o processamento de salários ou de transações. No que diz respeito à recolha de dados pode-se considerar como exemplo o apoio jurídico e o processamento de hipotecas. Ambas estas atividades, representadas na figura 2.3, possuem mais de 70% de potencial para substituição de execução de tarefas por processos automatizados.

As ocupações referentes às atividades imprevisíveis e físicas, ou seja, a realização de atividades físicas e operação de máquinas em ambientes considerados imprevisíveis, são por exemplo, os jardineiros ou os trabalhadores da construção civil.

A interface diz respeito às atividades de interação física com outras pessoas como auxiliares de saúde e vendedores.

Os artistas e os cientistas inserem-se na atividade designada por *Expertise*, visto que aplicam o seu conhecimento à tomada de decisão, ao planeamento e a atividades criativas.

Dentro da atividade de gestão, onde se podem considerar os gestores ou os CEO's, realiza-se, tal como o próprio nome indica, tarefas de gestão, mas também formação de pessoas. Estas atividades possuem o potencial de automatização mais baixo, no entanto este também é o tipo de atividade em que os trabalhadores portugueses passam menos tempo, representando cerca de 6% do tempo gasto em todas as ocupações laborais em Portugal [Duarte (2019)].

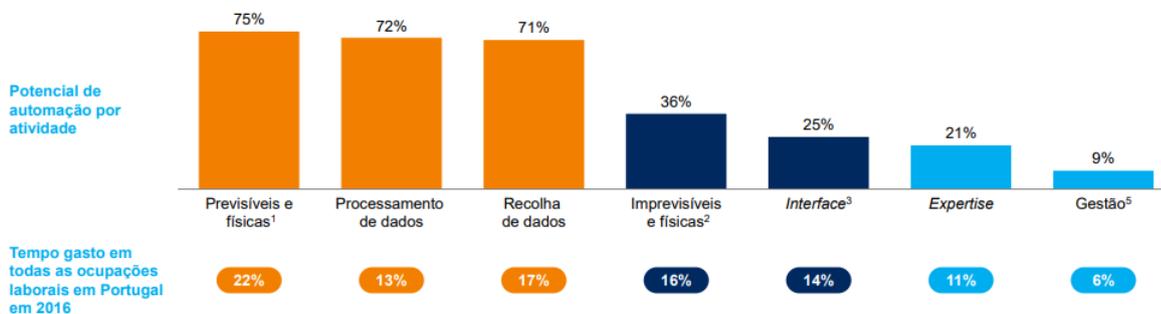


Figura 2.3 – Potencial de Automação por atividade em 2016 (%) [McKinsey&Company (2019)]

A partir do gráfico presente na figura 2.4, é possível verificar uma notória discrepância entre os valores previstos e os potenciais. Isto acontece porque existe um conjunto de 6 fatores, que têm influência na velocidade e no crescimento da automação dentro das diferentes atividades. Esses 6 fatores que são a viabilidade técnica, o custo de desenvolvimento e implantação, as características do mercado de trabalho (por exemplo, o nível salarial), os benefícios económicos (é necessário verificar se a aposta na automação pode ser justificadas com os aumentos de produtividade gerados), a aceitação em termos de regulamentação e sociais e o ciclo económico [Duarte (2019)].

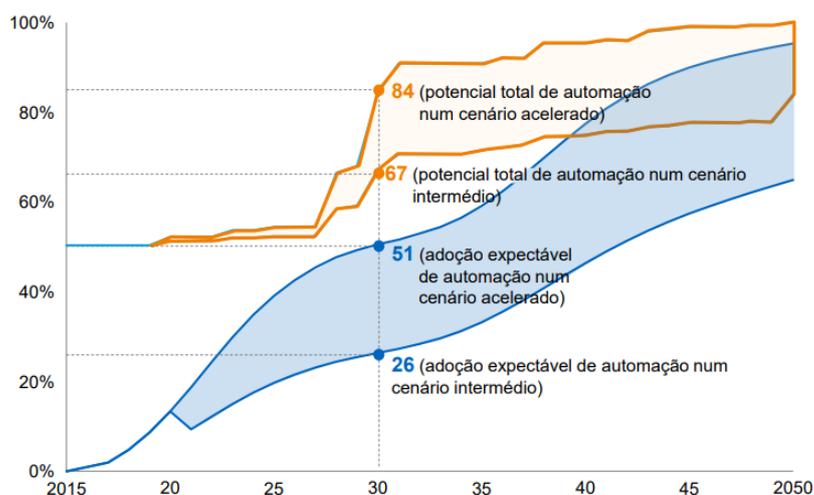


Figura 2.4 – Tempo atualmente despendido em atividades laborais, cenário acelerado e intermédio [McKinsey&Company (2019)]

Portugal possui a capacidade de atingir, em 2030, a automatização de 67% do tempo despendido em trabalho. No entanto é previsto que esta taxa de automatização não ultrapasse 26% deste possível total de 67% uma vez que não se pode ter a certeza de qual será o ritmo de desenvolvimento tecnológico, pois este vai depender do custo do trabalho, da variação de oferta e de procura do mesmo e das vantagens que a substituição de trabalhadores pode ou não trazer, isto é, se o custo do trabalho for baixo e houver muita procura, as empresas vão optar por colaboradores em vez de utilizarem técnicas de automação para efetuar a mesma tarefa, visto que em comparação a primeira opção é a menos dispendiosa, e este fator terá sempre grande importância quando for preciso tornar uma decisão sobre a forma como irá ser realizado o trabalho [McKinsey&Company (2019)].

2.3 Implicações do aumento da Automação

A automação é um assunto que tem vindo a ser bastante debatido devido às questões que levanta sobre a sua influência no futuro do mercado de trabalho, no seu efeito na produtividade das empresas, na competitividade económica, na educação e também

na qualidade de vida.

Uma das consequências da aplicação da automação nas fábricas é a perda de postos de trabalho.

Um dos argumentos a favor desta tecnologia é existir a possibilidade de recolocar os trabalhadores a realizar novas tarefas, apostando na sua formação de maneira a aumentar os seus níveis de habilidade e continuarem a pertencer ao processo. No entanto, isto só é possível enquanto a empresa se encontrar com uma taxa de crescimento suficientemente rápida, de forma a ser possível a criação de novas posições para todos os empregos que foram perdidos, uma vez que, a colocação de uma máquina ou de um robô a realizar uma determinada tarefa pode representar 2 a 3 postos de trabalho perdidos.

A formação de trabalhadores é bastante importante uma vez que o aumento da automatização de processos requer pessoas como mais conhecimento, devidamente treinadas de forma a que seja possível implementar esta tecnologia com competência visto que a automação requer, por exemplo, capacidades de otimização de processos, análise de sistemas, a programação e operação das máquinas.

Uma das vantagens da automatização de, por exemplo, uma linha de montagem, é o aumento da taxa de produção o que implica que ao longo do tempo isto se reflita no preço dos produtos, ou seja, faz com que exista uma redução dos mesmos e, que consequentemente, os torne mais acessíveis melhorando a qualidade de vida.

O aumento da produtividade em conjunto com a redução de preço faz com que exista maior competitividade entre empresas fazendo com que a indústria esteja sempre em constante crescimento [Groover (2018)].

2.4 Perdas de postos de trabalho

Quase sempre que é referido o tema da automação, surge também a preocupação sobre a sua influência no mercado de trabalho, isto é, nas diferentes ocupações e

nos vários setores de atividade. Estima-se que até 2030 a automação seja capaz de tornar dispensáveis cerca de 1,1 milhões de postos de trabalho.

Passando de uma visão geral para o ponto de vista concreto e tendo em conta o gráfico dos diversos setores apresentados na figura 2.5, as perdas de emprego na produção fabril representam cerca de 40% do deslocamento total. Já os setores que menos vão ser afetados pela automatização são os setores da educação e da saúde, uma vez que não existem muitas tarefas que tragam mais vantagens se forem automatizadas ou mesmo que sejam passíveis de o ser [Duarte (2019)].

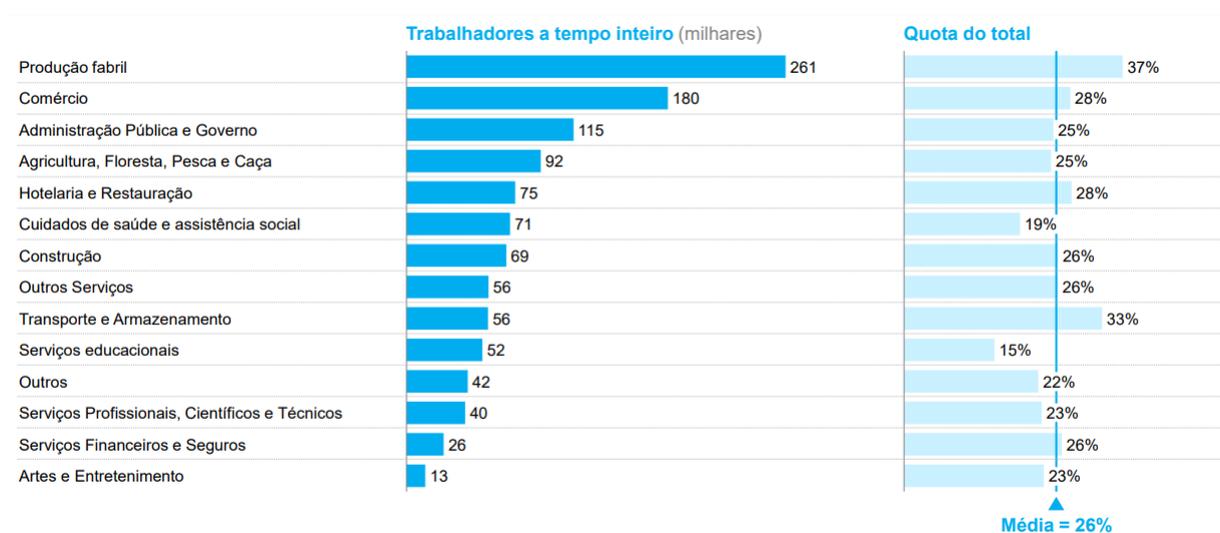


Figura 2.5 – Distribuição da redução de postos de trabalho nos vários setores [McKinsey&Company (2019)]

2.5 Criação de postos de trabalho

Foi referido que a automação implica que cerca de 1,1 milhões de trabalhadores portugueses não fiquem a executar as mesmas tarefas que realizavam antes da implementação de tecnologias de automação, mas, no entanto, estima-se também que possam vir a ser criados entre 0,6 a 1,1 milhões de novos postos de trabalho, até ao ano 2030, criando desta maneira um equilíbrio entre os postos de trabalho perdidos e os que poderão surgir [McKinsey&Company (2019)].

Pelo diagrama representado na figura 2.6, percebe-se que foram perdidos 1,1 milhões de postos de trabalho, estima-se que num cenário inicial serão criados 0,6 milhões de empregos, que num cenário de *step-up*, ou seja, de expansão, prevê que o estado irá fornecer os meios para que sejam criados cerca de 0,2 milhões de postos de trabalho adicionais fazendo com que se tenha a previsão de que pelo menos 0,8 milhões de novos empregos serão criados até 2030.

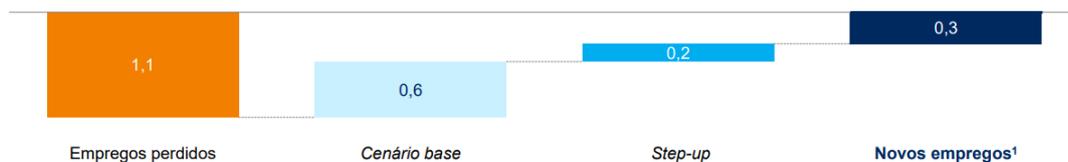


Figura 2.6 – Visão geral da previsão das perdas e ganhos de emprego (em milhões) [McKinsey&Company (2019)]

O valor de 0,6 milhões de empregos numa fase inicial têm como base 6 fatores [Duarte (2019)]:

- O aumento do rendimento

Tal como já se verificou no gráfico presente na figura 2.1, estima-se que a automação irá permitir aumentar, anualmente, 1,5% a taxa de crescimento da produtividade, o que implica um crescimento do PIB do 1,1% por ano. Este crescimento da produtividade será a chave para que seja possível manter a taxa de crescimento média do PIB dos últimos 20 anos. Desta maneira, o aumento da produtividade, irá ter a capacidade de compensar o decréscimo da população empregada, pelo mesmo gráfico -0,4% ao ano.

Sem a introdução da automação, existe um decréscimo da taxa de crescimento da produtividade de 1 para 0,9 e mantém-se o decréscimo de -0,4% da taxa de crescimento de emprego, o que significa que o valor histórico de 1,1% da taxa de crescimento do PIB passaria a ser de 0,5% até 2030.

O aumento do rendimento, resultado do crescimento da produtividade, vai ser importante para a criação de empregos na medida em que vai implicar que

exista um aumento da procura por bens e por serviços. Consequentemente, irá fazer com que a produção e a criação de emprego também aumentem e com que os consumidores passem a gastar mais o seu rendimento em bens e serviços menos automatizáveis, criando mais empregos desse tipo.

- O envelhecimento da população

Portugal é um país desenvolvido, e como tal, a sua população está a envelhecer. Este facto implica um aumento da necessidade de serviços de saúde. Assim, estima-se que sejam criados cerca de 120.000 empregos a tempo inteiro como resposta às necessidades criadas pelo envelhecimento populacional.

- A difusão tecnológica

A introdução de tecnologias de automação, nomeadamente da robótica, da inteligência artificial e da aprendizagem automática em diversos setores da indústria, irá estimular as empresas para a procura por trabalhadores específicos para essas áreas, como engenheiros de *software* ou técnicos de eletrónica. Calcula-se que a implementação destas tecnologias e desta procura por parte das empresas, poderá representar a criação de 97.000 novos empregos.

- O investimento imobiliário

O aumento do rendimento familiar levará a um aumento do investimento imobiliário, pois cria a possibilidade de melhorar a qualidade das habitações. Tendo em conta o investimento imobiliário em Portugal, prevê-se que o aumento deste investimento provoque a criação de 24.000 empregos ligados ao sector imobiliário.

- O investimento em infraestruturas

Tal como no sector imobiliário, espera-se que no sector das infraestruturas, o aumento do rendimento fará aumentar o investimento em infraestrutura. De forma a seguir as tendências verificadas em anos anteriores dos gastos com infraestruturas, estima-se que surjam 11.000 empregos nesse sector em Portugal.

- A transição nas fontes energéticas

O custo das energias renováveis, como a solar, a eólica ou a hidroelétrica, é mais baixo quando comparado com o custo das energias fósseis. Este fator faz com que as novas tecnologias se adaptem e mudem a maneira como produzem e consomem recursos. Tem-se como meta, até ao final do século, impedir que a temperatura global aumente até dois graus *Celsius*, segundo o Acordo de Paris. Uma das formas para atingir esse objetivo é substituir as energias fósseis por renováveis. Portugal têm sido um exemplo desta transição, visto que 100% das suas necessidades de energia foram satisfeitas através da energia hidroelétrica e eólica, em Março de 2018. Apesar de Portugal já apostar nas energias renováveis, estima-se que a transição nas fontes energéticas poderá criar ainda 9.000 novos empregos.

Na fase de expansão, prevê-se que o valor de 0,2 milhões de empregos desta fase, terão como foco 2 vertentes.

No setor imobiliário e de investimento estima-se a criação de empregos para sustentar o crescente investimento na construção resultado da crise da dívida pública em Portugal.

No setor dos cuidados, prevê-se a aposta em programas que permitam que trabalhos domésticos como cozinhar, limpar, cuidar de crianças e idosos sejam realizados a grande escala. Para isso conta-se com a criação de programas escolares e de atendimento a idosos, creches, serviços domésticos e plataformas de pedidos de refeições, o que representa a criação de posto de trabalho para todas estas necessidades.

Contudo juntando os valores estimados para a criação de emprego num cenário base e num cenário de expansão, permanece uma redução de 0,3 milhões de postos de trabalho, que se espera ultrapassar, tendo como base as tendências históricas já apresentadas, até 2030 [Duarte (2019)].

2.6 Requalificação da população

Um dos principais desafios da automação e da transformação tecnológica que esta implica no País, é a qualificação e requalificação dos trabalhadores. Atualmente, já existe uma baixa taxa de procura por parte dos trabalhadores visto que a taxa de desemprego se encontra com níveis baixos, isto associado à falta de oferta de formação torna-se um fator crítico, visto que, graças à automação, irão surgir novos postos de trabalho cujas habilitações necessárias em 2030 vão ser diferentes das habilitações necessárias no passado. Isto implica uma necessidade cada vez maior por parte das empresas de requalificar os seus ativos e em recrutar novos colaboradores que possuam as competências necessárias [CIP (2019)].

A requalificação é uma ferramenta essencial para minimizar os desafios criados pela transição para uma indústria mais automatizada, bem como de aproveitar ao máximo as oportunidades oferecidas pela automação. Um plano de requalificação requer principalmente da ação de três agentes: do governo, dos educadores e dos empregadores [McKinsey&Company (2019)].

2.6.1 Iniciativas governamentais

Um plano de requalificação depende do Estado na medida em que é necessário que este informe e mobilize todos os agentes de mudança, isto é, incentivar os responsáveis do setor privado a requalificar os seus colaboradores e desenvolver medidas que permitam que os cidadãos obtenham as competências que são necessárias desenvolver para se adequarem aos novos postos de trabalho gerados pela introdução da automação. A Campanha "*das Handwerk*" é um exemplo alemão de como incentivar a requalificar dos seus colaboradores. Esta campanha foi lançada pela Confederação Central de Ofícios Qualificados da Alemanha e têm como objetivo atrair os cidadãos para profissões com muita procura fazendo com que se aumente a disponibilidade de recursos humanos para tarefas onde estes são necessários [McKinsey&Company (2019)].

Tal como já foi referido é necessário requalificar os ativos, mas também é necessário que seja fornecida formação contínua para que os trabalhadores tanto ativos como futuros tenham a capacidade de se adaptar às mudanças que a evolução e a introdução de tecnológicas de automação implicam. Assim é um fator importante que o governo invista na aprendizagem ao longo da vida. Em Singapura foi criado um programa que permite e incentiva a que os trabalhadores estejam em constante aprendizagem sobre a profissão que desempenham. Esse programa é o *SkillsFuture Credits* e funciona através da atribuição aos cidadãos de créditos de aprendizagem para cursos relacionados com suas profissões

[McKinsey&Company (2019)].

Outra medida que o governo pode tomar consiste em gerir tanto o sistema de aprendizagem como o de emprego. Isto é possível começando por, por exemplo, garantir a relevância dos cursos que estão disponíveis e organizar a educação de forma a permitir percursos de aprendizagem flexíveis e que se ajustem às necessidades do mercado de trabalho. Uma associação industrial alemã criou o *Future Skills Compass*, esta trata-se de uma ferramenta de pesquisa para medir quais as competências futuras que irão ser necessárias numa empresa. Isto representa uma grande vantagem na qualificação da sociedade porque permite guiar o tipo de curso e formações necessárias para que depois essa aprendizagem possa efetivamente ser empregue no mercado de trabalho [McKinsey&Company (2019)].

2.6.2 Iniciativas de educação

É necessário adaptar as estruturas de cursos de forma a criar currículos que possuam competências que sejam necessárias no futuro, bem como fomentar a aprendizagem ao longo da vida. Os educadores podem intervir neste sentido na medida em que é fortemente necessário que estes estejam bem informados sobre competências e oportunidades necessárias no futuro. Isto é importante para que esta informação seja passada aos seus alunos fazendo com que estes, por sua vez, sejam encaminhados para cursos e que procurem obter competências que facilitem o seu futuro no mercado

de trabalho. Facilitar o acesso à informação através da disponibilização de cursos *on-line*, também poderá ser uma boa iniciativa, pois facilita o acesso e, de certo modo, incentiva a formação. O *Quality Indicators for Learning and Teaching Website (QILT)* é um *website* criado pelo Gabinete Australiano de Educação e Formação que fornece informação sobre a taxa de emprego associada a cada curso, ou seja, é um forma muito acessível de dar a conhecer aos cidadãos quais os empregos e competências mais favoráveis de ser desenvolvidas a fim de serem mais facilmente aproveitados pelas empresas [McKinsey&Company (2019)].

A aprendizagem em conjunto com a experiência permite criar, atualizar currículos e consolidar conhecimentos. A Microsoft Research associou-se à Universidade de Cambridge e em conjunto criaram a iniciativa de *machine learning*. Esta associação entre estas duas instituições permitiu oferecer apoio a PhDs mas também uma posição de pós-graduação no MSFT Research Lab [McKinsey&Company (2019)].

Em suma o que se pretende é que se aumente o foco no futuro, isto é, que se aumente as competências e a formação com capacidade para estas se irem moldando às necessidades ao desenvolvimento das indústrias. Algumas formas de ir adaptando o conhecimento às necessidades da indústria é apostar em sistemas modulares com certificações, de modo a ser possível adaptar os módulos ao conteúdo mais adequados para o futuro e apostar na oferta de cursos flexíveis como forma de complementar a educação. A *Singapura Media Academy*, é um centro de educação e treinamento contínuo, que aposta na oferta de *master classes*, *workshops* e qualificações de competências que têm grande potencial de ser aproveitadas pelo mercado de trabalho. A maneira utilizada para incentivar a população a frequentar este tipo de formações. é não ser necessário quaisquer tipo de pré-requisito [McKinsey&Company (2019)].

A Universidade do Minho e a Bosch são um exemplo de incentivo dos educadores à automação, o primeiro projeto de sucesso desta parceria foi o *HMIExcel* (2013-2015). Atualmente, estão a trabalhar em conjunto com intuito de criação de conhecimentos e tecnologias em Portugal no projeto *INNOVCAR* no ramo da multimédia automóvel e veículos inteligentes. Na região Norte já existem entidades que trabalham com as instituições de ensino e com as empresas de forma a serem capazes de monitorizar

as competências dos trabalhadores e as necessidades do mercado de trabalho. Este trabalho já é realizado na região norte do país entre o Balcão UNorte.pt e as Universidades do Porto, Minho e Trás-os-Montes e Alto Douro, isto representa uma combinação entre oferta e procura de investigação e a inovação das empresas que resulta na monitorização das competências tecnológicas resultantes da inovação nas empresas [Duarte (2019)].

2.6.3 Iniciativas patronais

Por último os empregadores são o agente que pode ter grande influência no que diz respeito a antever as necessidades futuras de talento, de forma a estudar que competências são necessárias às empresas para assim poderem treinar de melhor forma possível os seus funcionários. Para isso uma das ações que pode ser tomada é apostar no planeamento do recrutamento estratégico, isto pode ser feito através do estudo do estado da oferta de trabalho interna e externa, tendo em conta análises do mercado laboral. Um exemplo da aplicação desta ação é o método utilizado pelos diretores de recursos humanos da *Google* que se baseiam nas tendências de oferta (interna e externa) e nas competências que se prevê que possam ser necessárias à empresa para controlar o número de trabalhadores, isto é, para controlar que o número de trabalhadores não está em excesso nem em défice [McKinsey&Company (2019)].

É benéfico para as empresas que seja reforçada a qualificação dos seus trabalhadores, isso pode ser realizado através do incentivo dos seus funcionários à aprendizagem contínua de modo a ser possível melhorar constantemente o seu desempenho e, mais importante, através da disponibilização de oportunidades para que as novas competências sejam aplicadas. Um exemplo da aplicação deste tipo de incentivo foi o trabalho realizado pela AT&T que criou parcerias com universidades para permitir que os seus funcionários tivessem acesso a cursos de educação com valores de propinas reduzidas, como forma de incentivo de requalificação da sua força de trabalho [McKinsey&Company (2019)].

Portugal têm muito potencial para que a automação seja inserida e venha a melhorar em muito a produtividade do País mas, para isso, é preciso ultrapassar os desafios que a adoção deste tipo de tecnologias representam, preparar o País para o que é possível projetar para futuro e mostrar os benefícios que esta mudança pode e muito provavelmente irá trazer [CIP (2019)].

3

Procedimentos de Ensaio

Grande parte dos sistemas de distribuição de energia elétrica que existem atualmente são sistemas de corrente alternada [Baptista (2007)] e, por esse motivo, o Motor de Indução Trifásico (MIT) tornou-se no mais utilizado na indústria [Silva (2017)].

Este tipo de motores torna-se mais vantajoso quando comparado com o motor de corrente contínua, não só pelo facto sobre a distribuição de energia mencionado anteriormente, mas também pela sua eficiência que lhe permite ter um rendimento elevado para média e máxima carga [Eusébio (2009)].

3.1 Motor de indução trifásico

O MIT é o tipo de motor fabricado pela WEG Portugal e é constituído basicamente pelas partes representadas na figura 3.1.

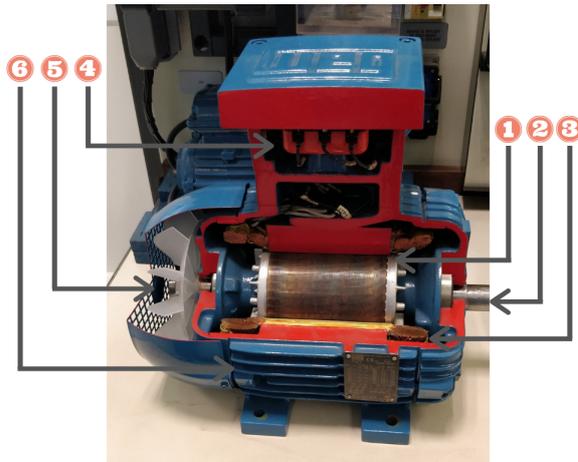


Figura 3.1 – Constituição básica do motor de indução

Legenda: 1 - Estator; 2 - Rotor; 3 - Bobine; 4 - Caixa de Terminais; 5 - Ventilador; 6 - Carcaça.

O estator, representado na figura 3.2, é constituído por chapas ferromagnéticas isoladas entre si, com ranhuras na superfície interior onde são colocadas as bobines, interligadas de forma a criar o enrolamento de fase, dando assim origem ao campo magnético. Por indução eletromagnética, a alimentação fornecida por uma fonte AC é transferida do estator para o rotor [Pratas (2018)].

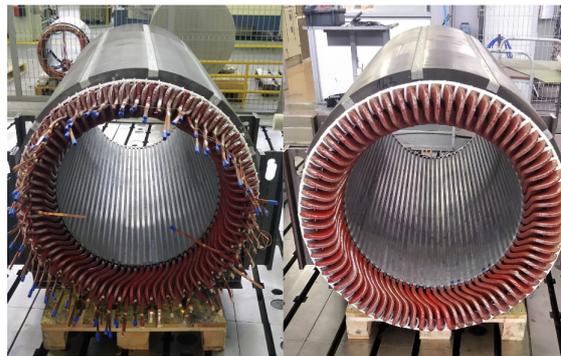


Figura 3.2 – Estator bobinado

O rotor, apresentado na figura 3.3, é a parte móvel do motor constituído por um núcleo ferromagnético, com um conjunto de condutores paralelos, onde são introduzidas as correntes provenientes da corrente alternada das bobines do estator.

O rotor é introduzido no interior do estator bobinado e encontra-se apoiado num veio que é responsável por transmitir o binário produzido à carga a que está acoplado. Por sua vez o estator bobinado é inserido dentro da carcaça que pode ser de ferro ou aço [Baptista (2007)].



Figura 3.3 – Rotor com veio inserido

O funcionamento do MIT baseia-se essencialmente em 3 leis:

- **Lei de Laplace:** "Sobre um condutor retilíneo, percorrido por corrente, mergulhado num campo magnético, é exercida uma força eletromagnética que é proporcional à indução magnética (B) a que ele está sujeito, à intensidade de corrente (I) que o percorre, ao seu comprimento (l) e ao seno do ângulo que ele forma com a indução ($\text{sen}\alpha$)"

$$F = BIl\text{sen}\alpha$$

- **Lei de Lenz:** "O sentido da corrente induzida é tal que esta, pelas suas ações magnéticas, tende sempre a opor-se à causa que lhe deu origem"
- **Lei de Faraday:** "Sempre que através da superfície abraçada por um circuito tiver lugar uma variação de fluxo ($d\phi/dt$), gera-se nesse circuito uma força eletromotriz induzida (e). Se o circuito for fechado, será percorrido por uma corrente induzida"

$$e = -\frac{d\phi}{dt}$$

Os 3 enrolamentos do motor separados entre si por um ângulo de 120° , são injetados com corrente trifásica proveniente da rede de distribuição. Esta corrente ao percorrer os enrolamentos cria um campo magnético girante que ao atravessar o rotor bobinado lhe provoca uma variação de fluxo nos condutores o que conseqüentemente, faz com que seja induzida nestes condutores, segundo a lei de Faraday, uma força eletromotriz (f.e.m.). As correntes induzidas no rotor, tendo em conta a lei de Lenz, as suas ações magnéticas e ao facto de os condutores estarem em circuito fechado, têm sentido oposto à causa que lhe deu origem. Assim, e tendo em conta que os campos magnéticos do rotor e do estator são constituídos por pólos contrários, vai ser gerando em cada instante um campo magnético no rotor que vai tender de maneira oposta ao campo magnético girante do estator. Como o campo magnético do estator é girante e como os pólos contrários se atraem, o rotor move-se para tentar acompanhar o campo girante do estator [Pestana (2006)].

O funcionamento do motor de indução encontra-se resumido na figura 3.4.



Figura 3.4 – Funcionamento do motor

3.1.1 Proteções

As proteções de um motor são, normalmente, a RAC (Resistência Anti Condensação) e as RTD's (*Resistance Temperature Detectors*), na forma de termístores ou PT100.

A RAC deverá estar ligada quando o motor não está em funcionamento e tem como função garantir que não se forma condensação, nem humidades dentro do motor durante o período em que este se encontra desligado [WEG (2015)].

O motor possui uma temperatura limite para o seu funcionamento de acordo com a sua classe de isolamento, figura 3.5, no caso dos motores produzidos em Portugal deve-se ter em conta a classe B, F e H.

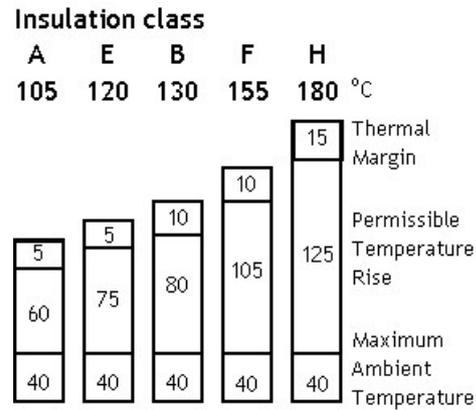


Figura 3.5 – Classe de isolamento para motores [Silveira (2017)]

Para garantir que esta temperatura não é ultrapassada, utiliza-se o termístor. Este componente trata-se de uma resistência não linear que deteta a temperatura. Cada termístor possui a sua própria relação resistência vs temperatura [Motors (2019)].

Existem dois tipos de termístores o PTC (*Positive Temperature Coefficient*), que aumenta sensivelmente a sua resistência elétrica com o aumento da temperatura, e, o NTC (*Negative Temperature Coefficient*), que diminui sensivelmente a sua resistência elétrica com o aumento da temperatura. [Motors (2019)]

O recetor de valores pode ser um contacto que abre quando o valor da resistência tende para infinito (no caso do PTC que, neste caso, é o tipo de termístor utilizado), como se vê no gráfico presente na figura 3.6, isto significa que se atingiu uma temperatura limite e que faz com que o motor deixe de funcionar, ou pode ser também um contacto que aciona um alarme de modo a avisar que se está próximo de atingir a temperatura limite do motor.

O primeiro tipo de termístor referido é o termístor de disparo e pode ser utilizado sozinho, o segundo é o termístor de alarme que, normalmente, é utilizado em conjunto com o de disparo, sendo que a temperatura regulada para o de alarme é sempre mais baixa do que a temperatura regulada para o de disparo.

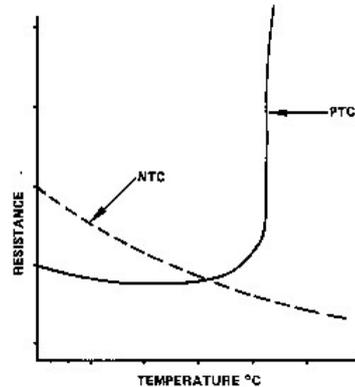


Figura 3.6 – Gráfico de relação resistência/temperatura dos NTC e PTC [Moters (2019)]

As PT100 são sensores de temperatura com uma resistência que varia o seu valor linearmente conforme a sua temperatura se altera [WEG (2019b)]. Estas termo resistências variam consoante a tabela apresentada no anexo A.1.

O estado das PT100 é verificado, através da sua medição com um multímetro do valor de resistência, antes e depois da realização dos testes de rigidez dielétrica e da medição da resistência de isolamento para se verificar se estas não foram danificadas.

As PT100 estão colocadas nos pontos mais quentes do estator, situados normalmente do lado oposto ao ventilador e no centro do motor. O número de PT100 por fase, são normalmente 1 ou 2, e o número de PT100 colocadas no motor são colocadas consoante o motor em questão e dos requisitos do cliente.

3.2 Acionamento de motores

No laboratório com localização na Maia, os motores podem ser acionados por DOL (*Direct on line*) ou por VSD (*Variable Speed Drive*), tal como mostra a figura 3.7

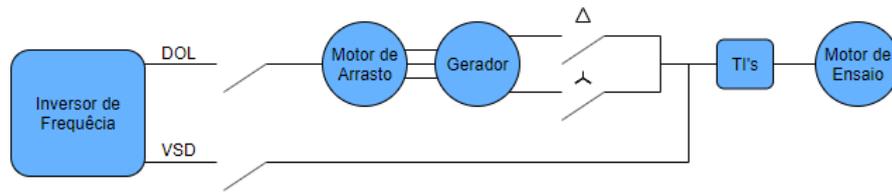


Figura 3.7 – Esquema dos possíveis tipos de acionamento do motor

- DOL

Existem vários tipos de acionamento, no entanto o DOL é o método mais simples de acionar um motor. Tal como o próprio nome indica este tipo de acionamento, implica que o motor esteja diretamente ligado à fonte de energia através de um contactor trifásico [Parmar (2012)].

Por norma, o DOL é utilizado em motores de potência menor, uma vez que a corrente de arranque pode chegar a ser 10 vezes superior à corrente a que o motor funciona em condições aplicáveis ao funcionamento normal. No arranque, uma carga maior não terá uma corrente maior, apenas um arranque mais demorado. Geralmente utiliza-se um contactor para ligar e desligar a energia e um relé de temperatura ou de sobrecarga para proteger o motor. Este tipo de acionamento é o mais simples e o mais barato, no entanto é necessário considerar as limitações de corrente de arranque da fonte de alimentação [Metroid (2017)].

Na figura 3.8 encontra-se o esquema do acionamento presente na fábrica da Maia, onde é possível perceber que inicialmente é acionado o motor de arrasto com recurso a um inversor de frequência. Por meio de um acoplamento direto, este motor aciona o alternador que transforma a energia mecânica em energia elétrica e fornece a potência necessária ao motor de ensaio. Visto não estar ligado a um "barramento infinito", através de regulação da excitação, e por conseguinte, a corrente no enrolamento rotórico, consegue-se variar a tensão de saída para o motor em ensaio.

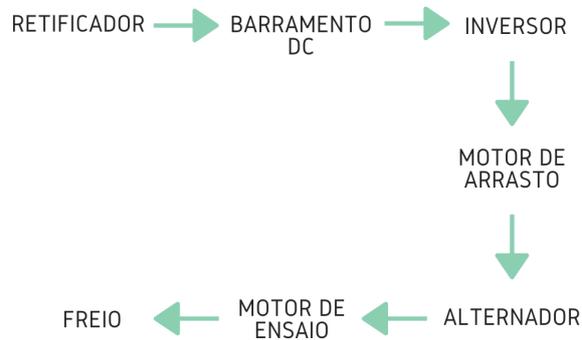


Figura 3.8 – Esquema de acionamento do motor por DOL

O *DOL* possui como vantagens ser o tipo de acionamento mais económico, ser simples de operar, possuir um circuito de controlo simples. No entanto este método não reduz a corrente de arranque do motor, este está sujeito a grandes esforços térmicos o que reduz o tempo de vida útil do motor e utiliza um binário de arranque de valor elevado, sem ser necessário, mesmo que a carga não o implique, o que aumenta o esforço mecânico nos sistemas mecânicos, como por exemplo, no eixo do rotor [WatElectrical (2018)].

- VSD (Inversor de frequência)

O VSD é um dispositivo de controlo que permite proteger e controlar a velocidade de arranque, de paragem e de funcionamento de um motor de indução.

Para controlar a velocidade deste tipo de motores, os VSD convertem os valores constantes de frequência e tensão de entrada numa fonte ajustável desses mesmos valores.

A frequência da energia aplicada ao motor serve para determinar a velocidade síncrona, segundo a equação:

$$N = \frac{60f}{p}$$

Onde N , f e p , representam, respetivamente, a velocidade em rpm (Rotações por Minuto), a frequência em Hz (*Hertz*) e p o número de pares de pólos do motor.

Tendo em conta o diagrama da figura 3.9, a energia fornecida pela rede, passa por um retificador de modo a retificar a potência da rede de AC (Corrente Alternada) para DC (Corrente Contínua). Os filtros (*chokes*) atuam de forma a atenuar o *ripple* no barramento DC a ser fornecida ao módulo inversor. Este utiliza a energia do barramento DC para inverter a saída que se assemelha ao seno de uma onda AC usando a modulação PWM (*Pulse Width Modulation*). O PWM atua ao mudar os semicondutores do inversor em diversas larguras e tempos, cuja as suas medias, criam uma forma de onda PWM, equivalente à sinusoidal.

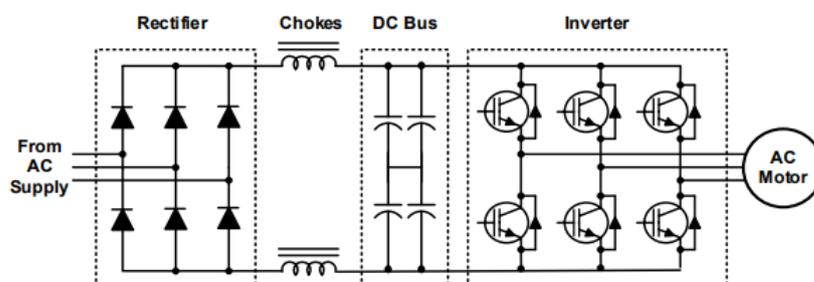


Figura 3.9 – Diagrama do circuito do VSD

Algumas das vantagens do uso do VSD são permitir que a velocidade seja totalmente ajustável, garantir o controlo dinâmico do binário e manter constante a velocidade dos equipamentos o que faz com que o uso dos VSD sejam ideais para equipamentos industriais. Em termos de versatilidade, os VSD possuem técnicas de proteção contra sobrecargas, bem como a capacidade de detetar falhas. Estes funcionam de maneira semelhante aos PLC uma vez que possuem entradas e saídas digitais e analógicas e mesmo em termos de *software* de programação. Em termos de poupança de energia a utilização dos VSD permite a redução dos picos de energia, e a capacidade de redução da potência quando esta não é necessária [WEG (2016a)]. Estas unidades de velocidade variável são muito utilizadas devido à sua versatilidade, contudo, este tende a ser o método mais caro para acionamento de motores. [Metroid

(2017)] Os parâmetros do inversor de frequência são ajustados através da *HMI* (*Human Machine Interface*) consoante o motor a ser ensaiado. De seguida liga-se diretamente a saída do inversor de frequência à entrada do motor.

3.3 Ensaaios gerais

Tal como já foi referido, um dos objetivos deste projeto baseia-se em melhorar a forma com os ensaios são realizados. De forma a que seja mais fácil perceber as vantagens da implementação que uma bancada de ensaios automatizada pode trazer, vão-se apresentar os ensaios que são realizados atualmente.

Como exemplo, foram utilizados dados de um ensaio completo realizado a um motor antideflagrante W22Xd, presente na figura 3.10.



Figura 3.10 – Motor WEG W22Xd

Os ensaios realizados no laboratório certificam a qualidade do produto final que vai ser entregue ao cliente e para isso são realizados, por norma, ensaios apresentados na tabela 3.1, os testes a parte destes podem ser pedidos quer pelo cliente ou pelos responsáveis pelo projeto elétrico, normalmente chamados ensaios PE (Projeto Elétrico).

Ensaio Tipo ou Completo	Ensaio de Rotina
Medição da resistência de enrolamentos	Medição da resistência de enrolamentos
Medição que permite calcular o binário e corrente de arranque (Corrente/binário de rotor bloqueado a tensão reduzida)	Ensaio em vazio à tensão nominal (I_o , P_o)
Verificação do sentido de rotação	Tensão de curto-circuito a corrente nominal
Teste de funcionamento a quente (Teste de aquecimento/ Medição da temperatura dos rolamentos)	Verificação do sentido de rotação
Características em carga	Rigidez dielétrica aos enrolamentos e aos circuitos auxiliares incluindo RAC e R.T.D.s
Tensão de curto-circuito à corrente nominal	Resistência de isolamento dos enrolamentos e dos circuitos auxiliares incluindo RAC e R.T.D.s
Teste em vazio	
Rigidez dielétrica aos enrolamentos e aos circuitos auxiliares incluindo RAC e R.T.D.s	
Resistência de isolamento dos enrolamentos e dos circuitos auxiliares incluindo RAC e R.T.D.s	

Tabela 3.1 – Teste realizados num ensaio tipo e num ensaio de rotina

3.3.1 Medição da resistência dos enrolamentos

A resistência dos enrolamentos é medida a frio, ou seja, antes de o motor começar a funcionar e logo após a estabilização térmica, para que seja possível determinar o aquecimento do motor.

Tendo em consideração a norma IEEE Std 112:2017, para a medição, colocam-se as pinças de Kelvin entre fases, UW, UV e VW e faz-se a medição da tensão nas fases tendo como referência a entrada, isto é, U1, W1 e V1, figura 3.11 [IEEE (2017)].



Figura 3.11 – Medição das resistências entre fases VW, UW e UV respetivamente

Pela lei de Ohm obtêm-se os valores da resistência. Este ensaio realizado a frio serve também para verificar os valores das resistências. Se estes valores forem aproximadamente os mesmos significa que as fases estão equilibradas, tal como se pode ver na tabela 3.2.

Fases	I (A)	V	R = U / I	$R_{med}(\Omega)$
U-V	20	0,1386	0,00693	
U-W	20	0,1382	0,00691	0,00692
V-W	20	0,1386	0,00693	
Tamb:	22,9 °C			

Tabela 3.2 – Valores da medição das tensões antes da estabilização térmica

Não é possível medir de imediato o valor da resistência quando o motor atinge a estabilização térmica, uma vez que se tem de parar o motor por completo antes de realização desta medição, por isso, são registadas várias medições de resistência de 20 em 20 segundos, como mostra a tabela 3.3.

Tempo (s)	Ve	Ref
60	0,1706	0,008530
80	0,1704	0,008520
100	0,1702	0,008510
120	0,1700	0,008500
140	0,1698	0,008490
160	0,1697	0,008485
180	0,1696	0,008480
200	0,1694	0,008470
220	0,1692	0,008460
240	0,1691	0,008445

Tabela 3.3 – Valores de resistência medida nos terminais do motor depois da estabilização térmica

3.3.2 Medição que permite calcular o binário e corrente de arranque (Corrente/binário de rotor bloqueado a tensão reduzida)

Para a realização deste ensaio o motor vai ser acoplado ao freio, que está travado, para que este por sua vez, trave o veio do motor e para que seja possível medir o binário e a corrente de arranque. Para isso o motor é alimentado com o valor de tensão que corresponda à corrente nominal e vai-se aumentando a tensão, até ao seu valor nominal. Quando se atingir o valor da tensão nominal (ou o valor de tensão mais próximo da tensão nominal possível de ser medido devido a limitações de corrente do laboratório, neste caso os valores são extrapolados), os valores de corrente e de binário medidos são os valores correspondentes da corrente e binário de arranque [IEEE (2017)]. Estes valores estão a ser registados automaticamente numa tabela 3.4.

V1	V2	V3	A1	A2	A3	W1	W3	U	I	W	Hz	Nm
58	58	58	369	371	370	15771	4506	58	370	11265	50	57
68	68	68	446	449	447	22558	6117	68	447	16442	50	80
73	73	73	485	489	487	26505	7015	73	487	19490	50	96
78	79	79	530	534	532	31378	8110	79	532	23268	50	112
85	85	85	580	584	581	37242	9426	85	582	27817	50	134
103	103	103	720	726	722	56430	13568	103	723	42862	50	205
115	116	115	816	822	819	71828	16776	115	819	55053	50	263
128	129	128	920	927	923	90603	20606	128	924	69998	50	333
143	144	143	1038	1046	1042	114465	25374	143	1042	89091	50	425
180	181	180	1339	1349	1343	187106	39183	180	1344	147924	50	708
201	202	201	1510	1521	1514	236034	48094	201	1515	187940	50	902
223	224	223	1695	1708	1700	295310	58626	224	1701	236683	50	1140
247	248	248	1899	1914	1904	367475	71393	248	1906	296082	50	1428
275	276	275	2136	2153	2142	460168	87966	275	2144	372203	50	1797
303	304	303	2371	2387	2376	562988	108055	303	2378	454932	50	2199

Tabela 3.4 – Valores de ensaio de rotor travado

Os valores da *datasheet* a ter em conta, para verificar se os valores do ensaio de rotor travado estão corretos são:

- *Rated current* - corrente nominal;
- *L.R. Amperes* - corrente de arranque;
- *LRC* - relação entre a corrente nominal e a de arranque;
- *Rated torque* - binário nominal;
- *Locked rotor torque* - relação entre o binário nominal e o de arranque.

A *datasheet* encontra-se no anexo [A.2](#).

A corrente de arranque pode-se comparar diretamente com o valor que é apresentado na *datasheet*. No caso do binário de arranque é preciso fazer a multiplicação do valor do binário nominal pelo valor da relação entre o binário nominal e de arranque.

Os valores a azul, presentes na tabela [3.4](#), são os valores mais próximos que foi possível medir para a corrente (primeiro valor da coluna I) e a tensão nominal (último valor da coluna U).

Consoante o valor mais próximo da tensão nominal que foi possível registar, obtém-se os valores da corrente (último valor da coluna I) e de binário de arranque (último valor da coluna Nm) assinados a verde, também referentes à tabela [3.4](#), que foram respetivamente 2378 A e 2199 Nm.

Neste caso não foi atingido o valor indicado na *datasheet* para a tensão nominal pois subindo a tensão a corrente aumenta ainda mais e como esta passa por um TI (Transformador de Intensidade), por limitações da bancada, não foi possível subir ainda mais esse valor.

Segundo a *datasheet* presente no anexo [A.2](#), o valor da corrente de arranque terá de ser 3458 A e o binário de arranque será $1603 * 2,3 = 3686,9 Nm$. Estes valores quando comparados com os valores medidos, no caso da relação entre a corrente nominal e a de arranque, não pode exceder os 20% e no caso do binário nominal e o de arranque não pode estar abaixo de 15% nem acima de 25%, segundo a tabela 20 presente na norma IEC 60034-1:2010 [IEC (2010)].

Comparando os valores teóricos com os medidos, e tendo em conta a tolerância permitida, pode-se concluir que o motor está conforme.

3.3.3 Verificação do sentido de rotação

Os cabos relativos às fases U V W da fonte de energia devem estar ligados aos terminais do motor, pela forma indicada na chapa. Este critério verifica, tendo em conta a norma IEC 60034-8:2007, se o motor roda sentido de rotação especificado [IEC (2007)].

3.3.4 Ensaio de aquecimento com carga nominal

Este ensaio é realizado para determinação do aquecimento nominal do motor, para isso, o ensaio é realizado com o motor acoplado ao motor que efetua a carga. De seguida o motor aciona-se com uma sobrecarga em relação à sua potência nominal para que aqueça de maneira mais rápida.

O motor tem de subir até ao valor de temperatura definido em *datasheet* (anexo A.2), para depois ser colocado à sua potência nominal e estabilizar.

A estabilidade térmica é alcançada quando a variação da temperatura é menor ou igual a 1K (Kelvin) durante o intervalo de uma hora, quando monitorizada pelo sensor de temperatura montado na carcaça, ou quando a variação de temperatura é menor ou igual a 2K durante o intervalo de uma hora, quando monitorizada por um sensor de temperatura inserido no enrolamento do motor, segundo a norma IEC 60034-2-1:2014 [IEC (2014)]. Em seguida, o motor é desligado e a resistência do estator e a temperatura ambiente são medidas. Para isso subtrai-se à temperatura desses pontos, a temperatura da entrada de ar, apresentado na tabela 3.5 como DT (Delta), e compara-se de hora a hora, DT (1h) na tabela 3.5.

hora	kw	Ent ar	Centro	DEB	NDEB	U	V	W	1TP1	1TP2	DT	DT (1h)	DT (RLA)	DT (1h)	DT (RLOA)	DT (1h)	DT (1R)	DT (1h)
12:27	312,5	22,9	27	35,8	41,5	63,8	62	62,4	233,4	150								
12:30	312,5	22,9	27,4	36,5	42,5	65,4	63,6	63,9	229,5	146,6								
12:30	312,5	22,9	27,4	36,5	42,5	65,4	63,6	63,9	229,5	146,6								
12:45	312,5	23,1	29,4	40,8	47,4	73,7	71,8	72,2	209	129,3								
12:45	312,5	23,1	29,4	40,8	47,4	73,7	71,8	72,2	209	129,3								
13:00	312,5	23,3	31,2	44,4	52	82,6	80,2	80,8	187,6	112,4								
13:15	312,5	23,4	32,7	47,3	56,2	86,7	84,4	85	177,4	104,3								
13:45	312,5	23,8	34,6	52,8	60,8	96,3	93,6	94,4	157,3	87,4								
14:00	312,5	23,9	35,4	54,9	62	100,8	97,9	98,7	149,4	80								
14:45	250	24,7	35	56,2	60,4	87,2	85,1	85,7	164,6	97,5	10,3		31,5		35,7		62,5	
15:00	250	24,7	35	56,4	60,2	87,2	85,1	85,6	164,7	97,5	10,3		31,7		35,5		62,5	
15:15	250	24,7	35,1	56,4	60	87,1	84,9	85,5	165	97,8	10,4		31,7		35,3		62,4	
15:30	250	24,8	35	56,3	59,8	87	84,8	85,4	165,1	97,9	10,2		31,5		35		62,2	
15:45	250	24,8	34,9	56,2	59,8	87	84,8	85,4	165,1	98	10,1	-0,2	31,4	-0,1	35	-0,7	62,2	-0,3

Tabela 3.5 – Registo de temperaturas

Todas estas variações de temperatura, são registadas no gráfico da figura 3.12, de onde se conclui que o motor aqueceu em sobrecarga até às 13:55, depois teve de se esperar aproximadamente 1 hora até que este começasse a estabilizar.

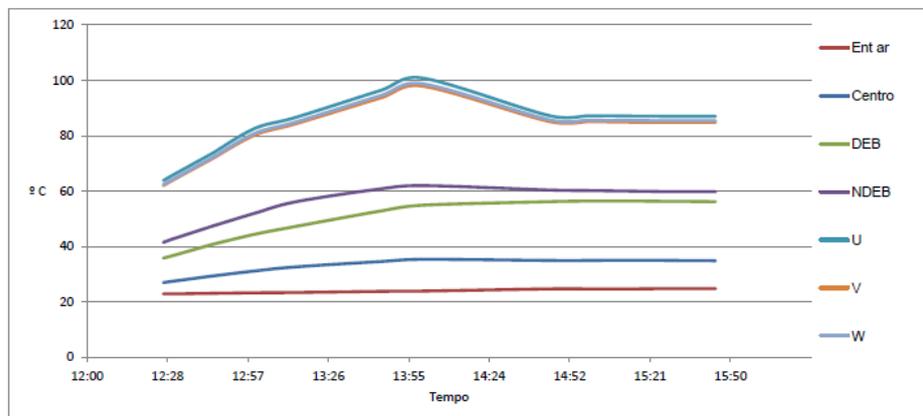


Figura 3.12 – Gráfico de estabilização térmica do motor

Os valores das resistências registados após a estabilização térmica (figura 3.3) são marcados num gráfico de relação tempo/temperatura calculada e que depois permitem traçar uma reta. O ponto onde essa reta intercepar o eixo das ordenadas indica o valor do aquecimento do motor no instante 0, figura 3.13.

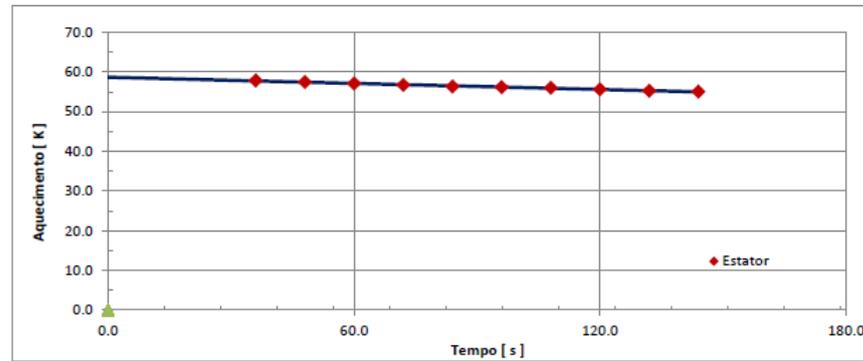


Figura 3.13 – Gráfico para determinação da temperatura no motor no instante 0

No final é utilizada a seguinte fórmula, segundo a norma IEC 60034-1:2010, para determinar o aquecimento:

$$\theta = \frac{(Req - Rsf)}{Rsf} * (234,5 + Tambf) - (Tamb - Tambf)$$

Onde: θ é o aquecimento do motor em Kelvin, Req é a resistência extrapolada para o ponto 0, o Rsf , é a média das 3 resistências obtidas com o motor a frio, o $Tambf$ e o $Tamb$ correspondem à temperatura ambiente quando se mediu a resistência antes e depois da estabilização térmica, respetivamente [IEC (2010)]. O valor 234,5 é o valor de K do estator, presente na norma IEC 60034-1:2010. De onde se obtém o valor $\theta = 57,8$ K.

O aquecimento não deve exceder o valor especificado na *datasheet* e o aquecimento das RTD's não deve exceder + 10K da mesma referência, segundo a tabela 7 da norma IEC 60034-1:2010 [IEC (2010)].

Os motores antideflagrantes são motores com capacidade de conter uma explosão interna, ou seja, impedir a propagação desta para o ambiente externo circundante e capazes de garantir um limite de temperatura para a superfície no exterior do invólucro [WEG (2010b)]. Por este motivo, e tendo em conta a norma IEC 60079-1:2018, referente à proteção de equipamentos por estrutura do tipo d para contenção de explosão, a estabilização não é realizada à tensão nominal, U_n , mas sim a $U_n -$

10% [IEC (2018)].

3.3.5 Características em carga

O motor é colocado em funcionamento com carga, à tensão e frequência nominais. De seguida são registados os valores da velocidade, binário, corrente, potência elétrica, potência absorvida e frequência para os diferentes pontos de carga 150%, 125%, 100%, 75%, 50%, 25% e 0% do binário nominal. Os critérios de verificação deste ensaio, encontram-se na tabela 20 presente na norma IEC 60034-1:2010 [IEC (2010)].

3.3.6 Tensão de curto-circuito a I_n

Para este ensaio o motor coloca-se em funcionamento até atingir a corrente nominal, neste caso de 461 A segundo a *datasheet* presente no anexo A.2, e todos os valores lidos pelo analisador de potência são registados na tabela 3.6.

ENSAIO EM CURTO CIRCUITO												
V1	V2	V3	A1	A2	A3	W1	W3	V	I	W	Hz	Nm
69,72	69,907	69,773	460,673	463,024	462,286	24065	-6405	69,8	461,9943	17660	49,934	-79,539

Tabela 3.6 – Valores recolhidos num ensaio de curto circuito

A finalidade deste ensaio é determinar o valor do binário máximo. O valor de tolerância para o binário máximo é até 10% abaixo do valor especificado na *datasheet*, segundo a tabela presente na norma IEC 60034-1:2010 [IEC (2010)].

3.3.7 Ensaio em vazio

Este ensaio é realizado para calcular as perdas mecânicas e no ferro do motor, através da medição dessas potências, isto é perdas de ventilação, por atrito e no ferro, uma vez que num motor desacoplado toda a potência que se medir representa perdas, tal como descreve a norma IEEE Std 112:2017 [IEEE (2017)].

Nos ensaios de rotina, este teste determina os valores das perdas e da corrente em vazio do motor. Depois do motor estar corretamente ligado ao aparelho de medida, e de ser alimentado à sua tensão e frequência nominal, recolhem-se os valores de corrente e potência absorvida.

Nos ensaios tipo, este teste é realizado como o motor a funcionar em vazio à sua frequência nominal e a 6 valores de tensão diferentes. Um dos pontos de medição deve ser a 100% da tensão nominal. Os valores da corrente e a potência absorvida para cada valor de tensão são recolhidos.

Para ambos os casos a tolerância é no máximo até 20 % acima do valor em *datasheet*, segundo a tabela 20 da norma IEC 60034-2-1:2014 [IEC (2014)].

3.3.8 Rigidez dielétrica e resistência de isolamento

Este tipo de testes começam pela verificação do funcionamento das proteções do motor, que são, em regra geral, a RAC e aos RTD's, isto é, os termístores e as PT100.

Depois de verificadas as proteções, se o motor a ensaiar for MT (Média Tensão) faz-se primeiro a medição do IP (Índice de Polarização), depois o ensaio de rigidez dielétrica e no final a medição da resistência de isolamento, se for de BT (Baixa Tensão) faz-se logo a rigidez e depois a medição da resistência de isolamento.

- IP

O IP é medido após ser feito o *shunt* das 3 fases, ligar a garra positiva do megaohmímetro a uma das fases para que sejam injetados 10% da corrente nominal do motor e ligar a garra negativa à massa. O motor fica sujeita a esta corrente durante 10 minutos e ao fim deste tempo o megaohmímetro, figura 3.14, indica o valor do IP do motor em questão. Pela tabela 3 da norma IEEE Std 43:2013, o valor de IP tem de ser ≥ 2 para indicar que o motor está apto para fazer o ensaio de rigidez. Se o valor do IP for < 2 indica que existe

humidade ou falhas no isolamento do estator e tem de ser retificado [IEEE (2013)].



Figura 3.14 – Megaohmímetro do fabricante Megger

- Rigidez dielétrica

Para realizar o teste entre a bobinagem e a massa, faz-se um *shunt* das fases do motor e são-lhes injetados, pela tabela 6 da norma IEC 60034-1:2010, $2 * U_{Nominal} + 1000V$, enquanto que a massa se liga à carcaça do motor. O teste decorre durante 1 minuto e utiliza-se o *Megger*, figura 3.14, para fazer a medição a resistência de isolamento entre o estator e a carcaça [IEC (2010)].

- Medição da resistência de isolamento

Este teste serve para verificar se o teste de rigidez não danificou o isolamento e para detetar outros possíveis no isolamento e/ou humidade. Os valores de referência a ser aplicados na medição da resistência de isolamento encontram-se na tabela 3.7 presente na norma IEEE Std 43:2013 [IEEE (2013)].

Voltagem nominal de enrolamento (V)	Tensão direta a aplicar (V)
<1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12000	2500 - 5000
>12000	5000 - 10000

Tabela 3.7 – Valores de referência de tensão a serem aplicados na medição da resistência de isolamento

4

Caso de Estudo - Arquitetura do protótipo

4.1 Comunicação PLC e RUW

O PLC e as suas cartas de expansão RUW comunicam através do protocolo CAN (*Controller Area Network*), portanto, é de interesse conhecer a forma como a esta comunicação é feita.

Em 1986, *Robert Bosch* desenvolveu este protocolo para aplicação na indústria automóvel de modo a que fosse possível simplificar os sistemas de controlo. A especificação inicial deste protocolo tinha como base a taxa de transmissão elevada, a grande imunidade às interferências elétricas e a capacidade de detetar erros. Ao longo dos anos, o CAN passou não só a ser utilizado em aplicações relacionadas com a indústria automóvel, mas também a ser utilizado em meio industrial. A razão para isto acontecer apoia-se no facto de os sistemas eletrónicos estarem constantemente em crescimento, isso implica o aumento do número de ligações e consequentemente torna mais vantajoso a utilização de interfaces série e de protocolos de barramento aberto quando comparados com as ligações ponto a ponto [([Vieira et al., 2001](#))].

4.1.1 Protocolo e interface CAN

Este protocolo de comunicação descreve a forma como a informação é transferida entre dispositivos e é definido pela norma ISO 11898 (*International Organization for Standardization*).

O protocolo CAN, encontra-se em conformidade para a camada de ligação de dados (nível 2) e para a camada física (nível 1) do modelo OSI (figura 4.1). As restantes camadas não estão definidas pela especificação CAN [Júnior (2011)].

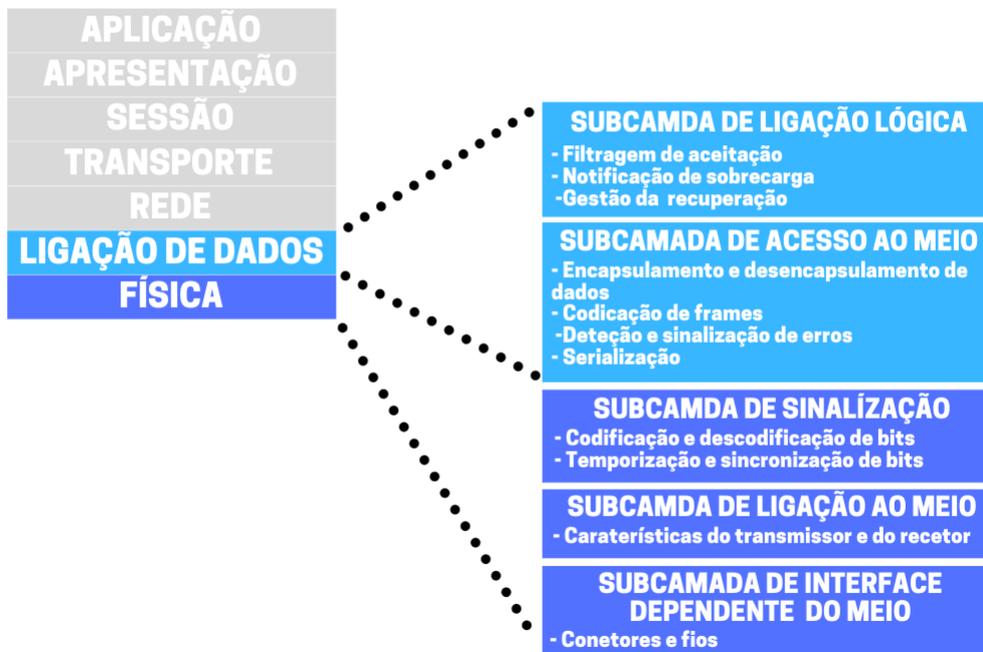


Figura 4.1 – Modelo OSI

O CAN é do tipo *broadcast*, não existe maneira de enviar uma mensagem para um nó específico visto que todos os nós têm acesso a todas as transmissões, no entanto o *hardware* do CAN, providencia filtros locais para que cada nó só reaja às mensagens do seu interesse.

A alimentação quer do PLC quer das expansões é o primeiro passo para que ambos comuniquem. Para isso sabe-se que o PLC necessita de uma tensão de $24V_{cc} \pm 15\%$, com uma corrente máxima de 250mA e que o consumo aproximado de cada expansão é cerca de 30mA [WEG (2017)]. A tensão de alimentação da RUW-01 deve ser também de $24V_{cc} \pm 15\%$ [WEG (2010d)].

O *pinout* de alimentação (figura 4.2) é referente ao borne XC8 no PLC e ao XC4 nas RUW, como se pode ver na figura 4.3.

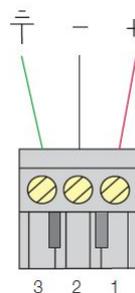


Figura 4.2 – *Pinout* do conector para a alimentação [WEG (2010d)]



Figura 4.3 – Alimentação do PLC e das RUW

Para que a comunicação fosse estabelecida, começou-se por estabelecer fisicamente as ligações entre o PLC e as RUW referentes à interface CAN, tendo em atenção a tabela 4.1 que identifica o *pinout* referente à interface CAN de ambos os dispositivos,

com a diferença de que no PLC o borne é o XC6 e o V+ varia de 11 a 30 Vcc nas RUW o borne é o XC3.

Pino	Nome	Função
1	V-	Pólo negativo da fonte de alimentação
2	CAN_L.	Sinal de comunicação CAN_L
3	SHIELD.	Blindagem do cabo
4	CAN_H.	Sinal de comunicação CAN_H
5	V+	Pólo positivo da fonte de alimentação

Tabela 4.1 – Pinout do conector para interface CAN

De modo a evitar erros de comunicação e para que o sinal transmitido não seja prejudicado, é necessária a colocação de uma resistência de terminação nas extremidades do barramento CAN. Por isso foi colocada uma resistência de 150 Ω entre os CAN_H e CAN_L.

O PLC300 possui um LED (*Light Emitting Diode*) bicolor na parte frontal do dispositivo, figura 4.4, que é utilizado para indicar o estado da interface CAN. O LED vermelho indica erros da camada física do barramento CAN e erros da comunicação CANopen, o LED verde indica o estado do escravo na comunicação CANopen [WEG (2010a)]. A explicação de cada um dos possíveis erros encontra-se no anexo A.3.



Figura 4.4 – Led de indicação da interface CAN

Quando o LED vermelho fica um período de 200 ms aceso, seguido de um período de 1 segundo apagado indica que os contadores internos de erro do controlador CAN

atingiram o estado de *warning*, devido a erros da comunicação CAN.

Depois de ter sido estabelecida a ligação física, utilizou-se o software WPS, mais concretamente o WPSCAN, para realizar a configuração quer do PLC, quer das RUW. Para isso recorreu-se ao próprio manual do programa, estudaram-se os todos parâmetros quer do mestre quer do escravo para perceber cada uma das variáveis e qual a sua influência e qual o interesse para que fosse estabelecida a comunicação.

Como já foi referido o protocolo CAN utiliza uma comunicação do tipo mestre-escravo, assim o ponto de partida foi definir o mestre e os escravos da rede (figura 4.5).

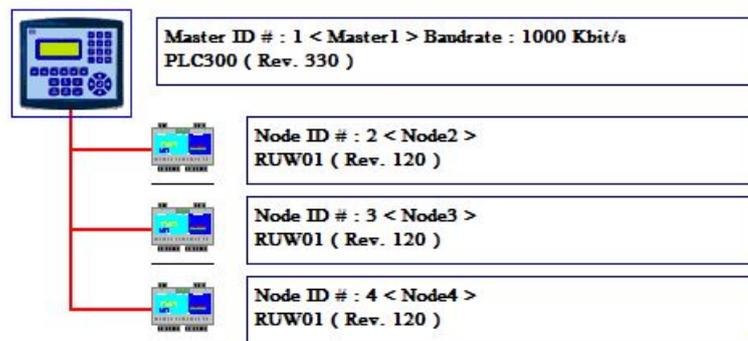


Figura 4.5 – Definição mestre-escravo

Para fazer a configuração do *baud-rate* nas RUW é utilizada a chave S3 representada na figura 4.6.

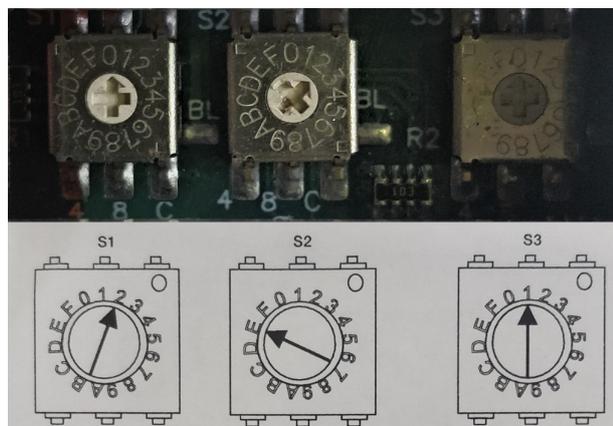


Figura 4.6 – Chaves de endereço e *baud-rate* das RUW [WEG (2010d)]

Para configurar o endereço das unidades remotas utilizam-se as chaves hexadecimais S1 e S2 e definiram-se os endereços 2000, 2002 e 2004, por serem os primeiros endereços disponíveis para a comunicação por *word*, tal como apresentado na tabela 4.2.

Network Input Data – Word Access				
3400h	VAR	Network Input Word 2000 – %IW2000	UNSIGNED16	rw
3402h	VAR	Network Input Word 2002 – %IW2002	UNSIGNED16	rw
3404h	VAR	Network Input Word 2004 – %IW2004	UNSIGNED16	rw
...
35FEh	VAR	Network Input Word 2510 – %IW2510	UNSIGNED16	rw

Network Output Data – Word Access				
4400h	VAR	Network Output Word 2000 – %QW2000	UNSIGNED16	rw
4402h	VAR	Network Output Word 2002 – %QW2002	UNSIGNED16	rw
4404h	VAR	Network Output Word 2004 – %QW2004	UNSIGNED16	rw
...
45FEh	VAR	Network Output Word 2510 – %QW2510	UNSIGNED16	rw

Tabela 4.2 – Endereços disponível para a comunicação por *word*

Consoante o *baud-rate* definido para o mestre, segundo a tabela 4.3, retirada ao manual das RUW [WEG (2010d)], seleccionou-se o mesmo valor para as expansões, uma vez que o *baud-rate* tem de ser sempre igual no mestre e nos escravos [WEG (2017)].

0	=	1 Mbit/s
1	=	800 kbit/s
2	=	500 kbit/s
3	=	250 kbit/s
4	=	125 kbit/s
5	=	100 kbit/s
6	=	50 kbit/s
7	=	20 kbit/s
8	=	10 kbit/s

Tabela 4.3 – Taxas de comunicação das RUW

Tal como no PLC, as RUWs apresentam sinalização que indica o estado da comunicação, tal como apresentado na figura 4.7. Neste caso a comunicação apresenta dois LED's,

um referente ao CAN (NET1) para informar sobre o estado do protocolo CAN e o outro referente ao ERROR (NET2) com indicações sobre o estado da interface CAN. A explicação referente aos erros que foram surgindo ao longo dos testes à comunicação, bem as suas possíveis causas, encontra-se no anexo [A.4](#).

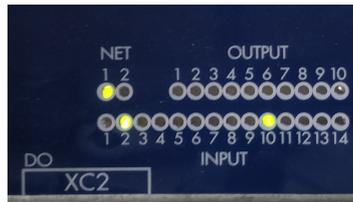


Figura 4.7 – LEDs de indicação de CAN e de ERROR

4.1.2 Configuração do Mestre

Para fazer a configuração do mestre, neste caso o PLC, tem-se em consideração os parâmetros NMT (*Network Management*), o *Sync Producer*, o SDO (*Service Data Object*) e o *Heartbeat Producer*.

O parâmetro NMT define as propriedades básicas do mestre durante a inicialização e gestão da rede (figura 4.8).

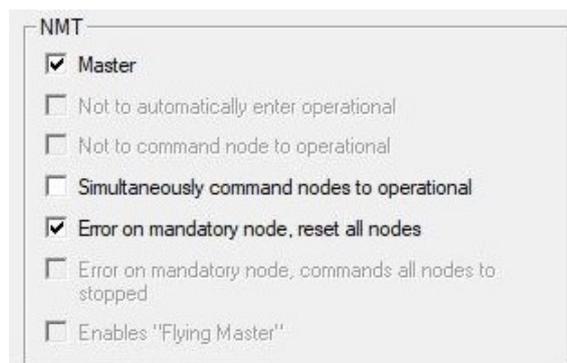


Figura 4.8 – Configuração do parâmetro NMT do mestre

Um dispositivo ligado à rede e que não esteja definido como mestre, comporta-se como escravo, não permitindo que seja feita a configuração dos restantes escravos, isto é, sem um mestre não é possível a comunicação na rede, logo é preciso definir-se

inicialmente o dispositivo mestre. Neste caso o PLC foi o dispositivo definido como mestre e aquando desta configuração, definiu-se também o valor do *baud-rate* como 1000 kbit/s, tendo em conta o comprimento de cabo a utilizar, tabela 4.4.

Taxa de Comunicação	Comprimento de cabo
1 Mbit/s	25 m
800 kbit/s	50 m
500 kbit/s	100 m
250 kbit/s	250 m
125 kbit/s	500 m
100 kbit/s	600 m
50 kbit/s	1000 m
20 kbit/s	1000 m
10 kbit/s	1000 m

Tabela 4.4 – Taxas de comunicação suportadas e comprimento de cabo

- **Comando simultâneo para o modo operacional dos escravos:**

Este parâmetro faz com o mestre execute o comando de inicialização todos os escravos e só depois de ter sido feita a inicialização de toda a rede é que os coloca em modo operacional. Como esta opção, por defeito, não estava selecionada manteve-se este parâmetro desativado e assim o mestre vai dar o comando aos escravos para ficarem em modo operacional depois de inicializar cada escravo, ou seja, cada escravo é inicializado e colocado em modo operacional.

- **Erro no escravo "mandatário", *reset* de todos os nós:**

Permite programar o mestre para fazer o *restart* de toda a rede de escravos ou apenas do escravo onde ocorreu o erro, caso o erro de comunicação tenha ocorrido no escravo programado como mandatário. O escravo é definido como mandatário ou não durante a sua configuração.

Como esta opção foi ativada, mas nenhum dos escravos foi definido como mandatário, sempre que ocorrer um erro, vai ser feito o *restart* a toda a rede de escravos.

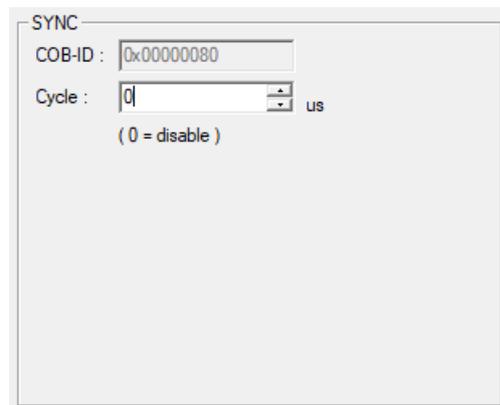
O parâmetro *Sync Producer* (figura 4.9) permite garantir o sincronismo da transmissão, isto é, garante que a informação seja produzida e consumida ao mesmo tempo em dispositivos diferentes, tendo em conta :

- **COB-ID** (*Communication Object Identifier*) :

Indica o identificador da mensagem SYNC. Não são permitidas modificações neste identificador, por isso é utilizado o valor por defeito associado da mensagem SYNC da rede CANpen.

- **Ciclo:**

Define o ciclo de tempo da mensagem SYNC transmitida pelo mestre da rede. Se o tempo de ciclo da comunicação estiver inativo, como é o caso, o mestre comporta-se como um consumidor de mensagens SYNC.



SYNC
COB-ID : 0x00000080
Cycle : 0 us
(0 = disable)

Figura 4.9 – Configuração do parâmetro SYNC do mestre

O *heartbeat* ativa ou desativa (figura 4.10) a produção de mensagens de *heartbeat* pelo mestre da rede e o escravo configurado como consumidor de *heartbeat*, usa o parâmetro *Heartbeat Producer* para monitorizar a comunicação entre o mestre a rede CANopen.

- **Periodo de transmissão:**

Como o parâmetro *heartbeat* foi ativado, este será o ciclo de transmissão das mensagens de *heartbeat*. Uma vez programado, dispositivos de outra rede com consumidores de *heartbeat* podem ser programados para monitorizar estas mensagens e para detetar erros de comunicação.

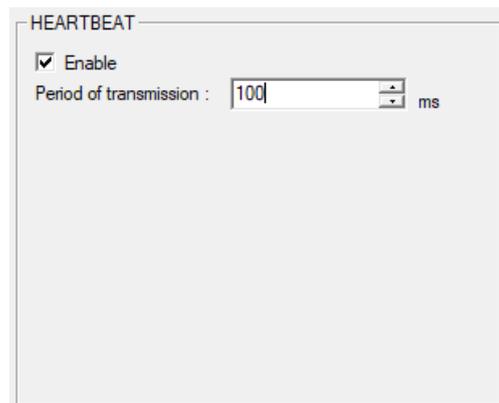


Figura 4.10 – Configuração do parâmetro *Heartbeat* do mestre

4.1.3 Configuração do Escravo

Para fazer a configuração do escravo, neste caso as RUW, tem-se em consideração o NMT, o *Node Guarding* e o *Heartbeat Producer*.

O NMT (figura 4.11) é responsável por configurar as propriedades de controlo e operação do escravo, ou seja, define as propriedades básicas do escravo durante a inicialização e operação da rede. O escravo tem de ser identificado como tal para que o dispositivo possa ser configurado e inicializado pela rede mestre. Assim todas as expansões foram configuradas como dispositivo escravo.

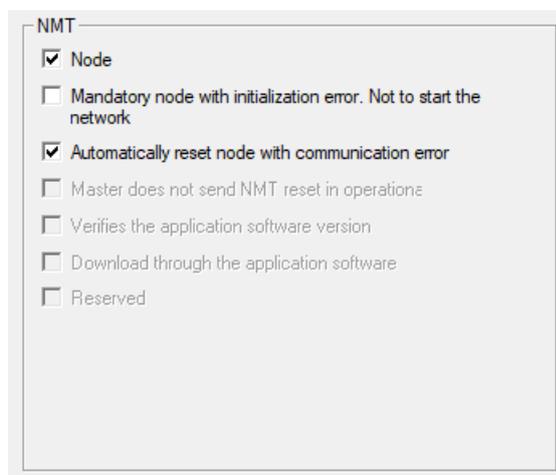


Figura 4.11 – Configuração do parâmetro NMT do escravo

- **Nó mandatário com erro de inicialização, não inicializa a rede:**

Este parâmetro permite programar se o escravo é mandatário ou não para a rede mestre. Para além disso esta opção serve para que caso seja detetado um erro de inicialização no escravo mandatário, o mestre não inicialize a restante rede de escravos até que a inicialização deste escravo onde ocorreu o erro seja finalizada.

Como se trata de uma rede com apenas 3 nós, para este caso, os escravos não foram programados como mandatários.

- **Reset automático do nó com erro de comunicação:**

Esta opção foi selecionada pois caso o mestre detete um erro de comunicação num escravo, permite-lhe fazer *reset* e *restart* do mesmo.

É necessário ativar um tipo de serviço de controlo de erros:

O *Node Guarding* (figura 4.12) é uma funcionalidade que permite monitorizar a comunicação dos escravos com a rede CANopen. Esta monitorização é realizada tanto pelo mestre como pelo escravo.

- **Período de transmissão:**

Define o intervalo de tempo no qual cada escravo deve responder a um pedido do mestre.

- **Retry factor:**

Define o intervalo de tempo que o mestre e o escravo deve esperar antes de comunicar um erro.

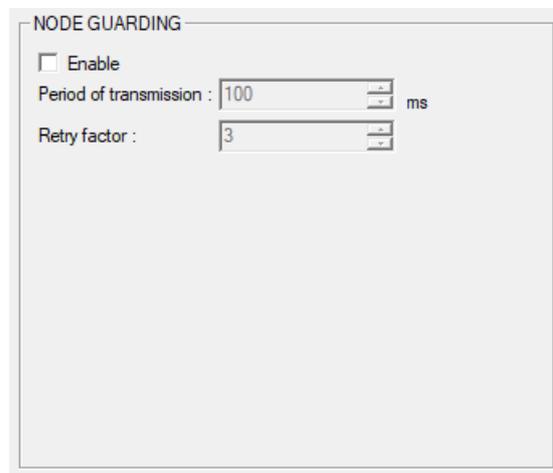


Figura 4.12 – Configuração do parâmetro *Node Guarding* do escravo

O *Heartbeat Producer* (figura 4.13) é um serviço usado para monitorizar a comunicação entre o escravo e a rede CANopen. Esta monitorização é realizada apenas pelo mestre.

- **Período de transmissão:**

define o intervalo de tempo em que cada escravo deve transmitir a mensagem de *heartbeat* para a rede. O erro de comunicação é indicado à rede mestre quando esta não receber nenhuma mensagem do escravo dentro do período de tempo definido.

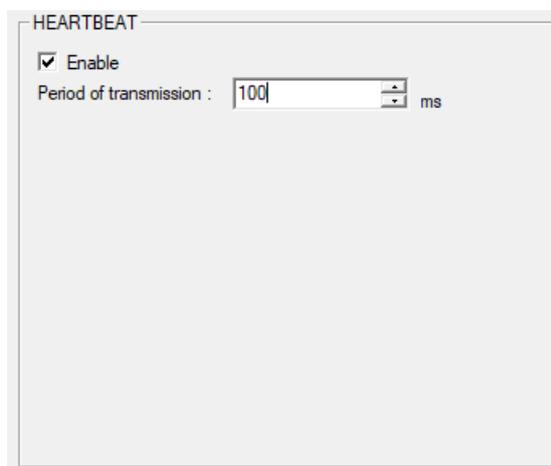


Figura 4.13 – Configuração do parâmetro *Heartbeat* do escravo

Só um dos serviços de controlo pode ser utilizado, isto é, ou se usa o *Node Guarding* ou o *Heartbeat*, como o PLC300 não possui a configuração para o *Node Guarding*, por exclusão de partes, o serviço de controlo de erros escolhido foi o *Heartbeat*.

4.1.4 Configuração dos PDO's do Mestre/Escravo

Os PDO's (*Process Data Objects*) são geralmente usados para transmissão e receção de informação em tempo real durante a operação do dispositivo e, para isso, devem ser configurados.

Os PDO's estão divididos em RxPDO (*Receive - Process data object*) e TxPDO (*Transmit - Process data object*), isto é, PDOs recetores e PDOs transmissores, respetivamente. Para o caso em questão como se utilizou um mestre e três escravos, o PLC vai possuir 3 RxPDO e 3 TxPDO, enquanto que cada expansão só vai possuir apenas 1 RxPDO e 1 TxPDO.

Na figura 4.14 são apresentados os parâmetros de comunicação dos PDO's, quer seja TxPDO ou RxPDO, que são necessários quando um PDO é ativado. Esses parâmetros são:

Figura 4.14 – Parâmetros de comunicação dos PDO's

- O COB-ID (*Communication Object Identifier*), é o parâmetro que indica o número de identificação do PDO na rede CANopen. Este identificador é utilizado para conectar os TxPDOs com os RxPDOs, por isso, se se pretender que a informação produzida por um TxPDO seja consumida por um RxPDO, estes têm de ter o mesmo COB-ID, tal como se pode ver na tabela 4.5.

	RxPDO 1	RxPDO 2	RxPDO 3	TxPDO 1	TxPDO 2	TxPDO 3
PLC	0182	0183	0184	0202	0203	0204
RUW 1	0202	-	-	0182	-	-
RUW 2	0203	-	-	0183	-	-
RUW 3	0204	-	-	0184	-	-

Tabela 4.5 – COB-ID do PLC e das RUWs

- Os dados de um rede CAN são transmitidos através de um *frame* de dados, este é constituído por um campo identificador e um campo de dados. Os *frames* remotos não possuem campo de dados, apenas o identificador. Ele funciona como uma requisição para que outro dispositivo da rede transmita o *frame* de dados desejado. O RTR (*Remote Transmit Request*) que por defeito está marcado como ativo e como não teve influência na comunicação, foi mantido nesse estado.
- Para o tipo de transmissão que neste optou-se pelo perfil de evento assíncrono uma vez que no lado do RxPDO a informação mapeada é atualizada imediatamente depois da receção de um PDO, e no lado do TxPDO a transmissão do PDO é acionada por um evento definido no dispositivo.

Existem mais tipos de transmissão disponíveis, mas para a aplicação em questão, este tipo mostrou-se o mais simples e o mais adequado, tal como se pode ver pela descrição de cada modo, apresentados na tabela 4.6.

Descrição	RxPDO	TxPDO
Síncrono acíclico	Após a recepção de um PDO, o dispositivo irá atualizar os dados mapeados na próxima recepção de um objeto de sincronização (SYNC).	A transmissão do PDO é acionada aquando da recepção de um objeto de sincronização (SYNC) acíclico, mas não periodicamente. A transmissão também depende de um evento, de acordo com a configuração do dispositivo.
Síncrono cíclico	Após a recepção de um PDO, o dispositivo irá atualizar os dados mapeados na próxima recepção de um objeto de sincronização (SYNC).	A transmissão do PDO é acionada aquando da recepção de um objeto de sincronização. O valor definido na "taxa de sincronismo" (de 1 a 240) indica o número de objetos de sincronização (SYNC) que são precisos para acionar a transmissão do PDO.
Síncrono apenas RTR	Este modo de transmissão não é suportado pelos RxPDO's.	Os dados mapeados são atualizados aquando da recepção de um <i>frame</i> remoto. Contudo, apenas se o objeto de sincronização seguinte acionar a transmissão do PDO.
Assíncrono apenas RTR	Este modo de transmissão não é suportado pelos RxPDO's.	O PDO é transmitido imediatamente depois da recepção do <i>frame</i> remoto.
Assíncrono Evento por defeito	Os dados mapeados são atualizados imediatamente depois da recepção de um PDO.	A transmissão do PDO é acionada por um evento especificado pelo fabricante.
Assíncrono Evento no dispositivo	Os dados mapeados são atualizados imediatamente depois da recepção de um PDO.	A transmissão do PDO é acionada por um evento definido no dispositivo.

Tabela 4.6 – Modos de transmissão suportados

Tal como já foi mencionado, o TxPDO e o RxPDO têm de ter o mesmo COB-ID para que consigam comunicar. Da mesma forma, o tamanho total de bits mapeados nos PDO's tem de ser o mesmo, no entanto o TxPDO pode transmitir mais informação do que a que o RxPDO consegue receber, mas o contrário já não pode acontecer.

O PLC e as RUWs comunicam através de *words* de 16 bits (2 bytes), através de multiplexador e demultiplexador, tal como será explicado à frente no capítulo sobre a parte da programação.

4.1.5 Monitorização Online

Depois de estabelecer todas as configurações descritas acima, é preciso transferi-las para o PLC. Depois de fazer o *download* tanto das configurações CAN como da programação *ladder*, é de interesse monitorizar todos os dispositivos configurados para verificar se estão conectados à rede e a comunicar.

Para isso, o WPSCAN vai tentar estabelecer a comunicação através da comunicação USB. Se a comunicação estiver a funcionar, todos os aparelhos aparecem com um sinalizador verde intermitente.

No entanto até chegar a este ponto passaram-se por fases em que o sinalizador do funcionamento dos dispositivos aparecia a amarelo e a vermelho. Para resolver estes problemas de comunicações começou-se por verificar as configurações, nomeadamente:

- Se o *baud-rate* estava definido como 1000 kbit/s quer no PLC, quer nas 3 RUWs
- Se COB-ID dos recetores e dos transmissores eram os mesmos
- Se o tipo de transmissão do mestre e dos escravos era a mesma
- Se a revisão do mestre está a influenciar a comunicação, testando a comunicação com outro número de revisão
- Se as variáveis adicionadas na programação *ladder* eram do tipo global para poderem ser detetadas por toda a rede

Para além destas medidas teve-se em consideração mais uma vez a informação do manual, presente na tabela [4.7](#).

Cor do sinalizador	Estado do Mestre	Estado do Escravo
Verde	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicação estabelecida - Todos os escravos foram inicializados com sucesso - Não foram detetados erros de comunicação nos escravos 	<ul style="list-style-type: none"> - Identificado - Configurado - Controlo de erros inicializado caso seja necessário - Não existem erros de inicialização - Não existem erros de comunicação - Não foi efetuado o reset
Amarelo	<ul style="list-style-type: none"> - Erro de inicialização detetado num escravo - Erro de comunicação detetado num escravo 	<ul style="list-style-type: none"> - O reset está a ser efetuado - Controlo de erros não está a inicializar
Vermelho	<ul style="list-style-type: none"> - Comunicação desativada 	<ul style="list-style-type: none"> - Não inicializado - Erro de comunicação detetado

Tabela 4.7 – Possíveis causas para falhas na comunicação

4.2 Conceção do Protótipo da Bancada de Ensaio

O objetivo desta dissertação é, tal como já foi referido, a conceção, desenvolvimento e implementação de uma bancada de ensaio automática para motores elétricos. Para isso, foi previamente desenvolvido um protótipo dessa mesma bancada, de forma a que seja possível o início dos testes de comunicação e o início da programação do PLC, uma vez que a bancada final está integrada no projeto de um laboratório com inúmeros outros painéis complexos ainda não projetados.

Inicialmente começou-se por ter em consideração a bancada de ensaio presente na fábrica localizada em Santo Tirso, figura 4.15, e as funcionalidades da bancada que se pretende implementar para se fazer a contabilização do número de componentes elétricos que seriam necessários, apresentados no anexo A.5.



Figura 4.15 – Bancada de ensaio de Santo Tirso

Devido ao número de sinalizadores que são necessários à bancada e conseqüentemente das funções desempenhadas pela mesma, é necessário o uso de expansões para que estejam disponíveis mais entradas e saídas. Por motivos de organização e para que fosse mais fácil o seu transporte, optou-se por colocar os dispositivos na disposição apresentada na figura 4.16.



Figura 4.16 – Ligação do PLC e das expansões aos botões

Para se ficar como a disposição da bancada já alinhada, desenhou-se com o *software* AutoCAD um esquema presente na figura 4.17. Isto permitiu definir a posição dos botões de forma a ser possível efetuar os furos nos locais respetivos. O esquema apresenta também todas as cotas considerando sempre o centro do componente.

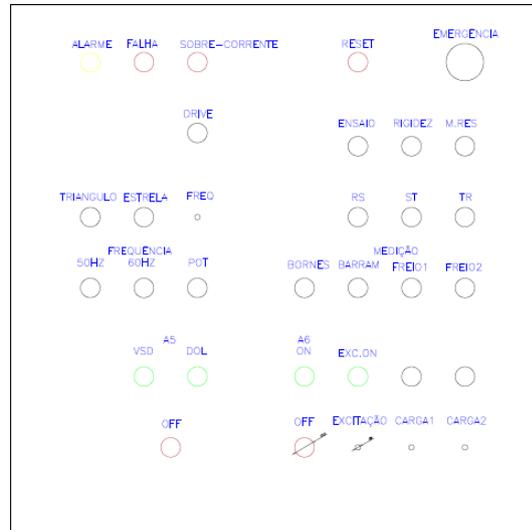


Figura 4.17 – Esquema de furação placa

Foram efetuados furos, como se pode ver na figura 4.18, com dimensões referentes a botões e a potenciômetros, cujos diâmetros são 22mm e de 6mm, respetivamente.

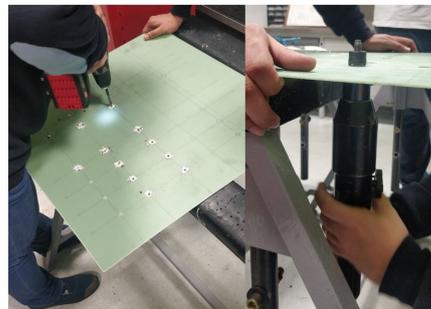


Figura 4.18 – Furos efetuados na placa de fibra de vidro

Teve-se em conta a maneira como os ensaios são realizados atualmente, já explicados anteriormente, para que a organização da bancada seja mais intuitiva do que as bancadas existentes.

Para se perceber o modo como a bancada funciona é necessário perceber a sequência de ensaio de acordo com o diagrama de árvore presente na figura 4.19.

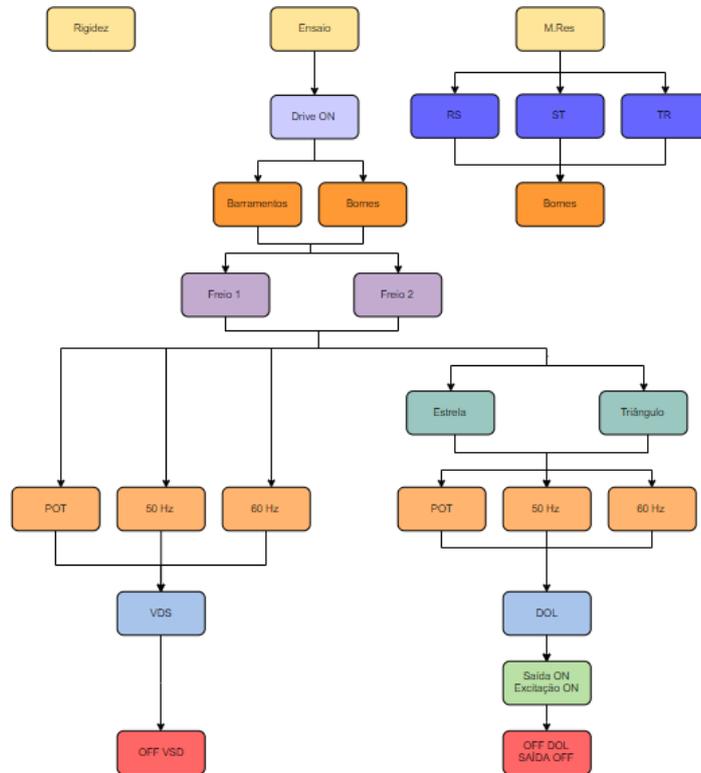


Figura 4.19 – Sequência de ensaio

De seguida foram estabelecidas as ligações entre os sinalizadores e os dispositivos segundo a tabela 4.8, cujo o resultado final se encontra presente na figura 4.20.

RUW1				RUW2				RUW3			
DI		DO		DI		DO		DI		DO	
1	Drive NA	1	Drive	1	ST	1	Rigidez	1	1	1	Carga1
2	Drive NF	2	Estrela	2	RS	2	Ensaio	2	2	2	Ex ON
3	Estrela	3	Triangulo	3	Freio2	3	TR	3	3	3	ON
4	Triangulo	4	Pot	4	Freio1	4	ST	4	4	4	OFF
5	Pot	5	60Hz	5	Barramento	5	RS	5	5		
6	60Hz	6	50Hz	6	Bornes	6	Freio2	6	6		
7	50Hz	7	DOL	7	Carga2 NA	7	Freio1	7	7		
8	DOL	8	VSD	8	Carga2 NF	8	Barramento	8	8		
9	VSD	9	OFF	9	Carga1 NA	9	Bornes	9	9		
10	OFF	10	Med_Res	10	Carga1 NF	10	Carga2	10	10		
11	Med_Res			11	ON			11			
12	Rigidez			12	OFF			12			
13	Ensaio			13				13			
14	TR			14				14			

Tabela 4.8 – Entradas e saídas digitais das RUW

Nesta fase de testes, os botões e as lâmpadas foram todos ligados às RUW pois o PLC e as RUW foram inicialmente colocados na disposição presente na figura 4.20, assim, por uma questão de organização, colocou-se uma calha plástica perto da placa de fibra de vidro e todos os fios referentes a estas ligações ficaram organizados dentro da mesma.

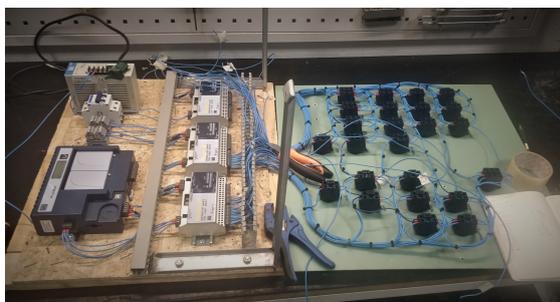


Figura 4.20 – Ligação do PLC às expansões

Depois de colocar a fibra de vidro em posição, de todas as ligações serem estabelecidas e testadas através da sinalização das entradas e saídas presente nas RUW e da medição de continuidade com o multímetro, o resultado final resultou no protótipo apresentado na figura 4.21.

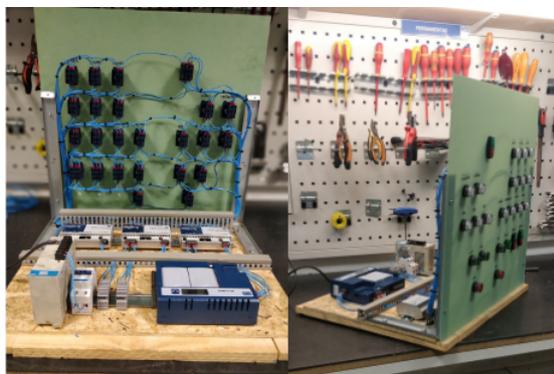


Figura 4.21 – Protótipo - Versão 1

Na figura 4.22 encontra-se o esquema base para o funcionamento da bancada. Ao carregar no botão o PLC vai recolher uma DI e vai ativar uma DO que faz atracar o relé K e consequentemente todos os seus contactor auxiliares. O contactor auxiliar K vai atracar o que faz com que o relé KP fique alimentado com uma tensão de 230V o que, consequentemente, faz com que os seus contactos auxiliares atraquem. Os relés possuem mais do que um contacto auxiliar e como na bancada as ações vão estar ligadas a componentes que apenas funcionam a 230V é necessária esta comutação entre relés. O armário externo pode funcionar com qualquer tensão AC ou DC, desde que não ultrapasse os limites dos relés.

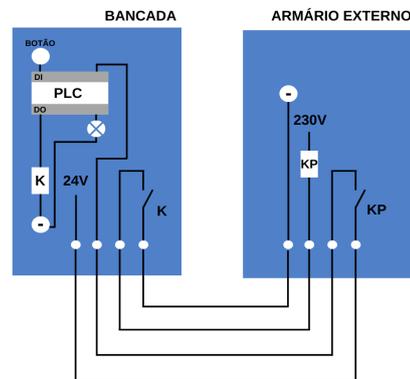


Figura 4.22 – Esquema de ligação inicial

O esquema apresentado na figura 4.23 representa uma melhoria face ao anterior uma vez que se poupa a utilização de mais uma saída digital, ou seja, em vez do LED ser acionado diretamente pelo PLC, é acionado através do contacto auxiliar KP, uma vez que os relés a utilizar serão relés com 4 contactos auxiliares disponíveis. Para além disso, esta alteração representa um aspeto muito importante a nível de segurança, uma vez que, o facto de ser o contactor auxiliar do armário ser responsável por ligar o LED, indica desta forma se o contacto externo foi efetivamente atracado. Caso o LED não acenda, conclui-se que existe um problema que não está a permitir que o contacto externo seja atracado.

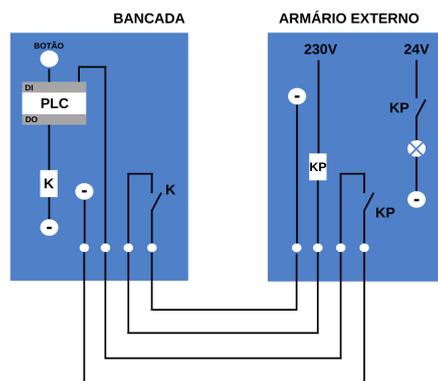


Figura 4.23 – Esquema de ligação final

Por esses motivos foram restabelecidas as ligações entre os sinalizadores e os dispositivos segundo a tabela das entradas e saídas digitais presentes na figura 4.24.

PLC			RUW1						
D11	ReleTriangulo	DO1	ReleTriangulo	KA1	R1_Di1	DRIVE NA	R1_DO1	Rele RIGIDEZ	KA9
D12	Rele Estrela	DO2	Rele Estrela	KA2	R1_Di2	DRIVE NF	R1_DO2	Rele ENSAIO	KA10
D13	Rele 50Hz	DO3	Rele 50Hz	KA3	R1_Di3	ESTRELA	R1_DO3	Rele TR	KA11
D14	Rele 60Hz	DO4	Rele 60Hz	KA4	R1_Di4	TRIANGULO	R1_DO4	Rele ST	KA12
D15	Rele POT	DO5	Rele POT	KA5	R1_Di5	POT	R1_DO5	Rele R5	KA13
D16	Rele VSD	DO6	Rele VSD	KA6	R1_Di6	60HZ	R1_DO6	Rele FREIO2	KA14
D17	Rele DOL	DO7	Rele DOL	KA7	R1_Di7	50HZ	R1_DO7	Rele FREIO1	KA15
D18	Rele MED_RES	DO8	Rele MED_RES	KA8	R1_Di8	DOL	R1_DO8	Rele BARRAMENTO	KA16
D19	Rele RIGIDEZ				R1_Di9	VSD	R1_DO9	Rele BORNES	KA17
D10	Rele ENSAIO				R1_Di10	OFF	R1_DO10	Rele CARGA2	KA18
					R1_Di11	MED_RES			
					R1_Di12	RIGIDEZ			
					R1_Di13	ENSAIO			
					R1_Di14	TR			

RUW2			RUW3					
R2_Di1	ST	R2_DO1	Rele CARGA1	KA19	R3_Di1		R3_DO1	
R2_Di2	R5	R2_DO2	Rele ON	KA20	R3_Di2		R3_DO2	
R2_Di3	FREIO2	R2_DO3	Rele EX_ON	KA21	R3_Di3		R3_DO3	
R2_Di4	FREIO1	R2_DO4	Luz OFF VSD/DOL		R3_Di4		R3_DO4	
R2_Di5	BARRAMENTO	R2_DO5	Luz SAÍDA OFF		R3_Di5		R3_DO5	
R2_Di6	BORNES	R2_DO6	Luz EXCITA		R3_Di6	Rele FREIO2	R3_DO6	
R2_Di7	CARGA2 NA	R2_DO7	Luz RESET		R3_Di7	Rele FREIO1	R3_DO7	
R2_Di8	CARGA2 NF	R2_DO8	Rele DRIVE	KA22	R3_Di8	Rele BARRAMENTO	R3_DO8	
R2_Di9	CARGA1 NA	R2_DO9			R3_Di9	Rele BORNES	R3_DO9	
R2_Di10	CARGA1 NF	R2_DO10			R3_Di10	Rele CARGA2	R3_DO10	
R2_Di11	ON				R3_Di11	Rele CARGA1		
R2_Di12	OFF				R3_Di12	Rele ON SAÍDA		
R2_Di13	READY				R3_Di13	Rele EXCITA		
R2_Di14	EMERGÊNCIA				R3_Di14	Rele READY		KA23

Figura 4.24 – Entradas e saídas digitais do PLC e das RUW

4.3 Programação do PLC

A programação do PLC e das RUW foi sendo desenvolvida e adaptada à medida que iam surgindo novas ideias de implementação, à medida que se foi alterando o esquema de ligação, sempre com o objetivo de que o resultado final fosse a melhor versão em termos de compreensão do funcionamento da bancada e da performance da mesma. Para isso vão ser abordados os blocos utilizados para a realização *ladder* e algumas das evoluções do código que foram surgindo.

4.3.1 Componentes e blocos utilizados

1. NOCONTACT (Normally Open Contact)

O contacto normalmente aberto, cuja representação em *ladder* se encontra da figura 4.25(a), indica que quando a variável I1 está com o valor *FALSE*, B recebe *FALSE*, quando a a variável I1 está com o valor *TRUE*, B recebe o valor de A, tal como se pode concluir observando a figura 4.25(b) e 4.25(c).

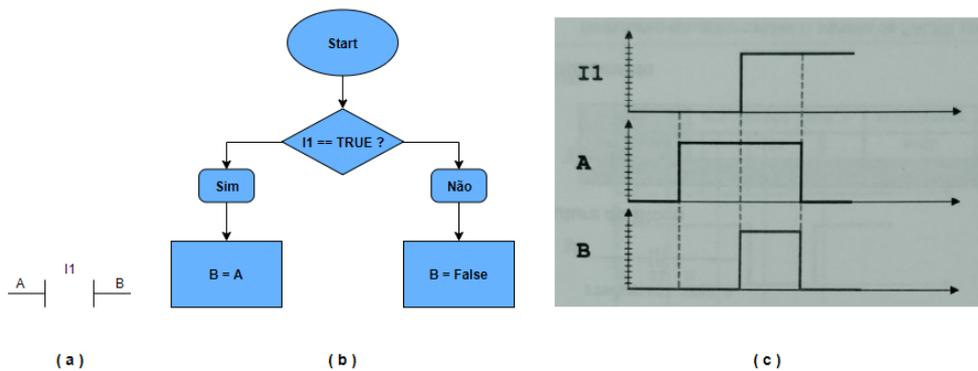


Figura 4.25 – (a) Representação em *ladder* (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto

2. NCCONTACT (Normally Closed Contact)

O contacto normalmente fechado, cuja representação em *ladder* se encontra da figura 4.26(a), indica que quando a variável I1 está com o valor *TRUE*, B recebe *FALSE*, quando a a variável I1 está com o valor *FALSE*, B recebe o valor de A, tal como se pode concluir observando a figura 4.26(b) e 4.26(c).

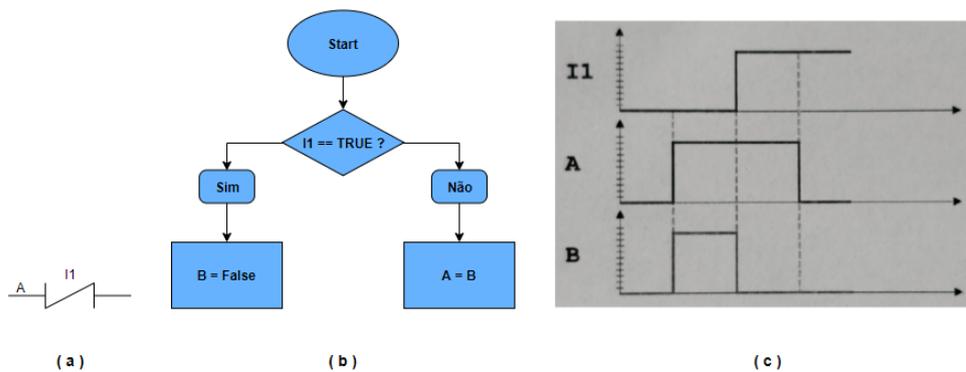


Figura 4.26 – (a) Representação em *ladder* (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto

3. *NTSCONTACT*

O contacto de pulso negativo, cuja representação em *ladder* se encontra da figura 4.27(a), indica que no instante em que a variável I1 transita de *TRUE* para *FALSE* (pulso negativo), B recebe o valor de A, tal como se pode concluir observando a figura 4.27(b) e 4.27(c).

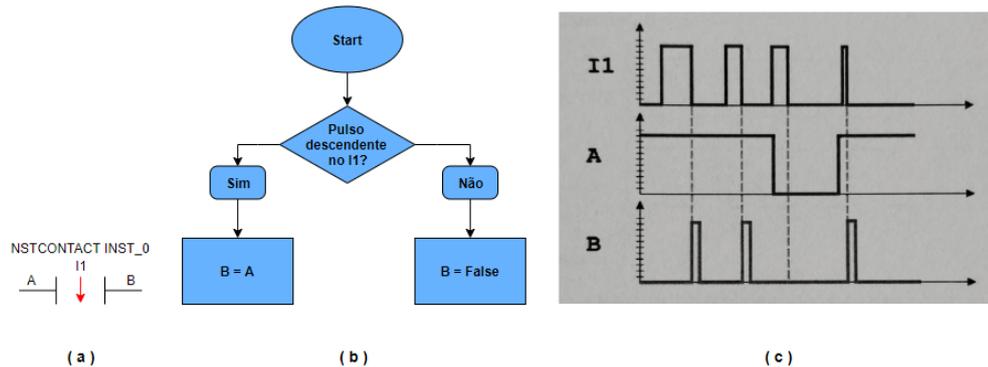


Figura 4.27 – (a) Representação em *ladder* (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto

4. *COIL*

Este bloco, representado no programa *ladder* como mostra a figura 4.28 (a), tal como mostra o fluxograma (b) e o diagrama (c) presente na 4.28, repassa o valor A para o endereço de memória correspondente a O1.

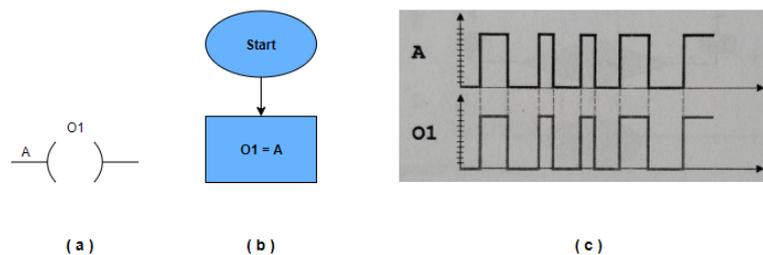


Figura 4.28 – (a) Representação em *ladder* (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto

5. *SETCOIL*

Este bloco representado em *ladder* como mostra a figura 4.29(a), ao identificar um valor *TRUE* em A, repassa um valor *TRUE* para o endereço de memória correspondente a O1, quando identifica um valor *FALSE* em A, este bloco não realiza qualquer função, como se conclui pela observação da figura 4.29(b) e 4.29(c).

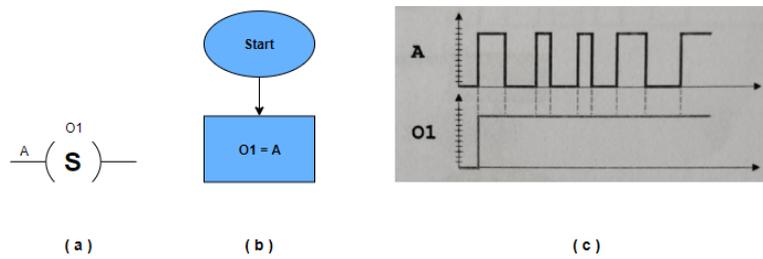


Figura 4.29 – (a) Representação em ladder (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto

6. RESETCOIL

Este bloco representado em *ladder* como mostra a figura 4.30(a), ao identificar um valor *TRUE* em A, repassa um valor *FALSE* para o endereço de memória correspondente a O1, quando identifica um valor *FALSE* em A, este bloco não realiza qualquer função, como se conclui pela observação da figura 4.30(b) e 4.30(c).

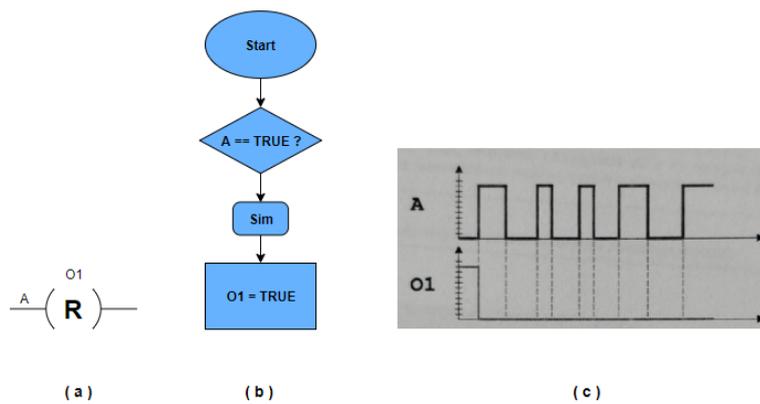


Figura 4.30 – (a) Representação em *ladder* (b) Fluxograma e (c) Diagrama do bloco do contacto

7. TON

As variáveis *IN*, *PT*, *TIMEBASE*, *Q* e *ET*, presentes do na figura 4.31(a), correspondem respetivamente, à entrada do bloco, ao atraso do acionamento da saída, à base de tempo para *PT* e *ET*, à saída de bloco e ao tempo decorrido do contactor. Estes dados em conjunto com o diagrama presente na figura 4.31(b), são importantes para se perceber o funcionamento deste tipo de temporizador. Quando a entrada *IN* = *TRUE*, o *ET* vai ser incrementado tendo em conta o valor *TIMEBASE* até igualar o valor definido para *PT*. Quando *ET* = *PT*, a saída *Q* = *TRUE*. Se o valor de *ET* não for o igual ao de *PT* então a saída *Q* = *FALSE*.

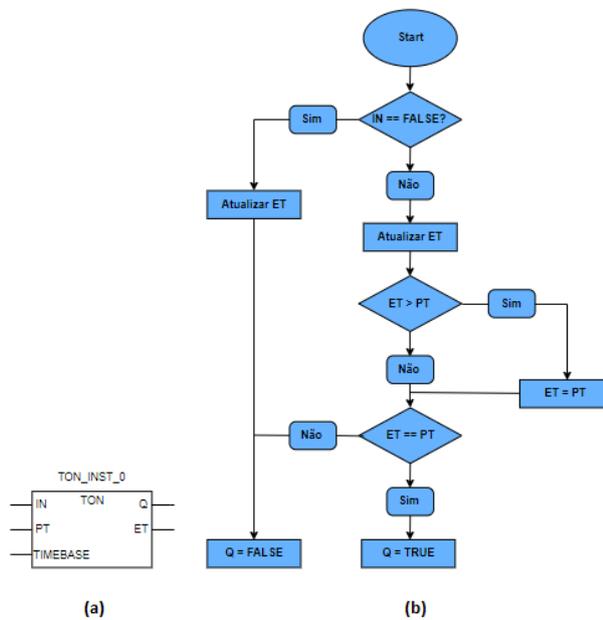


Figura 4.31 – (a) Representação em *ladder* (b) Fluxograma

8. MUX e DEMUX

Tal como já foi referido, o PLC e as RUWs comunicam através de *words* de 16 bits (2 bytes). Para explicar este tipo de comunicação, vai-se ter em consideração um exemplo prático. Considerando a figura 4.32 e a entrada digital "ESTRELA" e a saída digital "ESTRELA.L". Quando o botão "ESTRELA" é pressionado, colocando a entrada digital da RUW1_DI é colocada a 1 e envia para o PLC uma *word* de 16 bits, que neste caso específico vai ser desmultiplicada em 0010 0000 0000 0000, que aciona a "ESTRELA". Esta entrada vai ligar a "ESTRELA.L" e vai ser gerado o conjunto de bits 0100 0000 0000 0000 que será convertido pelo PLC numa *word* de tamanho de 16 bits que vai ser enviada para a RUW1_DO a 1, acionando a saída "ESTRELA.L".

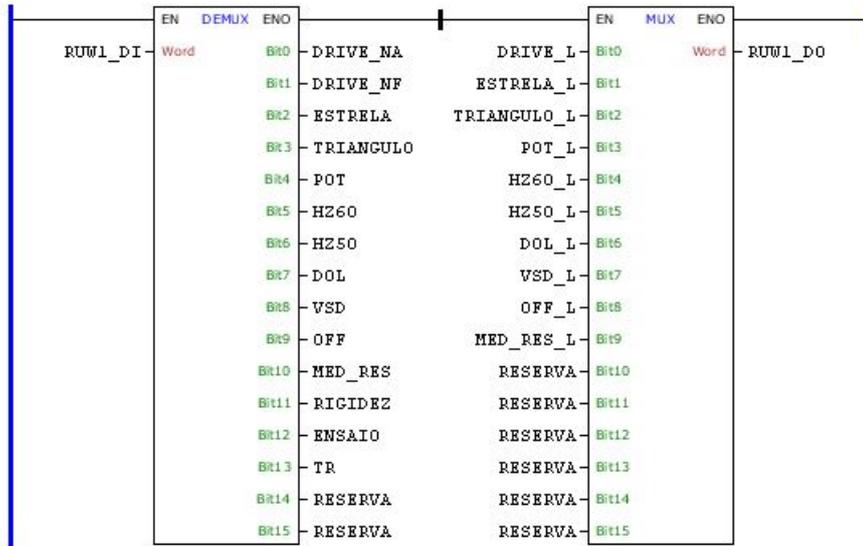


Figura 4.32 – Funcionamento da RUW como multiplexador e demultiplexador

4.3.2 Programação do PLC

A figura 4.33 e 4.34 funcionam como exemplo do desenvolvimento do que foi sendo feito para os botões cujas funções são ativadas num botão e desativadas noutro.

Na figura 4.33, pretendia-se que, ao ser acionado o botão "DOL", fosse acionado o relé ele associado, o *LED* desse mesmo botão e que fosse desligado o *LED* de sinalização do botão "OFF". Ao pressionar o botão "OFF" se o relé estivesse ativado, isto é, se a DO7 estivesse ativada, seria ser feito o *reset* da saída DO7, do *LED* de sinalização do botão "DOL" e iria ser acionado o *LED* de sinalização do botão "OFF".

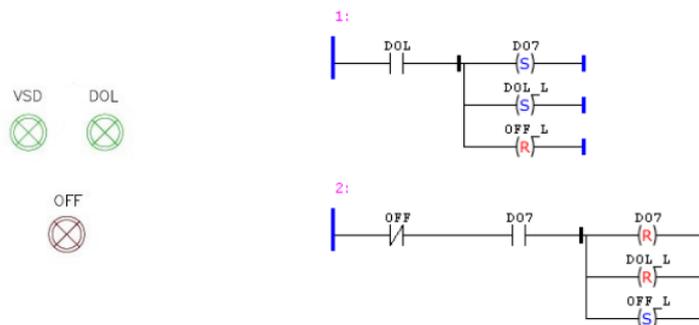


Figura 4.33 – Fase inicial da programação da função DOL

Na fase final foi acrescentado o encravamento que impede que a função "DOL" seja acionada, enquanto a função "VSD" estiver ativa, através do contacto negado da saída DO6.

Como a configuração física na bancada foi alterada de modo a que o *LED* de sinalização do botão "DOL" não utilizasse uma saída digital mas sim um contacto seco do relé externo associado ao botão, tal como foi explicado anteriormente, é possível obter a confirmação de que o contactor do armário externo foi efetivamente atracado.

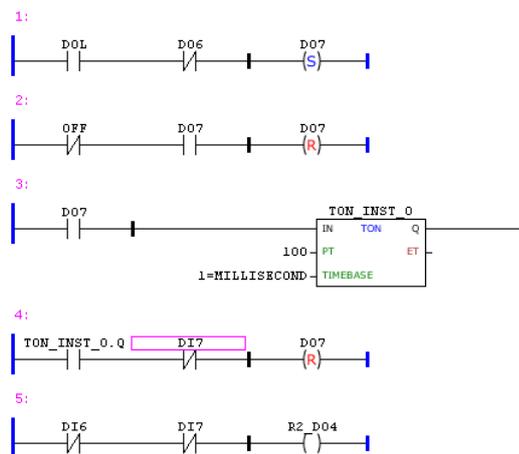


Figura 4.34 – Resultado final da programação da função DOL

Para além do encravamento de "VSD" foram também adicionados os encravamentos para que não fosse possível acionar a função "DOL" caso o ensaio de rigidez ou de medição de resistência estiver a decorrer ou se o drive estiver ligado.

A figura 4.35, 4.36 e 4.37 funcionam como exemplo do desenvolvimento para as funções que são ativadas e desativadas no mesmo botão.

No diagrama presente na figura 4.35 pretendia-se que, ao ser acionado o botão "ESTRELA" e caso a saída DO2 não estivesse ativada, que fosse acionado relé associado a ele associado através do acionamento da DO2. Caso o botão "ESTRELA" fosse pressionado e a saída DO2 estivesse ativada, pretendia-se que fosse feito o *reset* do DO2.

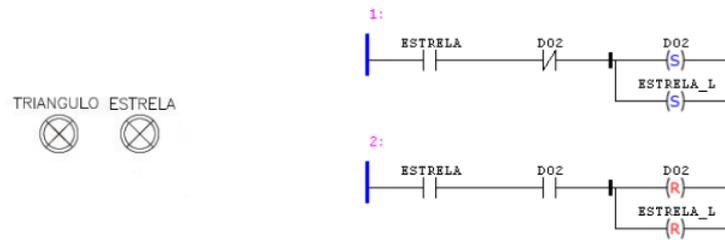


Figura 4.35 – Fase inicial da programação da função ESTRELA

Ao testar a versão anterior verificou-se ao pressionar o botão "ESTRELA", o PLC estava a executar ambas as linhas do diagrama ao mesmo tempo. Para que esta função funcionasse corretamente utilizou-se uma memória.

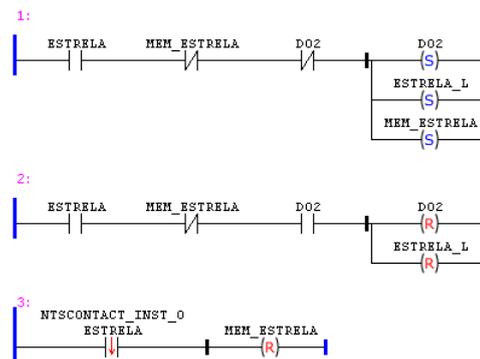


Figura 4.36 – Fase de desenvolvimento da programação da função ESTRELA

Na fase final foi acrescentado o encravamento que, por segurança, impede que a ESTRELA de ser acionada ao mesmo tempo que o "TRIÂNGULO" através do contacto negado da saída DO1. Tal como foi explicado anteriormente neste capítulo, a configuração física da bancada foi alterada de modo a que o LED de sinalização do botão "ESTRELA" não utilizasse uma saída digital mas sim um dos contactos secos do relé, para que desta forma fosse possível obter a confirmação de que o contactor do armário externo tinha sido atracado. Para isso quando o relé for atracado, ou seja, quando DO7 for ativado, vai fazer inicializar um temporizador. Quando o temporizador chegar aos t milissegundos (tempo que o contacto leva a atracar), se a entrada DI7, que dá a confirmação que o contactor externo foi atracado, não estiver acionada vai ser feito o *reset* da DO7, e consequentemente o relé vai desatracar o que faz com que o LED ligado ao seu contacto

seco desligue, indicando que existe um problema que está a impedir o contacto externo de atracar.

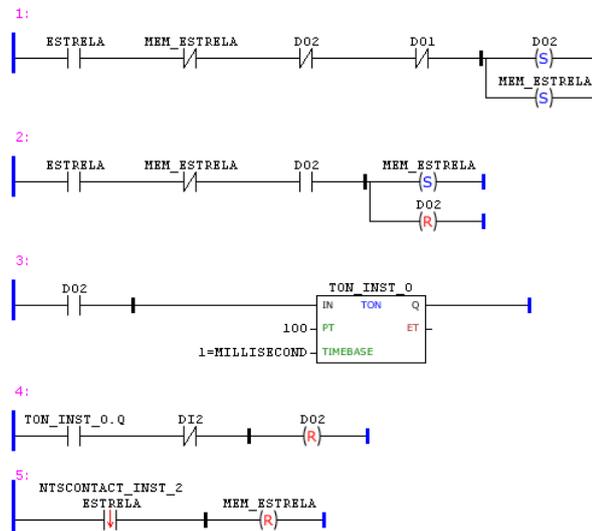


Figura 4.37 – Resultado final da programação da função ESTRELA

Para a função "ESTRELA"

ser acionada a função VSD não pode ser ativa. Quando é acionada, o ensaio de rigidez é desativado automaticamente.

As fases apresentadas foram resultado de diversas tentativas e de vários testes realizados durante o decorrer deste estágio, à medida que foram surgindo problemas e novas soluções os diagramas de lógica *ladder* foram sendo adaptados. Por esse motivo estão aqui apresenta-

das algumas das diversas fases pelas quais a programação foi passando até se chegar ao resultado final.

4.3.3 Medição da resistência entre fases

A programação dos botões que permitem a realização da medição de resistência dos enrolamentos foi inicialmente realizada da mesma forma que os outros cujas funções são ativadas e desativadas no mesmo botão, tal como mostra a figura 4.38.

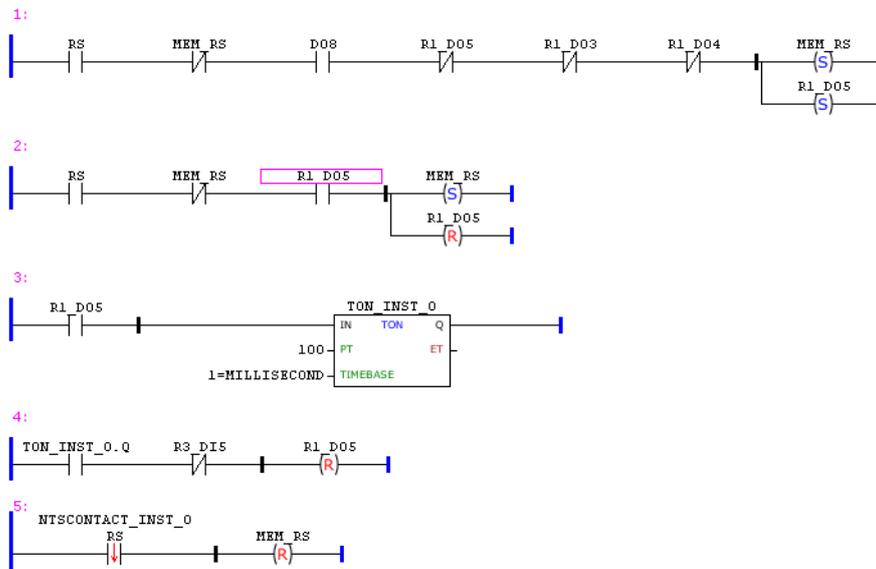


Figura 4.38 – Programação inicial do botão que aciona a leitura de resistência entre as fases RS

No entanto visto não ser um teste com risco para o operador e devido à facilidade de verificar se algo está errado através do valor da medição, não existe a necessidade de se utilizar uma DI para se ter a confirmação de que a leitura está a ser realizada, e daí surgiu a solução apresentada na figura 4.39.

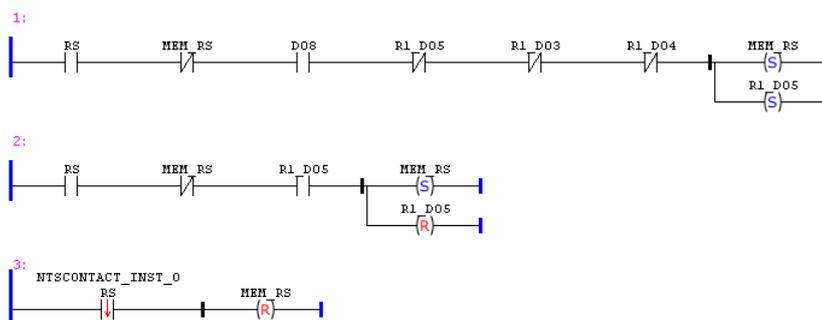


Figura 4.39 – Desenvolvimento da programação da leitura de resistência entre as fases

Para acionar leitura de resistência entre cada par de fases, era necessário pressionar o botão para acionar a leitura, pressionar novamente o mesmo botão para o desativar e ser possível realizar a leitura noutra par de fases. Para que fosse possível desativar a leitura entre duas fases não só quando se volta a pressionar o botão, foi acrescentado código, apresentado na figura 4.40, para que, se estivesse a ser feita a leitura entre um par de fases

e fosse pressionado o botão para a leitura entre outro par de fases diferentes, o primeiro fosse desativado e o segundo ativado.

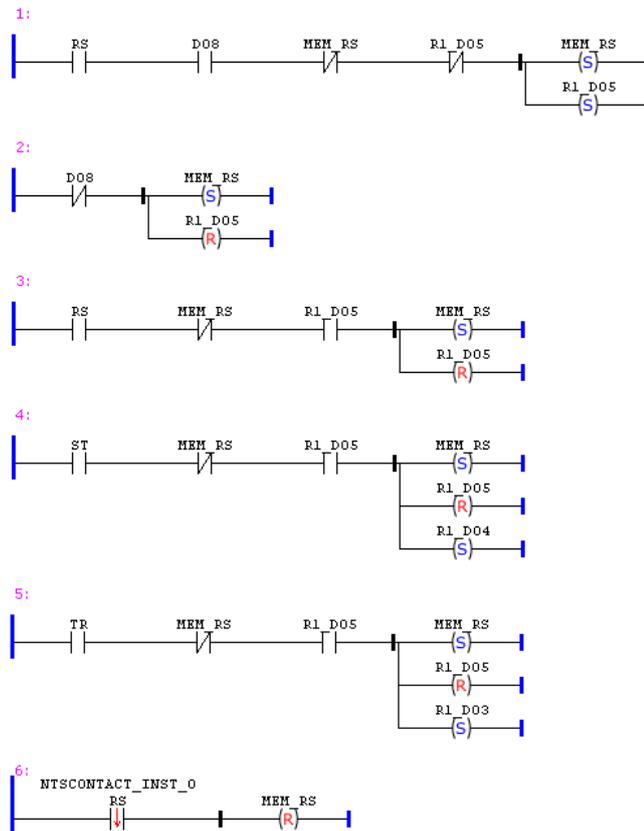


Figura 4.40 – Programação do botão que aciona a leitura de resistência entre as fase RS

4.3.4 Circuito de emergência

O funcionamento do circuito de emergência apresentado na figura 4.30, vai ser explicado tendo em conta quer a programação realizada, quer as ligações efetuadas.

Quando se liga a bancada ou depois pressionar o botão de emergência. é preciso pressionar o botão "Reset", assim como o botão de emergência é NF o relé K21 vai atracar, e consequentemente todos os seus contactos auxiliares NA também. Deste modo, o contacto auxiliar de K21 associado em paralelo com botão "Reset" vai permitir que o relé permaneça alimentado mesmo depois de o botão "Reset" deixar de ser pressionado, as DO do PLC e das RUW vão ser alimentadas com 24V e a DI14 da RUW01-3 fica acionada.

Assim que o botão de emergência é pressionado, o relé K21 deixa de ser alimentado, tal como as DO do PLC e das RUW. Na DI14 da RUW01-3 passa-se de um pulso positivo para um pulso negativo o que faz ativar a "memória de reset", tal como mostra a figura 4.41 (a), o que faz como que seja feito um *reset* a todas as DO utilizadas. Enquanto esta DI não estiver ativa a sinalização do botão "Reset" permanece ativa.

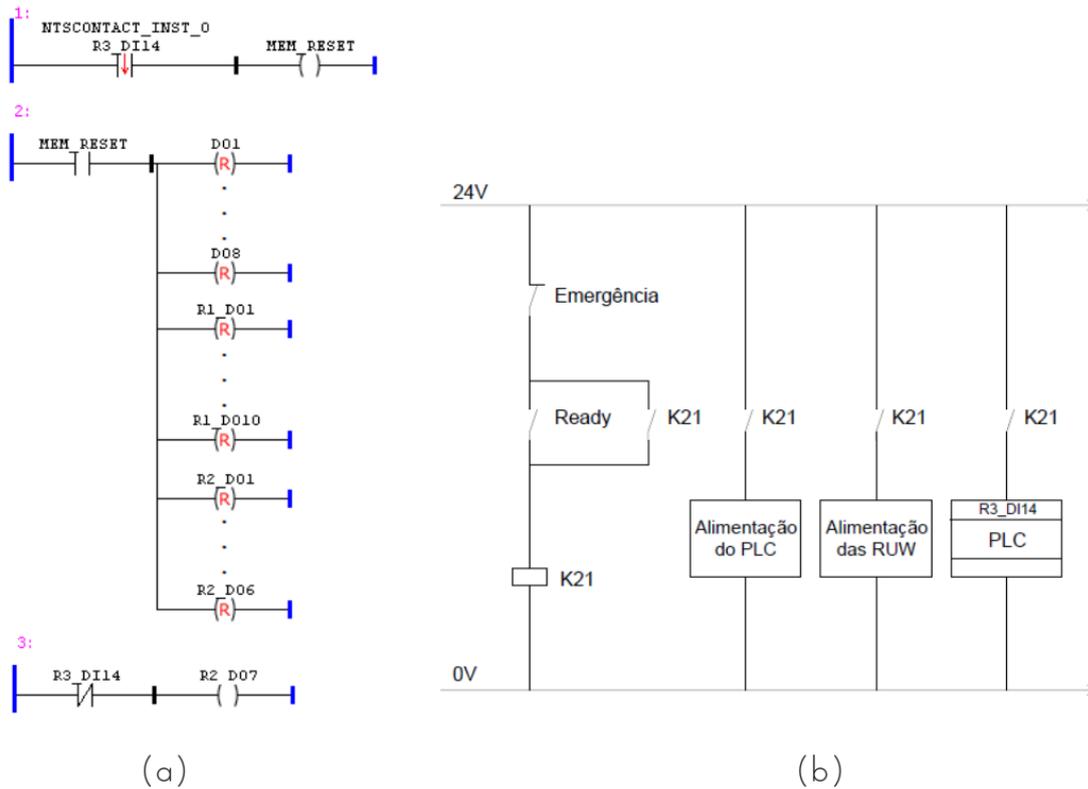


Figura 4.41 – (a) Programação da função Reset (b) Esquema de ligação

5

Projeção do Armário

Para que se chegasse ao *layout* final da bancada de ensaio automática, figura [5.1](#), teve-se em consideração a bancada de ensaio, apresentada anteriormente, devido às suas funcionalidades.

O *layout* final do armário foi pensado de forma a ser o mais vantajoso possível e, por esse motivo, optou-se pela utilização de um armário vertical ocupando assim menos espaço.

O armário vai possuir dimensões de 2000x600x600 mm, 3 prateleiras fixas para suportar os aparelhos necessários à bancada, uma fonte de alimentação, um analisador de potência, um computador e uma prateleira extraível para colocar o teclado e o rato.

As cotas dos furos e dos rasgos que serão necessários em cada porta, encontram-se no anexo [A.6](#).

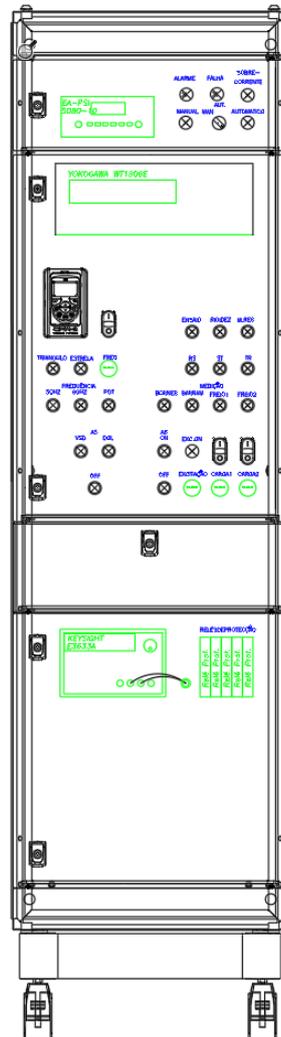


Figura 5.1 – Layout final do armário

5.1 Esquema geral do laboratório

No esquema apresentado na figura 5.2 observa-se o diagrama dos principais equipamentos usados no laboratório, onde se encontra instalado um alternador de 400 kVA com tensão 400/690 V e um motor de arrasto de 355 mm de altura de eixo e 355kW de potência. Tendo em conta estes valores é necessário realizar o dimensionamento do contactor de comutação estrela/triângulo e do contactor de saída, bem como o dimensionamento da secção do cabo a ser utilizado.

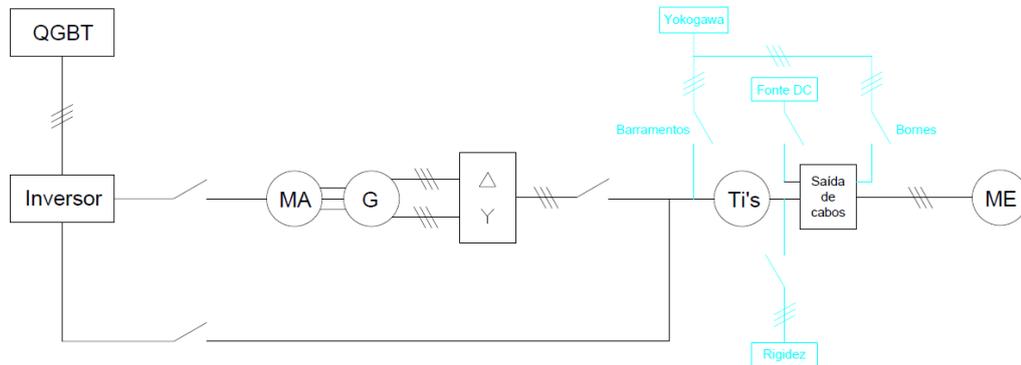


Figura 5.2 – Esquema geral do laboratório

5.2 Dimensionamento de contactores

Os contactores são chaves de operação eletromagnéticas com uma única posição de repouso, que permitem o acionamento de cargas a partir da polarização de uma bobina e que possuem a capacidade de estabelecer, conduzir ou interromper a corrente elétrica.

Para que seja possível fazer o dimensionamento destes dispositivos é necessário ter em conta a sua categoria, a corrente a acionar, a tensão e a frequência de comando e o número de contactos auxiliares [WEG (2019a)].

Existem 3 categorias de emprego o AC-1 que são utilizados em casos onde vão ser realizadas manobras de cargas resistivas puras ou pouco indutivas, o AC-4 utilizadas quando estão implicadas manobras pesadas, como por exemplo, acionar motores com carga plena e o AC-3 utilizados para serviço normal de manobras de motores com rotor em gaiola de esquilo quando se aciona ou se desliga o motor. Logo o caso em questão pode ser categorizado como AC-3.

A corrente que vai ser acionada é importante para se dimensionar um modelo de contactor que tenha a capacidade de conduzir essa corrente, tal como se pode observar na figura 5.3.

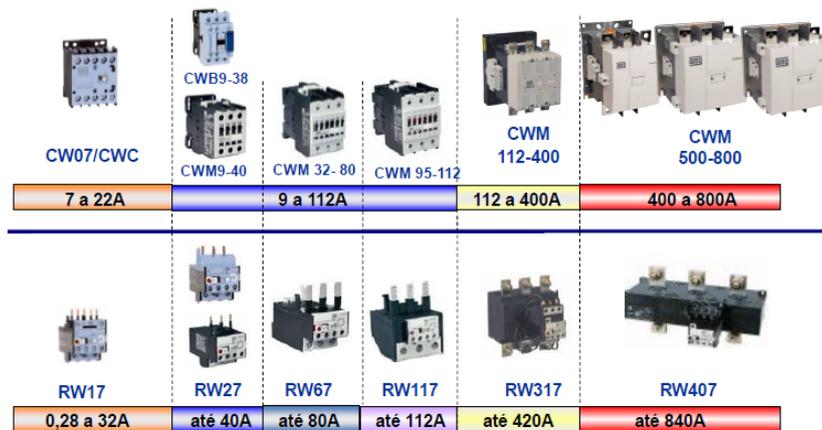


Figura 5.3 – Gama de contactores consoante a corrente a acionar WEG (2019a)

Quanto à frequência, esta pode ser de 50 ou 60 Hz. Em termos de tensão esta varia consoante a a tabela 5.1 quando a corrente aplicada é alternada e quando a corrente aplicada é contínua.

Código	Tipo	Tensões usuais	Aplicáveis aos contactores
V15	CA(60Hz)	110Vca	CWM9-25, CW297, CW330 e CW334
V26		220Vca	
V41		380Vca	
V42		440Vca	
D81	CA(50/60Hz)	380-450Vca	CWME400, CWME630 e CWME800
C03	CC	24Vcc	CWM9-25
C12		110Vcc	
C15		220Vcc	
C34		24-28Vcc	CWM32-105
C37		42-50Vcc	
C40		110-130Vcc	
C44		208-240Vcc	
E13		CA(50/60Hz)/CC	208-250Vca/Vcc
E02	24-28Vca/Vcc		
E06	42-50Vca/Vcc		
E07	60-72Vca/Vcc		
E16	360-415Vca/Vcc		
E36	100-240Vca/100-200Vcc		CWME400
E35	100-127Vca/100-110Vcc		CWME630 e CWME800
E39	200-240Vca/200-220Vcc		

Tabela 5.1 – Tensões de acionamento da bobine

O alternador de 400 kVA possui uma tensão nominal de 690 V em estrela e uma tensão nominal de 400 V em triângulo.

Sabendo que $S = \sqrt{3}UI$ a corrente máxima em estrela e em triângulo é, respetivamente,

335A e 579A.

Os contactores necessários para a comutação DOL/VSD e ESTRELA/TRIÂNGULO e para a saída, estão apresentadas na figura 5.4.

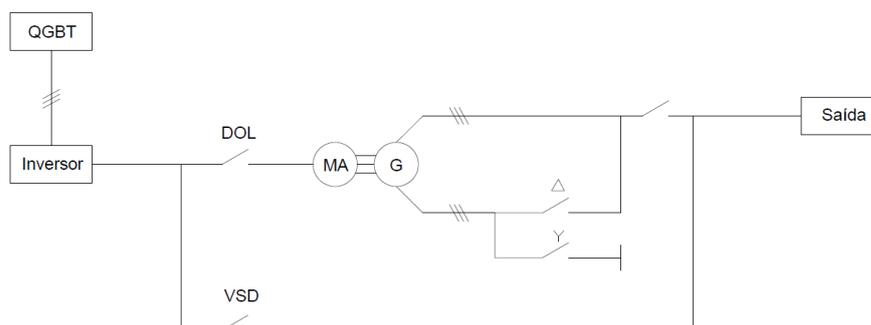


Figura 5.4 – Opções de posicionamento de contactores

O posicionamento do contactor de saída implica que se tem de garantir que é colocado um contactor que suporte, pelo menos, 579A. Conclui-se que é necessário no mínimo um contactor do modelo CWM630.

Tendo em conta os parâmetros apresentados que são necessários ter em conta e os valores de corrente, conclui-se que os contactores quer do triângulo quer da estrela, terão de ser, no mínimo do modelo CWM400.

Em suma, serão necessários contactores CWM 400, para acionar o "TRIÂNGULO" ou a "ESTRELA", logo serão precisos 2 contactores deste modelo e contactores CWM 630 para acionar o "DOL" ou o "VSD" e a saída, logo serão precisos 3 contactores deste modelo.

O número de contactos auxiliares referente a cada modelo de contactor encontra-se na tabela 5.2. Logo quer o modelo CWM630 quer o CWM400 possuem 2 contactos normalmente abertos e 2 contactos normalmente fechados.

AC-3	Potência nominal de emprego em AC-3						Contactos auxiliares por contactor		Referência para completar com a tensão de comando
	220V 230V	380V	400V 415V	440V	500V	660V 690V			
A	kW/cv						NA	NF	
400	110/150	220/300	220/300	220/300	220/300	260/350	2	2	CWM400-22-30-E**
500	150/200	260/350	260/350	300/400	260/350	370/570	2	2	CWM500-22-30-E**
630	185/250	330/450	330/450	330/450	330/450	330/450	2	2	CWM630-22-30-E**
800	220/300	440/600	440/700	440/700	500/700	500/700	2	2	CWM800-22-30-E**

Tabela 5.2 – Número de contactos auxiliares associados a cada modelo de contactor

A codificação WEG para definir os contactores é CWM AAA-BB-CC-EXX, onde AAA corresponde ao modelo do contactor, BB corresponde aos contactos auxiliares, CC diz respeito aos contactos principais e EXX ao código da tensão da bobine.

Os modelos possíveis encontram-se na figura 5.3, o código que indica o número de contactos auxiliares e principais encontra-se na tabela 5.3 e os códigos referentes aos valores de tensão da bobine estão apresentados na tabela 5.1.

Código	BB - Contactos Auxiliares	Código	CC - Contactos Principais
10	1NA	22	2NA + 2NF
11	1NA + 1NF	30	3NA
01	1NF	40	4NA
22	2NA + 2NF		

Tabela 5.3 – Códigos disponíveis para identificar o número de contactos auxiliares e principais

Logo a codificação dos contactores será CWM 400-22-30-E36 e CWM 800-22-30-E39.

5.3 Dimensionamento da secção de cabo

A utilização de um VSD implica a ocorrência de interferências eletromagnéticas, correntes de modo comum, correntes de terra e picos de tensão devido à alta frequência de comutação. Para minimizar estes efeitos utilizam-se cabos blindados com fios de cobre. O Cabo *energy variflex* apresenta esta característica e trata-se de um condutor flexível, o que facilita a sua instalação e manuseamento. Estas formam as razões pela qual de optou por este tipo de cabo [Cable (2017)].

O inversor a ser utilizado é de 600 A , como se considera que os cabos estão expostos à condição "ao ar" e tendo em conta as intensidades admissíveis de corrente de acordo com a norma IEC 60364-5-52, Quadro B.52.12, método de instalação E, apresentadas na tabela 5.4, optou-se pela utilização de dois cabos de cobre por fase em paralelo com a secção de 185mm^2 cada um. Logo a secção do cabo a ser utilizado será $2 \times 3 \times 185\text{ mm}^2$ mais terra.

Código General Cable	Secção (mm ²)	Diâmetro sob a blindagem (mm)	Diâmetro exterior nominal (mm)	Peso nominal (kg/km)	Raio de curvatura mínimo (mm)	Intensidade máx. admis. corrente Ao ar 30 °C (A)	Intensidade máx. admis. corrente Enter. 20°C (A)	Queda de tensão cos = 0,8 (V/A.km)
1105307	3x2,5/2.5	8,9	13,1	270	135	32	28	14,20
1105308	3x4/4	10,1	14,2	345	145	42	36	8,840
1105309	3x6/6	11,3	15,6	445	160	54	44	5,920
1105310	3x10/10	13,3	17,8	640	180	75	58	3,460
1105311	3x16/16	15,5	20,6	910	210	100	75	2,220
1105312	3x25/16	19,0	23,6	1.225	240	127	96	1,460
1105313	3x35/16	21,6	26,3	1.575	265	158	115	1,060
1105314	3x50/25	23,4	28,9	1.980	290	192	135	0,759
1105315	3x70/35	27,6	33,4	2.720	335	246	167	0,556
1105316	3x95/50	30,7	37,1	3.540	375	298	197	0,438
1105317	3x120/70	34,7	41,9	4.555	420	346	223	0,358
1105318	3x150/70	38,6	46,1	5.465	465	399	251	0,302
1105319	3x185/95	42,7	50,6	5.745	510	456	281	0,262
1105320	3x240/120	48,9	57,3	8.850	575	538	324	0,215
1105321	3x300/150	55,9	66,1	11.175	5 665	621	365	0,186

Tabela 5.4 – Características físicas e elétricas do cabo

A construção do cabo segue a norma IEC 60502-1. Na figura 5.5 ilustra-se o cabo a utilizar onde os números correspondem de forma crescente ao condutor de cobre, ao isolamento XLPE (Polietileno reticulado), bainha interior em PVC (Policloreto de vinilo), à blindagem em cobre e à bainha também de PVC [Cable (2017)].

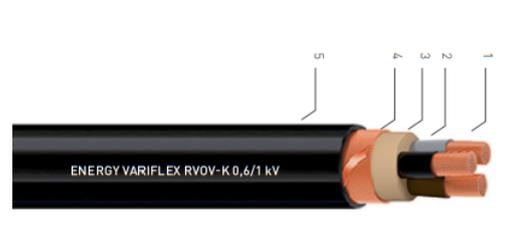


Figura 5.5 – Cabo Energy Variflex [Cable (2017)]

5.4 Relés de Monitorização

Na bancada de ensaios vão ser instalados 5 relés de monitorização: um de sobretensão, um de subtensão e três de corrente, como se pode ver figura 5.6. Os relés escolhidos são do fabricante *siemens* do modelo *sirius* 3UG4622-1AW30, 3UG4631-1AW30 e 3UG46312-1AW30.



Figura 5.6 – Relés de monitorização

Uma situação de sobre corrente pode ocorrer quando se está a realizar o ensaio de rotor travado onde os valores de corrente podem atingir valores muito superiores aos da corrente nominal dos motores, tal como já foi explicado no capítulo 3. Se existir um aumento elevado da carga exercida pelo freio ou se os rolamentos do motor ficarem presos, o que implica que o motor vai continuar a ser energizado e como se encontra travado vai fazer com que a corrente de rotor travado aumente. Para evitar que o motor e o sistema fiquem danificados são usados 3 relés de monitorização de corrente do modelo 3UG4622-1AW30, que, em situação de sobre corrente, estes vão atuar através do corte da saída e da excitação,

Uma situação de sobretensão pode acontecer quando a carga no freio desce de repente ou quando o motor arranca e lhe foi dada demasiada excitação, para evitar que o motor fique danificado, é utilizado um relé de monitorização de tensão do modelo 3UG4631-1AW30. Caso ocorra uma situação de sobretensão este vai atuar através do corte da saída e da excitação do alternador.

De forma a garantir que o motor não é arrancado com o valor da excitação do alternador acima de um determinado valor considerado seguro, é utilizado um relé de monitorização de tensão do modelo 3UG4632-1AW30 que é ligado à fonte DC de modo a ser possível detetar essa subtensão. Caso ocorra uma situação de subtensão não é possível acionar a saída.

5.5 Alarmes

Na parte superior no armário encontram-se 3 sinalizadores de alarme e falha tal como se pode verificar na figura 5.7, ou seja, alarme e falha do drive e falha por sobre corrente.

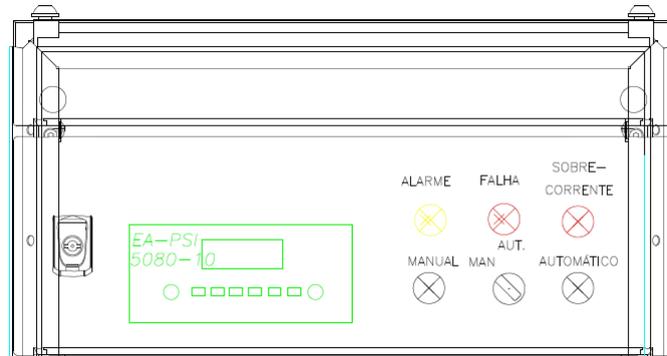


Figura 5.7 – Parte superior do armário

O alarme e a falha do drive vão conectar diretamente a duas saídas digitais no inversor de frequência [WEG (2016b)]. As ligações de controlo, isto é, das entradas e saídas quer digitais quer analógicas devem ser realizadas em XC1 do cartão de controlo CC11 [WEG (2010c)] apresentado na figura 5.8.

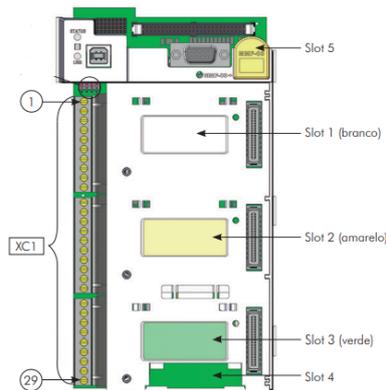


Figura 5.8 – Cartão de controlo CC11[WEG (2010c)]

Neste cartão de controlo as saídas digitais a relé, apresentadas na tabela 5.5, DO1 e DO2 vão ligar ao sinalizador falha e ao sinalizador de alarme, respetivamente. Para programar as saídas de modo a que quando a falha ou o alarme ocorram, o erro seja sinalizado é necessário ter em conta os parâmetros P0275 e P0276, que corresponde respetivamente à DO1 e à DO2 [WEG (2016b)]. Assim alterando o parâmetro P0275 para o valor 26 que possui a função "Com Falha" e através da ligação do sinalizador de falha ao contacto NA do relé, cada vez que ocorrer uma falha o RL1 vai atracar e acender o LED dando a informação de que ocorreu uma falha no inversor. Para que um alarme seja sinalizado, é necessário alterar o parâmetro P0276 para o valor 26 que possui a função "Sem alarme" e

conectar o sinalizador de falha ao contacto NF do relé, assim cada vez que ocorrer um alarme o RL2 vai atracar e acender o LED dando a informação de que algo está a colocar o inversor sob alarme.

Conector XC1	Função	
21	NF1	Saída digital 1 DO1 (RL1)
22	C1	
23	NA1	
24	NF2	Saída digital 2 DO2 (RL2)
25	C2	
26	NA2	
27	NF3	Saída digital 3 DO3 (RL3)
28	C3	
29	NA3	

Tabela 5.5 – Pinos de saída do cartão de controlo

O alarme de sobre corrente vai estar ligado ao relé de monitorização de corrente. Se existir uma sobre corrente, este relé vai disparar o TI que, por sua vez, vai abrir a saída de cabos. Vai também ligar o LED de sinalização presente na bancada relativo à ocorrência de uma sobre corrente.

6

Discussão de Resultados

Depois da elaboração do estudo, do projeto do armário e da realização do protótipo, obtiveram-se resultados que mostram melhorias significativas na maneira como são realizados os ensaios, quer em termos de tempo, de segurança para quem os efetua, quer de ocorrência de erros de medição, nomeadamente na medição da resistência, o que diminui o erro humano. Neste capítulo vão ser mencionadas novas potencialidades que a adaptação deste modelo de bancada em projetos futuros pode trazer.

Os resultados obtidos do desenvolvimento da comunicação entre o PLC e as RUW, a programação do PLC e do protótipo, encontram-se no capítulo 4. Neste capítulo explicou-se não só o que foi desenvolvido, mas também as alterações mais relevantes que foram sendo feitas até se chegar ao resultado final.

A comunicação entre o PLC e as suas expansões encontra-se a funcionar devidamente e a programação foi inserida no PLC de modo a que seja possível simular as funções que a bancada terá de efetuar. O resultado final do protótipo encontra-se representado na figura 6.1.

	Triângulo	Estrela	50Hz	60Hz	POT	VSD	DOL	OFF	Ensaios	Rigidez	M.Res	RS	ST	TR	Bornes	Barraamentos	Freio1	Freio2	Saida ON	Saida OFF	Carga1	Carga2
Triângulo	X																					
Estrela		X																				
50Hz			X		X																	
60Hz			X		X																	
POT				X																		
VSD						X																
DOL							X															
OFF								X														
Ensaios								X														
Rigidez								X														
M.Res								X														
RS									X													
ST																						
TR																						
Bornes																						
Barraamentos																						
Freio1																						
Freio2																						
Saida ON																						
Saida OFF																						
Carga1																						X
Carga2																						X

Tabela 6.1 – Encravamentos

6.2 Medição das resistências entre fases

Para a medição, colocam-se as pinças de kelvin entre as fases, UW, faz-se a medição da tensão entre fases e com esse valor, e sabendo o valor da corrente injetada, é depois calculado pela lei de Ohm, o valor da resistência. De seguida, retiram-se se as pinças de kelvin e repete-se o processo mais duas vezes para a medição entre as fase UV e VW, tal como já foi referido no capítulo 3 e está ilustrado na figura 6.2.



Figura 6.2 – Medição das resistências entre fases VW, UW e UV respetivamente

Esta medição passará a ser realizada sem ser preciso os colaboradores estarem em contacto com os terminais do motor sendo por si só uma maneira mais segura de realizar o ensaio. Irá passar também a ser feita através do acionamento de botões que irão atracar contactores para permitir que a medição seja feita automaticamente.

Tendo em conta o esquema presente na figura 6.3, conclui-se que para estas medições são utilizados 4 contactores ligados permanentemente à fonte de corrente e ao multímetro. Ao pressionar o botão "RS" os contactores K3 e K4 vão atracar, o contactor K3 vai ser injetado com o valor de corrente necessária para o motor em questão e vai ser ligado a uma das pontas de medição do multímetro, o contactor K4 vai ser ligado ao negativo da fonte e à outra ponta de medição do multímetro, obtendo-se assim a medição da resistência entre estas duas fases.

Ao pressionar no botão "ST" os contactores K1 e K2 vão atracar, o contactor K1 vai ser injetado com corrente e vai ser ligado a uma das pontas de medição do multímetro, o contactor K2 vai ser ligado ao negativo da fonte e à outra ponta de medição do multímetro. Desta forma obtém-se a medição da resistência entre estas duas fases.

Para obter a medição da resistência entre as fases T e R, ao pressionar o botão "TR", os contactores K2 e K3 vão atracar, vai ser injetada corrente no contactor K3 e vai ser ligado a uma das pontas de medição do multímetro, o contactor K2 vai ser ligado ao negativo da fonte e à outra ponta de medição do multímetro, obtendo-se assim a medição da resistência entre estas duas fases.

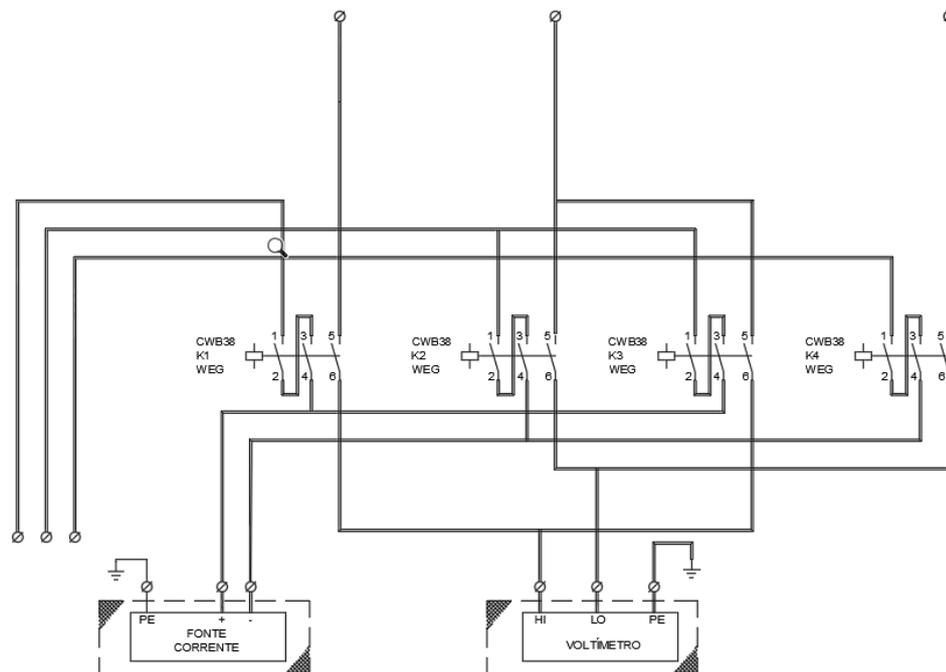


Figura 6.3 – Circuito de potência para a medição das resistências entre fases VW, UW e UV

6.3 Comutação triângulo/estrela

A comutação triângulo/estrela e vice-versa, que através da utilização da bancada automatizada vai ser possível ser efetuada pressionando um botão, é atualmente realizada de maneira manual, tal como mostra a figura 6.4.



Figura 6.4 – Comutação Triângulo/Estrela atual

Existe compatibilidade entre os equipamentos de medida do laboratório existente e a bancada desenvolvida. Dado que os equipamentos de medida representam o maior custo de uma bancada de ensaio, este aproveitamento proporciona uma redução do investimento inicial uma vez que, existe desta forma a reutilização de equipamentos. Devido das funções do próprio PLC300 WEG é possível a gestão de ensaios e também de proteção nas mais diversas situações anómalas que possam decorrer num ensaio, com recurso a menos componentes, nomeadamente de relés.



Conclusões e trabalhos futuros

7.1 Conclusões

Este projeto surgiu da necessidade de uma nova bancada de ensaio com automatização, que permitisse o aumento da capacidade de ensaio no laboratório, bem como da redução de erros em ensaios pela redução de procedimentos para a realização dos mesmos. Assim, é possível reduzir tempos entre tarefas e aumentar a segurança pela inclusão de encravamentos que não tornem possível a realização de falsas manobras.

Este esquema permite também o aumento da flexibilidade devido a ser realizado por software, com a vantagem futura de permitir efetuar atualizações para novos ensaios de uma forma simples. Além disso, na realização deste trabalho, foi tido em conta uma padronização da bancada, permitindo a sua replicação para a aplicação noutras áreas do laboratório se existir necessidade.

A existência de uma bancada de ensaios automática representa um investimento inicial considerável. No trabalho desenvolvido este aspeto foi tido em consideração e através da reutilização dos equipamentos existentes teremos um investimento inicial reduzido.

A aplicação desta bancada representa um aumento da segurança de ensaio através da minimização de erros (como por exemplo durante a medição da resistência de enrolamentos), da indicação de falsas manobras (sinalização luminosa) e da aplicação de encravamentos.

Possui uma interface de operação mais intuitiva quando comparada com a bancada existente.

Apresenta também uma maior produtividade, uma vez que permite a redução de manobras e de tarefas entre ensaios. Deste aumento de produtividade resulta um aumento da capacidade de ensaio, uma vez que será possível a realização de ensaios de rotina ou tipo em simultâneo com os ensaios efetuados atualmente.

Por último, a automatização da bancada de ensaio será uma ação fundamental e indispensável para possibilitar a integração na Gestão de Chão de Fábrica e correspondente Indústria 4.0.

7.2 Trabalhos Futuros

Para trabalho futuro têm-se como objetivo integrar a bancada no GCF (Gestão de Chão de Fábrica). O GCF é uma ferramenta utilizada com o objetivo de tornar mais fácil o processo de gestão de fabricação. Cria a união entre as tecnologias de automação e de informação de modo a que a recolha de dados seja realizada com precisão e sejam retirados do local onde são gerados. Desta forma, é possível obter um acompanhamento online da produção o que permite facilitar a tomada de decisões em prol da maximização da eficiência [Azevedor (2013)].

Neste caso específico, esta ferramenta vai ser implementada através da colocação de um PLC em todas as máquinas da fábrica. Isto permitirá obter, por exemplo, os períodos de paragem para manutenção e a carga de trabalho, sendo mais fácil realizar a estimativa de produção e o planeamento da fábrica.

Alinhado com a implementação do GCF e os seus benefícios, é também objeto de trabalho futuro o desenvolvimento de um *software* capaz de registar as medições, com opções que permitam o acionamento das funções da bancada e da atualização da programação do PLC de forma remota.

Referências bibliográficas

- Azevedor, P. (2013). Desenvolvimento de um Sistema Supervisório e Lógicas de CLP no Ambiente de Geração de Energia. Departamento de Automação e Sistemas do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. 98
- Baptista, J. (2007). Máquinas elétricas rotativas. UTAD - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 25, 27
- Barros, C. (2013). Desenvolvimento de plataformas de automação digitais. Universidade do Minho - Escola de Engenharia. 2
- Boettcher, M. (2015). Revolução industrial - Um pouco de História da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0.
Consultado : <https://www.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher/> (21-08-2019). 6
- Borracha, A. (2012). Laboratório Remoto de Automação Industrial (Lab-RAI). Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. 6
- Cable, G. (2017). Cabos de Baixa Tensão - General Cable. xxi, 84, 86
- Castro, F. (2019). Robotização e inteligência artificial: industriais “preparados” para o futuro
Consultado : <https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/> (28-08-2019). 8, 9
- Chialastri, A. (2012). Automation in aviation. 5

- CIP (2019). Portugal a crescer mais. CIP - Confederação Empresarial de Portugal. [19](#), [23](#)
- Duarte, J. B. (2019). O Futuro do Trabalho em Portugal : O Imperativo da Requalificação. CIP - Confederação Empresarial de Portugal e NOVA - Nova School of Business and Economics. [xix](#), [10](#), [11](#), [12](#), [15](#), [16](#), [18](#), [22](#)
- Eusébio, E. (2009). Motores de Indução. PUC-RS - Universidade Católica do Rio Grande do Sul. [25](#)
- Freitas, I. (2018). Robotização na sua empresa. RPA Congress - Robotic Process Automation Congress. [8](#)
- Groover, M. P. (2018). Automation. Encyclopædia Britannica, inc. [14](#)
- IEC (2007). Rotating electrical machines - Part 8: Terminal markings and direction of rotation. IEC - International Electrotechnical Commission. [39](#)
- IEC (2010). International Standard for Rotating electrical machines - Part 1: Rating and Performance. [38](#), [41](#), [42](#), [44](#)
- IEC (2014). International Standard for Rotating electrical machines - Part 2-1: Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles). [39](#), [43](#)
- IEC (2018). Explosive atmospheres - Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures "d". IEC - International Electrotechnical Commission. [42](#)
- IEEE (2013). IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery. - IEEE Power and Energy Society. [44](#)
- IEEE (2017). IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators. - IEEE Power and Energy Society. [35](#), [37](#), [42](#)
- Júnior, J. (2011). Protocolo CAN. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. [46](#)
- Júnior, S. Silva, S. (2018). Evolução da Automação Industrial. Unidade de Negócios de Exploração e Produção da Petróleo Brasileiro s.a. [7](#)
- Leonardo, S. Lima, W. (2003). Um breve histórico conceitual da automação industrial e redes para automação industrial. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. [6](#), [7](#)
- McKinsey&Company (2019). Automação e futuro do emprego em Portugal. CIP - Confederação Empresarial de Portugal e McKinsey Global Institute. [xix](#), [9](#), [10](#), [12](#), [13](#), [15](#), [16](#), [19](#), [20](#), [21](#), [22](#)

- Metroid, E. E. (2017). What's the difference between dol start, star-delta, soft starter and a variable speed drive?.
Consultado: <https://www.metroid.net.au/engineering/whats-difference-dol-start-star-delta-soft-start-variable-speed-drive/> (18-06-2019). 31, 33
- Motors, U. (2019). Winding thermistors
Consultado : <https://acim.nidec.com/motors/usmotors/techdocs/profacts/winding-temp-protection/thermistors> (19-08-2019). xix, 29, 30
- Ogorodnikova, O. (2007). Robot introduction in Human work environment. Developments, Challenges and Solutions. IEEE - International Conference on Computational Cybernetics. 8
- Parmar, J. (2012). Direct On Line (dol) Motor Starter.
Consultado : <https://riverglennapts.com/pt/three-phase-induction-motor/863-direct-online-starter-or-dol-starter.htm> (27-08-2019). 31
- Pestana, L. M. (2006). Motores de Indução Trifásicos. ESTV - Escola Superior de Tecnologia de Viseu. 28
- Pratas, R. (2018). Métodos de diagnóstico e avaliação do processo de impregnação de estatores de motores de indução trifásicos. UTAD - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 26
- Rabelo, A. (2018). *Machine Learning*: o que é e qual sua influência no marketing digital?. Blog - Rock e Content. 9
- Saltiel, R., Silva, A., Nunes, F., Piran, F., and Menezes, F. (2017). Indústria 4.0: Proposta de Mapa Conceitual. XXXVII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 6, 8
- Silva, C. (2017). Laboratório para deteção e diagnóstico de avarias em motores de indução trifásicos. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. 25
- Silveira, C. B. (2017). Tipos de Motor Elétrico CA
Consultado : <https://www.citisystems.com.br/motor-eletrico/> (14-08-2019). xix, 29
- Vieira, A., Santos, P., Caldeira, P., and Fernandes, R. (2001). Protocolo de Comunicações CAN. FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 45
- WatElectrical (2018). What is Direct Online Starter (DOL)?
Consultado : <https://riverglennapts.com/pt/three-phase-induction-motor/863-direct-online-starter-or-dol-starter.html> (27-08-2019). 32

- WEG (2010a). CANopen PLC300. 48
- WEG (2010b). Motores Eléctricos Antideflagrantes. 41
- WEG (2010c). Softplc CFW-11 - Manual. xxii, 88
- WEG (2010d). Unidade Remota CANopen RUW-01. xx, 47, 49, 50
- WEG (2015). Motores Eléctricos WEG. 28
- WEG (2016a). Choosing a variable frequency drive or soft starter based on your application need. 33
- WEG (2016b). Frequency Inverter - Programming Manual. 88
- WEG (2017). Controlador lógico programável PLC300 H3. 47, 50
- WEG (2019a). Acionamento de máquinas eléctricas. xxi, 81, 82
- WEG (2019b). Guia de Especificação Motores Eléctricos. 30
- Zancan, M. D. (2011). Controladores programáveis. e-TEC Brasil. 7



A.1 Relação dos valores de resistência/temperatura das PT100



Temperature Measurement

Technical Data Sheet

TD-TV/PT1A

PT100 Resistance Table

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	°C
-200.00	18.52										-200.00
-190.00	22.83	22.40	21.97	21.54	21.11	20.68	20.25	19.82	19.38	18.95	-190.00
-180.00	27.10	26.67	26.24	25.82	25.39	24.97	24.54	24.11	23.68	23.25	-180.00
-170.00	31.34	30.91	30.49	30.07	29.64	29.22	28.80	28.37	27.95	27.52	-170.00
-160.00	35.54	35.12	34.70	34.28	33.86	33.44	33.02	32.60	32.18	31.76	-160.00
-150.00	39.72	39.31	38.89	38.47	38.05	37.64	37.22	36.80	36.38	35.96	-150.00
-140.00	43.88	43.46	43.05	42.63	42.22	41.80	41.39	40.97	40.56	40.14	-140.00
-130.00	48.00	47.59	47.18	46.77	46.36	45.94	45.53	45.12	44.70	44.29	-130.00
-120.00	52.11	51.70	51.29	50.88	50.47	50.06	49.65	49.24	48.83	48.42	-120.00
-110.00	56.19	55.79	55.38	54.97	54.56	54.15	53.75	53.34	52.93	52.52	-110.00
-100.00	60.26	59.85	59.44	59.04	58.63	58.23	57.82	57.41	57.01	56.60	-100.00
-90.00	64.30	63.90	63.49	63.09	62.68	62.28	61.88	61.47	61.07	60.66	-90.00
-80.00	68.33	67.92	67.52	67.12	66.72	66.31	65.91	65.51	65.11	64.70	-80.00
-70.00	72.33	71.93	71.53	71.13	70.73	70.33	69.93	69.53	69.13	68.73	-70.00
-60.00	76.33	75.93	75.53	75.13	74.73	74.33	73.93	73.53	73.13	72.73	-60.00
-50.00	80.31	79.91	79.51	79.11	78.72	78.32	77.92	77.52	77.12	76.73	-50.00
-40.00	84.27	83.87	83.48	83.08	82.69	82.29	81.89	81.50	81.10	80.70	-40.00
-30.00	88.22	87.83	87.43	87.04	86.64	86.25	85.85	85.46	85.06	84.67	-30.00
-20.00	92.16	91.77	91.37	90.98	90.59	90.19	89.80	89.40	89.01	88.62	-20.00
-10.00	96.09	95.69	95.30	94.91	94.52	94.12	93.73	93.34	92.95	92.55	-10.00
0.00	100.00	99.61	99.22	98.83	98.44	98.04	97.65	97.26	96.87	96.48	0.00
0.00	100.00	100.39	100.78	101.17	101.56	101.95	102.34	102.73	103.12	103.51	0.00
10.00	103.90	104.29	104.68	105.07	105.46	105.85	106.24	106.63	107.02	107.40	10.00
20.00	107.79	108.18	108.57	108.96	109.35	109.73	110.12	110.51	110.90	111.29	20.00
30.00	111.67	112.06	112.45	112.83	113.22	113.61	114.00	114.38	114.77	115.15	30.00
40.00	115.54	115.93	116.31	116.70	117.08	117.47	117.86	118.24	118.63	119.01	40.00
50.00	119.40	119.78	120.17	120.55	120.94	121.32	121.71	122.09	122.48	122.86	50.00
60.00	123.24	123.63	124.01	124.39	124.78	125.16	125.54	125.93	126.31	126.69	60.00
70.00	127.08	127.46	127.84	128.22	128.61	128.99	129.37	129.75	130.13	130.52	70.00
80.00	130.90	131.28	131.66	132.04	132.42	132.80	133.18	133.57	133.95	134.33	80.00
90.00	134.71	135.09	135.47	135.85	136.23	136.61	136.99	137.37	137.75	138.13	90.00
100.00	138.51	138.88	139.26	139.64	140.02	140.40	140.78	141.16	141.54	141.91	100.00
110.00	142.29	142.67	143.05	143.43	143.80	144.18	144.56	144.94	145.31	145.69	110.00
120.00	146.07	146.44	146.82	147.20	147.57	147.95	148.33	148.70	149.08	149.46	120.00
130.00	149.83	150.21	150.58	150.96	151.33	151.71	152.08	152.46	152.83	153.21	130.00
140.00	153.58	153.96	154.33	154.71	155.08	155.46	155.83	156.20	156.58	156.95	140.00
150.00	157.33	157.70	158.07	158.45	158.82	159.19	159.56	159.94	160.31	160.68	150.00
160.00	161.05	161.43	161.80	162.17	162.54	162.91	163.29	163.66	164.03	164.40	160.00
170.00	164.77	165.14	165.51	165.89	166.26	166.63	167.00	167.37	167.74	168.11	170.00
180.00	168.48	168.85	169.22	169.59	169.96	170.33	170.70	171.07	171.43	171.80	180.00
190.00	172.17	172.54	172.91	173.28	173.65	174.02	174.38	174.75	175.12	175.49	190.00
200.00	175.86	176.22	176.59	176.96	177.33	177.69	178.06	178.43	178.79	179.16	200.00
210.00	179.53	179.89	180.26	180.63	180.99	181.36	181.72	182.09	182.46	182.82	210.00
220.00	183.19	183.55	183.92	184.28	184.65	185.01	185.38	185.74	186.11	186.47	220.00
230.00	186.84	187.20	187.56	187.93	188.29	188.66	189.02	189.38	189.75	190.11	230.00
240.00	190.47	190.84	191.20	191.56	191.92	192.29	192.65	193.01	193.37	193.74	240.00
250.00	194.10	194.46	194.82	195.18	195.55	195.91	196.27	196.63	196.99	197.35	250.00
260.00	197.71	198.07	198.43	198.79	199.15	199.51	199.87	200.23	200.59	200.95	260.00
270.00	201.31	201.67	202.03	202.39	202.75	203.11	203.47	203.83	204.19	204.55	270.00
280.00	204.90	205.26	205.62	205.98	206.34	206.70	207.05	207.41	207.77	208.13	280.00
290.00	208.48	208.84	209.20	209.56	209.91	210.27	210.63	210.98	211.34	211.70	290.00
300.00	212.05	212.41	212.76	213.12	213.48	213.83	214.19	214.54	214.90	215.25	300.00
310.00	215.61	215.96	216.32	216.67	217.03	217.38	217.74	218.09	218.44	218.80	310.00
320.00	219.15	219.51	219.86	220.21	220.57	220.92	221.27	221.63	221.98	222.33	320.00

A.2 Datasheet do motor utilizado como exemplo

DATA SHEET					
Three Phase Induction Motor - Squirrel Cage					
Customer	: WEG ELECTRIC CIS OOO				
Sales document	: 20735280 - 10				
Product line	:				
Frame	: 355A/B	Locked rotor time	: 10 s (hot) 18 s (cold)		
Output	: 250 kW	Temperature rise ⁴	: 80 K		
Poles	: 4	Duty cycle	: S1		
Frequency	: 50 Hz	Ambient temperature	: -20 °C to +40 °C		
Rated voltage	: 380 V	Altitude	: 1000 m.a.s.l		
Rated current	: 461 A	Degree of protection	: IP56		
L. R. Amperes	: 3458 A	Cooling method	: IC416 - TEBC		
LRC (p.u.)	: 7.5	Mounting	: B3T		
No load current	: 121 A	Direct of rotation ¹	: Both		
Rated speed	: 1490 rpm	Noise level ²	: -		
Slip	: 0.67 %	Starting method	: Inverter		
Rated torque	: 1603 Nm	Approx. weight ³	: 2794 kg		
Locked rotor torque	: 230 %	Design	: N		
Pull up torque	: 195 %				
Breakdown torque	: 300 %				
Insulation class	: F				
Service factor	: 1.00				
Moment of inertia (J)	: 11.6 kgm ²				
Output	Start 50% 75% 100%	Load type:	-		
Efficiency (%)	- 95.6 95.8 95.9	Load torque:	-		
Power factor	0.34 0.75 0.82 0.86	Load inertia (J=GD ² /4):	-		
Operation limits with inverter	10 Hz up to 50 Hz (Constant torque): 1592 Nm		Maximum peak voltage phase-to-phase	≤ 1600 V	
			dV/dt	≤ 5200 V/μs	
			Rise time	≥ 0,1 μs	
Bearing type	Drive end Non drive end				
Lubrication interval	6322-C3 6319-C3-INSU				
Lubricant amount	4500 h 4500 h				
Lubricant type	60 g 45 g				
	MOBIL POLYREX EM				
Notes:					
Ex II 2G Ex "d" IIB T4 Gb					
1Ex d IIB T4					
VSD features:					
Output (load) : Constant torque 1592Nm					
Speed range : 288-1490rpm					
Temperature Rise : 105K					
Standards	Specification	: IEC 60034-1	Vibration	: IEC 60034-14	
	Tests	: IEC 60034-2	Tolerance	: IEC 60034-1	
	Noise	: IEC 60034-9			
This revision replaces and cancels the previous one, which must be eliminated.			These are average values based on tests with sinusoidal power supply, subject to the tolerances stipulated in IEC 60034-1.		
(1) When viewed from the drive end.					
(2) Measured at 1m and with tolerance of +3dB(A).					
(3) Approximate weight subject to changes after manufacturing process.					
(4) At the rated point.					
Rev.	Summary of changes		Performed	Checked	Date
Performed by	leonor		078576/2016		
Checked by	morgado		Page	Revision	
Date	07/05/2019		1/1	4	

This document is exclusive property of WEG S/A. Reprinting is not allowed without written authorization.

A.3 Erros de comunicação passíveis de ocorrer no PLC



Interface de Comunicação CANopen

2.4 INDICAÇÕES

Além dos marcadores de sistema, que fornecem diversas informações sobre a interface, o controlador programável PLC300 possui um LED bicolor – verde e vermelho – na parte frontal do produto utilizado para indicação da interface CAN.



Figura 2.2: LED de indicação da interface CAN

Durante a inicialização do equipamento, ambos os LEDs são acesos para teste por um período de aproximadamente 500 ms alternadamente. Após este período, para o protocolo CANopen, eles farão indicações conforme mostrado a seguir.

2.4.1 Tipos de indicação

Além dos estados aceso e apagado, os seguintes comportamentos também podem ser visualizados:

- Intermitente: o LED fica um período de 200 ms aceso, seguido de um período de 200 ms apagado.
- Uma piscada: o LED fica um período de 200 ms aceso, seguido de um período de 1 segundo apagado.
- Duas piscadas: o LED acende duas vezes por um período de 200 ms (com um período de 200 ms apagado entre estas indicações), seguido de um período de 1 segundo apagado.

2.4.2 Error LED (vermelho)

O LED vermelho indica erros da camada física do barramento CAN, além de erros da comunicação CANopen.

Tabela 2.3: Indicações do LED de erro (vermelho)

Indicação	Estado	Descrição
Apagado	Sem erro	O equipamento está operando normalmente, desligado ou sem alimentação na interface CAN.
Uma piscada	Atingido o estado de warning	Os contadores internos de erro do controlador CAN atingiram o estado de warning, devido a erros da comunicação CAN. Esta indicação também é válida caso o equipamento esteja no estado error passivo.
Duas piscadas	Falha no serviço de controle de erros – Node Guarding ou Heartbeat	Após o serviço de Node Guarding ou Heartbeat ter sido inicializado pelo mestre, ocorreu timeout na troca de telegramas entre o mestre e o escravo, ocasionando este erro.
Aceso	Bus off	O controlador CAN atingiu o estado de bus off.

2.4.3 Run LED (verde)

O LED verde indica o estado do escravo na comunicação CANopen.

Tabela 2.4: Indicações do LED run (verde)

Indicação	Estado	Descrição
Uma piscada	Estado parado (STOPPED)	O equipamento encontra-se no estado parado.
Intermitente	Pré-operacional (PRE-OPERATIONAL)	O equipamento encontra-se no estado pré-operacional.
Aceso	Operacional (OPERATIONAL)	O equipamento encontra-se no estado operacional.



NOTA!

Caso o estado da interface CAN e comunicação CANopen seja tal que ambos os LEDs devam fazer indicações simultâneas, o LED vermelho terá precedência sobre o LED verde, este último permanecendo apagado.

A.4 Erros de comunicação passíveis de ocorrer nas RUW



DIAGNÓSTICO

A RUW-01 apresenta diagnóstico através de LEDs que indicam o estado de cada entrada e saída digital e o estado da comunicação.

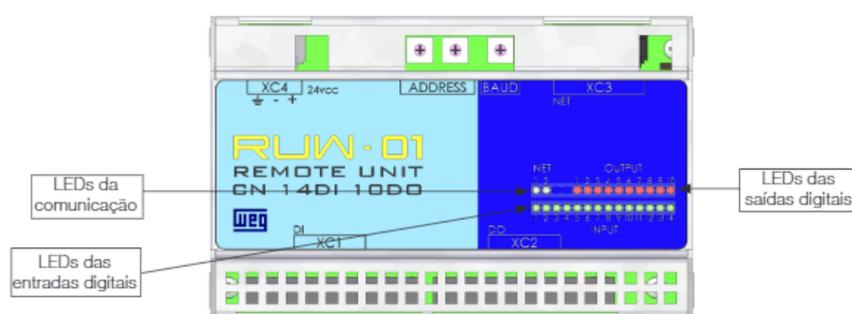


Figura 5.1: LED de indicação da RUW-01

5.1 DIAGNÓSTICO DA COMUNICAÇÃO

A comunicação apresenta dois LEDs: CAN (NET 1) e ERROR (NET 2).

- LED CAN (NET 1): sinalização do estado do protocolo CANopen;
- LED ERROR (NET 2): sinalização do estado da interface CAN.

As tabelas abaixo mostram o comportamento destes LEDs em função do estado da unidade remota:

Tabela 5.1: Sinalização do estado de operação da unidade remota

Estado	LED CAN	Descrição
STOPPED	Verde pisca uma vez por segundo	Dispositivo está no estado parado, de acordo com a especificação do protocolo CANopen.
PRE-OPERATIONAL	Verde pisca 200 ms	Dispositivo está no estado Pré-operacional. PDOs não estão disponíveis para comunicação.
OPERATIONAL	Verde	Dispositivo está no estado Operacional. Todos os objetos de comunicação estão disponíveis.

Tabela 5.2: Sinalização de erro da unidade remota

Estado	LED ERROR	Descrição
Sem ERRO	Apagado	■ Dispositivo está em condições normais de operação, on-line, e com conexões estabelecidas.
Warning	Vermelho pisca 1 vez por segundo	■ Indica que o controlador CAN está em estado de Warning ou Error Passive (consulte o item 6.1.4). ■ Pode ocorrer, por exemplo, se for o único equipamento ligado à rede CANopen.
Erro de Node Guarding ou Heartbeat	Vermelho pisca 2 vezes por segundo	■ Controle de erros da comunicação CANopen detectou erro de comunicação utilizando o mecanismo de guarding ou heartbeat.
Erro de BUS OFF	Vermelho	■ Indica que o controlador CAN está no estado de BUS OFF (consulte item 6.1.4). ■ Indica uma condição crítica de operação na rede CANopen, em geral associada a problemas na instalação ou configuração incorreta da taxa de comunicação. ■ É necessário ligar novamente a RUW-01.
Erro de BUS POWER OFF	Vermelho	■ Indica que a interface CAN não possui alimentação entre os pinos 1 e 5 do conector.
CANopen não Inicializado	Vermelho pisca 50 ms	■ Indica que o Protocolo CANopen não foi inicializado. Verifique se o endereço está ajustado em um valor válido (01h-7Fh).

A.5 Material utilizado

MATERIAL ELÉTRICO	
Descrição	Quantidade (UN)
Botões - Não Iluminados - Ø22 mm - IP66 - Emergência	1
Bloco de Contato para Monitorização dos Botões de Emergência CSW-BES1	1
Guarda de Proteção para Botão de Emergência	1
Comutadores de 2 Posições - Não Iluminados - Ø22 mm - IP66 - Knob curto	1
Botões Pulsadores - Iluminados- Ø22 mm - IP66 - Faceado Vermelho	3
Botões Pulsadores - Iluminados- Ø22 mm - IP66 - Faceado Incolor	15
Botões Pulsadores - Iluminados- Ø22 mm - IP66 - Faceado Verde	3
Botões Pulsadores - Iluminados- Ø22 mm - IP66 - Faceado Duplo	3
Potênciômetros	4
Sinalizadores Modulares - Ø22 mm - IP66 - Difusos Amarelos	2
Sinalizadores Modulares - Ø22 mm - IP66 - Difusos Vermelhos	1
Sinalizadores Modulares - Ø22 mm - IP66 - Difusos Incolores	2
Sinalizadores Modulares - Ø22 mm - IP66 - Difusos Verdes	1
Contatos em repouso - Blocos de Contatos Simples NA	21
Contatos em repouso - Blocos de Contatos Simples NF	6
Flange	31
Blocos de Iluminação com LEDS Incolor	30

MATERIAL DE AUTOMAÇÃO	
Descrição	Quantidade(UN)
PLC300	1
RUW1	3
Relés	35
Relés de Proteção	5
EA-PSI 5080-10	1
YOKOGAWA WT1806E	1
CFW11	1
KEY SIGHT E3633A	1
USB	1

MATERIAL MECÂNICO	
Descrição	Quantidade (UN)
QLHAL TRANSPORTE M12	4
ESTRUTURA METAL 2000X600X600mm	1
TETO FECHADO 2000X600X600	1
LATERAL DIR/ESQ 2000X600X19mm	2
DOBRADICA MONT A BASE DA DOBR 180° ZINCO	6
BASE SOLEIRA 100X600X15mm	2
BASE SOLEIRA 100X600X15mm	2
ACOPLAMENTO 8100.770	4
RODIZIO FIXO TRAVA SEG 125X60 7495.000	4
PLACA MONTAGEM 800X600X2,5mm	1
PLACA MONTAGEM 500X500X2,5mm	1
PORTA SEGMENTADA ESQ 600X600X22mm	1
PORTA SEGMENTADA ESQ 800X600X22mm	2
PORTA SEGMENTADA ESQ 200X600X22mm	1
PORTA INTEIRICA ESQ 1000X600X22mm	1
PAINEL ACABAMENTO SUPERIOR 100X600X15mm	2
PAINEL ACABAMENTO INFERIOR 100X600X15mm	2
BANDEJA PARA TECLADO	1
BANDEJA FIXA	4
CHASSIS 64X538X26mm	8
VENTILADOR TETO CA 133X400X400mm	1
VENEZIANA PAINEL 323X323	1
LUMINARIA LED 5W	1
FIM CURSO PINO PN 1NA1NF SZ 2500.460	1
CORREDICA TELESCOP ESFERAS 600mm 50kg	4

A.6 Cotas de furos realizados da placa de fibra de vidro do protótipo

