



Instituto Superior de Engenharia

Politécnico de Coimbra

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
ELETROTÉCNICA / DEPARTMENT OF ELECTRICAL
ENGINEERING

Projeto de Controlo e Monitorização das Torres de Arrefecimento

Trabalho de Projeto para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica

Especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de
Energia

Autor

João Daniel Gaspar Moita

Orientadores

**Professora Doutora Verónica Maria Marques Carreiro Silva
Vasconcelos**

Professor Doutor Paulo Filipe de Almeida Ferreira Tavares

Supervisor na empresa SRAMPORT – TRANSMISSÕES
MECÂNICAS, LDA

Engenheiro Paulo Jorge Ferreira Antunes da Silva

Coimbra, maio de 2025



INSTITUTO POLITÉCNICO DE
COIMBRA

INSTITUTO SUPERIOR
DE ENGENHARIA
DE COIMBRA

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Doutora Verónica Vasconcelos e ao Professor Doutor Paulo Tavares, pelo acompanhamento constante, pela paciência e pela orientação ao longo deste trabalho.

Agradeço à SRAMPORT pela oportunidade de realizar este trabalho de projeto bem como, todo o material necessário.

Ao Engenheiro Paulo Silva, pela orientação, conhecimento transmitido e pela paciência demonstrada ao longo deste projeto.

Ao Engenheiro Paulo Carvalho, pelo conhecimento partilhado, pela disponibilidade e apoio prestado ao longo deste percurso.

Aos meus pais, por me terem ensinado a importância da perseverança e o conhecimento transmitido ao longo da minha vida.

À minha irmã, pela paciência e pelas palavras de incentivo que me acompanharam ao longo deste percurso.

À minha namorada, Maria Simões, por estar sempre ao meu lado, por celebrar as minhas conquistas como fossem suas, pelo carinho e paciência constante demonstrado ao longo desta etapa.

Por fim, agradeço aos meus amigos do ISEC, Beatriz Lopes, Bruno Esteves, Nuno Gomes, Mara Reis e Liliana Silva, pela amizade e momentos vividos durante a vida académica.

A todos um sincero obrigado!

João Daniel Gaspar Moita.

RESUMO

No âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, área de especialização em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, do Instituto Superior Engenharia de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, foi realizado um trabalho de projeto na empresa SRAMPORT. Esta empresa é uma fábrica metalúrgica que se dedica à produção de componentes para bicicletas, caracterizada por processos industriais que requerem controlo e supervisão.

O presente trabalho teve como principal objetivo implementar um controlo automático e realizar a monitorização das torres de arrefecimento presentes nas instalações da SRAMPORT. Para tal, foi desenvolvida uma solução que permite ao sistema determinar automaticamente o número de torres que têm de funcionar em função das necessidades. Além disso, foi implementado um sistema de monitorização em tempo real, que permite armazenar informação de variáveis críticas, como temperatura, caudal de água, estado dos equipamentos, entre outras.

A implementação deste sistema demonstrou melhorias significativas na gestão das torres de arrefecimento, permitindo um controlo eficaz e uma resposta mais rápida em caso de eventuais avarias. Para além disso, contribuiu para a eficiência energética do sistema, garantindo que os equipamentos funcionassem apenas quando necessário e nas condições ideais.

Este trabalho permitiu consolidar e adquirir novos conhecimentos na área da automação, através do manuseamento de equipamentos e da utilização de *software* próprio da automação industrial, como *CX-Programmer*, *CX-Designer*, *Sysmac Studio*, *QElectroTech* e *Microsoft Visual Studio*.

Palavras-chave: Automação Industrial, Torres de Arrefecimento, Monitorização, PLC, HMI.

ABSTRACT

As part of the Master's Degree in Electrical Engineering, specializing in Automation and Communications in Energy Systems, at the Instituto Superior Engenharia de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, a project was carried out at the company SRAMPORT. This company is a metalworking factory dedicated to the production of bicycle components, characterized by industrial processes that require control and supervision.

The main objective of this work was to implement automatic control and monitor the cooling towers present at SRAMPORT facilities. To this end, a solution was developed that allows the system to automatically determine the number of towers that must operate according to needs. In addition, a real-time monitoring system was implemented, which allows storing information on critical variables, such as temperature, water flow, equipment status, among others.

The implementation of this system has demonstrated significant improvements in the management of the cooling towers, allowing effective control and a faster response in the event of potential failures. In addition, it has contributed to the energy efficiency of the system, ensuring that the equipment operates only when necessary and under ideal conditions.

This work allowed to strengthen and acquire new knowledge about automation, through the handling of equipment and the use of industrial automation software, such as *CX-Programmer*, *CX-Designer*, *Sysmac Studio*, *QElectroTech* and *Microsoft Visual Studio*.

Keywords: Industrial Automation, Cooling Towers, Monitoring, PLC, HMI

ÍNDICE

Agradecimentos	I
Resumo	III
Abstract.....	V
Índice.....	VII
Índice de Figuras	IX
Simbologia e Acrónimos.....	XI
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do Trabalho	1
1.2 Objetivos	1
2 Enquadramento Teórico.....	3
2.1 Evolução da Indústria.....	3
2.1.1 Indústria 1.0	3
2.1.2 Indústria 2.0	4
2.1.3 Indústria 3.0	4
2.1.4 Indústria 4.0	4
2.1.5 Indústria 5.0	5
2.2 Automação	5
2.3 Redes Industriais	8
2.3.1 Profibus	8
2.3.2 Modbus	8
2.3.3 Profinet	9
2.3.4 EtherNet/IP	10
2.3.5 EtherCAT.....	10
2.4 Componentes dos Sistemas de Automação.....	11
2.4.1 Controlador Lógico Programável.....	11
2.4.2 Interface Homem-Máquina.....	12
2.4.3 Variador Eletrónico de Velocidade.....	13
2.5 Torres de Arrefecimento.....	14
3 Caracterização da Empresa.....	17
3.1 SRAM	17
3.2 SRAMPORT.....	19

3.3	Produtos da SRAM.....	20
3.4	Produtos da SRAMPORT	20
3.5	Fluxo Produtivo da SRAMPORT.....	22
3.5.1	Setor de Cortes	22
3.5.2	Tratamento Térmico e de Superfície	23
3.5.3	Montagem.....	26
4	Apresentação do Sistema Inicial	29
4.1	Sistema Preexistente.....	29
4.2	Descrição dos Sistemas Críticos.....	30
4.2.1	Fornos Contínuos.....	30
4.2.2	Linhas de Niquelagem	32
4.2.3	Prensa Haulick	33
4.3	Funcionamento do Sistema Inicial.....	34
4.4	Problemas Diagnosticados.....	36
5	Trabalho Realizado	37
5.1	Análise do Sistema de Arrefecimento.....	37
5.2	Projeto Elétrico do Sistema	39
5.3	Programação do Sistema de Arrefecimento	41
5.4	Monitorização.....	46
6	Conclusão	53
6.1	Trabalhos Futuros.....	54
	Referências Bibliográficas.....	55
	Anexos	59
	Anexo I – Produtos fabricados pelo Grupo SRAM [31].....	59
	Anexo II – Secções de tratamento Térmico e de Superfície [32]	61
	Anexo III – Descrição das Torres de Arrefecimento [33]	63
	Anexo IV- Esquemas Elétricos do Sistema de Arrefecimento.....	65
	Anexo V – Fluxograma Funcional do Sistema	67
	Anexo VI – Representação da Tabela “Dados Instantâneos” e de “Alarmes” na Base de Dados.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Fases da evolução da indústria (figura adaptada de [1]).	3
Figura 2 – Tipos de Automação [8].	6
Figura 3 – Pirâmide hierárquica da automação industrial [9].	7
Figura 4 – Estrutura de um PLC [16].	11
Figura 5 – Representação de um HMI [18].	12
Figura 6 – Exemplo dos Parâmetros do VEV MX2 OMRON® [21].	13
Figura 7 – Torre de Arrefecimento <i>Counterflow</i> (esquerda) e <i>Crossflow</i> (direita) [23].	14
Figura 8 – Torre com tiragem mecânica induzida (esquerda) e forçada (direita) [22].	15
Figura 9 – Representação do <i>Grip Shift</i> [24].	17
Figura 10 – Representação Temporal na Aquisição de Marcas e Novo produtos. (Imagem cedida pela empresa).	18
Figura 11 – Localização Geográfica do grupo SRAM e <i>World Bicycle Relief</i> . (Imagem cedida pela empresa)	19
Figura 12 – Sede da SRAMPORT – Transmissões Mecânicas, Lda. (Imagem do autor)	20
Figura 13 – Representação dos produtos da SRAMPORT. (Imagem cedida pela empresa).	21
Figura 14 – Componentes de um corrente <i>Eagle</i> . (Imagem cedida pela empresa).	21
Figura 15 – Representação do fluxo produtivo da SRAMPORT. (Imagem do autor)	22
Figura 16 – Representação da Secções CIS e DPE. (Imagem cedida pela empresa)	23
Figura 17 – Representação da Secção BAR. (Imagem cedida pela empresa).	24
Figura 18 – Representação da Secção TTD. (Imagem cedida pela empresa)	25
Figura 19 – Representação da Secção FCH. (Imagem cedida pela empresa)	26
Figura 20 – Linha de Montagem CHC. (Imagem cedida pela empresa)	27
Figura 21 – Esquema com duas torres instaladas (Imagem cedida pela empresa).	29
Figura 22 – Representação das Linhas CTC 1 e CTC 2. (Imagem cedida pela Empresa).	30
Figura 23 – Representação da Linha CTC 3. (Imagem cedida pela empresa)	31
Figura 24 – Representação da Linha Niquelagem 1 e 2 [27].	32

Figura 25 – Prensa Haulick. (Imagem cedida pela empresa).....	34
Figura 26 – <i>Layout</i> do Quadro Anterior. (Imagem do autor).....	35
Figura 27 – Representação Esquemática com 3 torres instaladas. (Imagem do autor)	37
Figura 28 – <i>Software QElectroTech</i> esquema elétrico multifilar das torres de arrefecimento. (Imagem do autor).....	39
Figura 29 – Layout dos 2 quadros elétricos instalados. (Imagem do autor)	40
Figura 30 – Programa do Modo Automático no <i>CX-Programmer</i> . (Imagem do autor)	41
Figura 31 – Representação do modo capacidade máxima (1ª situação). (Imagem do autor)	42
Figura 32 – Representação do modo capacidade máxima (2ª situação). (Imagem do autor)	42
Figura 33 – Representação do modo de funcionamento alternado. (Imagem do autor)	43
Figura 34 – Representação do modo permutação reforçada. (Imagem do autor) ..	43
Figura 35 – Página Principal da HMI do Controlo das Torres de Arrefecimento. (Imagem do autor).....	44
Figura 36 – Representação da página de alarmes da HMI. (Imagem do autor)	45
Figura 37 – Apresentação Páginas da HMI: a) Parâmetros de funcionamento alternado; b) Parâmetros de permutação reforçada. (Imagem do autor).....	45
Figura 38 – Fluxograma da Estrutura de Alarmes. (Imagem do autor).....	46
Figura 39 – Fluxograma da Estrutura dos dados instantâneos. (Imagem do autor)	47
Figura 40 – Representação FINS <i>Settings</i> do <i>Software Sysmac Studio</i> . (Imagem do autor)	48
Figura 41 – Exemplo de Conexão à base de dados utilizando Sysmac Studio. (Imagem do autor).....	49
Figura 42 – Representação da tabela: a) dados instantâneos ; b) alarmes. (Imagem do autor)	49
Figura 43 – Representação do website desenvolvido em MVC. (Imagem do autor)	50
Figura 44 – Representação do formato de email. (Imagem do autor)	51

SIMBOLOGIA E ACRÓNIMOS

APCER – Associação Portuguesa de Certificação

BMP – *Manchester Bus Power*

Bps – *Bits per second*

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CHC – Linha de Montagem em Contínua

CIP – *Common Industrial Protocol*

CIS – Cisalhamento

CNC – *Computer Numerical Control*

CPU – *Central Processing Unit*

CRT – Setor de Cortes

CTC – Cementação e Têmpera Contínua

CTG – Máquina de Tensionamento

DB – Database

DCS – *Distributed Control System*

DPE – *Découpage Pressage Emboutissage*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

EtherCAT – *Ethernet for Control Automation Technology*

EtherNet/IP – *Ethernet Industrial Protocol*

FBD – *Function Block Diagram*

FCH – Four de Cémentation à Haute température

FINS – Factory Interface Network Service

HMI – *Human-Machine Interface*

HTTP – *HyperText Transfer Protocol*

IEC – *International Electrotechnical Commission*

IIoT – Industrial Internet of Things

IL – *Instruction List*

IoT – Internet of Things

IP – *Internet Protocol*

LD – *Ladder Diagram*

LUB – Máquina Lubrificadora
MES – *Manufacturing Execution System*
Modbus ASCII – *American Standard Code for Information Interchange*
Modbus RTU – *Remote Terminal Unit*
MTG – Montagem
MVC – *Model-View-Controller*
NC – *Normally Close*
NO – *Normally Open*
ODVA – *Open DeviceNet Vendor Association*
PI – *Profibus International*
PLC – *Programmable Logic Controller*
PPR – Prensa Pequena
Profibus – *Process Field Bus*
Profibus DP – *Decentralized Peripherals*
Profibus PA – *Process Automation*
Profinet – *Process Field Network*
Profinet IRT – *Profinet Isochronous Real-Time*
Profinet RT – *Profinet Real-Time*
QP1 – Quadro Parcial 1
QP2 – Quadro Parcial 2
RDP – Máquina de Rebitagem Progressiva
SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*
SER – Serralharia
SFC – *Sequential Function Chart*
SMTP – *Simple Mail Transfer Protocol*
ST – *Structured Text*
TCP – *Transmission Control Protocol*
IP – *Internet Protocol*
TT – Tratamento Térmico e de Superfície
TTD – Tratamento Térmico Delta
UDP – *User Datagram Protocol*
V_AC – Tensão em Corrente Alternada (AC – Alternating Current)

V_DC – Tensão em Corrente Contínua (DC – Direct Current)

VIS – Visão Inspeção em Simultâneo

VEV – Variador Eletrónico de Velocidade

Wi-Fi – *Wireless Fidelity*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Trabalho

No setor industrial, o constante desenvolvimento tecnológico desempenha um papel fundamental na melhoria da produtividade, eficiência, qualidade e segurança dos processos industriais. Através da automação industrial, os sistemas de controlo trouxeram uma nova realidade à indústria, possibilitando o aumento da produtividade com uma taxa de erro significativamente baixa em relação ao erro humano. Como a eficiência é um dos pilares importantes na indústria, as empresas optam pela utilização de máquinas, onde conseguem produzir mais, em menos tempo e com a mesma qualidade.

A implementação de sistemas de controlo e monitorização são essenciais para acompanhar o comportamento dos sistemas, bem como, prever possíveis falhas que possam ocorrer.

No contexto da indústria, as torres de arrefecimento desempenham um papel crucial na dissipação de calor originado por processos industriais. Estas infraestruturas permitem que os equipamentos funcionem dentro dos intervalos de temperatura de forma eficiente. No entanto, uma gestão ineficaz pode resultar em desperdício de energia e aumento de custos de manutenção. A ausência de monitorização em tempo real, aliada à ausência de controlo automático, compromete a gestão eficiente das torres e pode originar falhas inesperadas. Deste modo, a implementação de um sistema de controlo automático com monitorização, torna-se essencial para otimizar o funcionamento das torres de arrefecimento. Através da automação, é possível parametrizar o número de torres a funcionar consoante a disponibilidade e as necessidades do sistema.

1.2 Objetivos

Este trabalho de projeto teve como principal objetivo implementar um sistema automático para o controlo e monitorização das torres de arrefecimento, garantindo que o sistema se adapte de forma autónoma às necessidades exigidas pelos equipamentos. Para isso, foi fundamental compreender o funcionamento das torres, de modo a desenvolver um sistema mais eficiente.

Além disso, foram objetivos a interação e familiarização com diversos equipamentos eletrónicos de forma a compreender o seu funcionamento e manuseamento. Nestes equipamentos incluem-se PLC (*Programmable Logic Controller*) e HMI (*Human-Machine Interface*) que desempenham um papel fundamental nos processos de automação e supervisão do sistema. Através desta interação, foi possível programar e configurar

um PLC, bem como desenvolver uma interface intuitiva para facilitar o controlo e monitorização por parte dos operadores.

Outro objetivo revelante foi a familiarização com os protocolos de comunicação utilizados na indústria, os quais são responsáveis pela transmissão de dados entre equipamentos em tempo real.

Adicionalmente, foi também objetivo a realização do registo de dados na base de dados já existente na empresa. Este processo permitiu armazenar informações sobre o comportamento do sistema, assim como, armazenar os alarmes ocorridos durante o seu funcionamento. Para a visualização em tempo real da monitorização do sistema, foi ainda desenvolvido de um website em *ASP.NET Core MVC (Model-View-Controller)*, através do qual é possível consultar o estado de cada torre de arrefecimento e analisar os alarmes registados.

A estrutura deste documento está dividida em 6 capítulos, as referências bibliográficas e por 6 anexos.

No capítulo 1, é apresentado um breve enquadramento do trabalho a ser realizado, assim como, os objetivos e a estrutura do documento.

O Capítulo 2 aborda o enquadramento teórico, com uma descrição da evolução da indústria através das revoluções industriais. São ainda apresentados os conceitos de automação, os tipos de redes industriais, os principais componentes dos sistemas de automação, os tipos de torres de arrefecimento e o respetivo princípio de funcionamento.

No capítulo 3, é apresentado o grupo SRAM e os seus produtos, com destaque para a empresa SRAMPORT, local onde foi desenvolvido o projeto.

O capítulo 4 descreve o funcionamento do sistema preexistente, e os problemas identificados.

No capítulo 5, descreve-se o trabalho realizado para obter um sistema de controlo automático e monitorização das torres de arrefecimento. Este capítulo apresenta as diversas fases do projeto, desde o esquema elétrico até à programação do sistema.

O capítulo 6 contém as conclusões relativas ao desenvolvimento do projeto, bem como sugestões para possíveis melhoramentos futuros.

Seguidamente são apresentadas as referências bibliográficas e os seis anexos. O Anexo I apresenta os produtos do grupo SRAM e as respetivas marcas. O Anexo II descreve as secções do setor dos tratamentos térmicos. No Anexo III são descritas as características das torres de arrefecimento. O Anexo IV inclui partes do esquema elétrico elaborado. O Anexo V apresenta o fluxograma funcional do sistema. Por fim, o Anexo VI define o formato das tabelas na base de dados para o registo de dados.

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo procura sintetizar a informação necessária para a compreensão dos temas abordados neste trabalho, bem como as tecnologias utilizadas. Inicia-se com uma introdução à evolução da indústria, descrevendo a evolução da tecnologia ao longo do tempo. De seguida, são apresentados alguns conceitos de automação e os seus principais componentes. Por fim, são descritos o princípio de funcionamento de uma torre de arrefecimento e os diferentes tipos de torres existentes.

2.1 Evolução da Indústria

A indústria passou por diversas revoluções ao longo dos anos, cada uma marcada por avanços nos processos industriais e tecnológicos. A Figura 1, representa a evolução da indústria ao longo do tempo.



Figura 1 – Fases da evolução da indústria (figura adaptada de [1]).

2.1.1 Indústria 1.0

A primeira revolução industrial ocorreu entre o final do século XVIII e meados do século XIX. Este foi um período de transformação económica, social e de inovação, no qual a invenção da máquina a vapor (James Watt) possibilitou a mecanização de processos produtivos e aumento de produção em menos tempo. O carvão desempenhou um papel fundamental na indústria, visto que era a principal matéria-prima utilizada para o funcionamento das máquinas a vapor. A máquina a vapor impulsionou uma nova era na indústria trazendo profundas transformações na indústria têxtil, metalúrgica, nos transportes e em outras atividades económicas [2].

2.1.2 Indústria 2.0

Durante o século XIX e XX, ocorreu a segunda revolução industrial que ficou marcada pela descoberta de novas fontes de energia, nomeadamente, a eletricidade e o petróleo. A eletricidade tornou-se uma fonte de energia dominante sendo aplicada em várias aplicações, como, por exemplo na iluminação elétrica com recurso à invenção da lâmpada incandescente por Thomas Edison, em motores elétricos, os quais eram usados para realizar força motriz na indústria, em transportes elétricos, em comunicações (telégrafo), entre outros.

O uso do petróleo e dos seus derivados, como o combustível para os motores de combustão interna, também tiveram um impacto significativo na indústria automóvel e em outras indústrias.

Além disso, houve a criação de novas técnicas de produção em massa, como por exemplo, a invenção da linha de montagem de Henry Ford, que revolucionou a produção de automóveis, permitindo a fabricação em larga escala com custos mais reduzidos [3].

2.1.3 Indústria 3.0

A terceira revolução industrial, também conhecida como revolução técnico-científica, teve início na segunda metade do século XX. Esta revolução foi caracterizada pela inovação da tecnologia, que ficou marcada por avanços significativos nas áreas da robótica, automação, telecomunicações, internet, eletrónica, energias renováveis, entre outras.

A automação industrial teve um impacto importante na indústria, devido à introdução do PLC e dos sistemas de controlo distribuídos.

A revolução digital também permitiu a interligação global, facilitando a transferência de informação entre equipamentos [4].

2.1.4 Indústria 4.0

A quarta revolução industrial, está a decorrer no presente século XXI, sendo caracterizada por tecnologias inovadoras, inteligência artificial, IoT (*Internet of Things*), robótica avançada, realidade aumentada, a qual está a ter um impacto importante no quotidiano da indústria

A indústria 4.0 é marcada pela criação das “fábricas inteligentes”, onde existe uma monitorização em tempo real dos processos produtivos e uma monitorização dos equipamentos, desde a leitura de sensores, registo de consumos, emissão de alarmes, entre outros aspetos. Com base na leitura e interpretação desses dados, o sistema toma decisões descentralizadas, permitindo que os dispositivos e os sistemas comuniquem entre si através da IIoT (*Industrial Internet of Things*) [5].

2.1.5 Indústria 5.0

A indústria 5.0 representa uma nova fase na evolução da indústria, destacando-se pelo foco na colaboração entre os humanos e máquinas. Ao contrário das outras revoluções industriais em que era dado foco na eficiência e automação dos processos, a indústria 5.0 coloca o ser humano no centro do processo produtivo. Um dos principais objetivos da indústria 5.0 é criar valor para além dos resultados financeiros onde, a inclusão, sustentabilidade e qualidade de vida estão presentes neste novo paradigma.

Além disso, existem outras características da indústria 5.0 que consistem na integração de tecnologias avançadas, como o uso da inteligência artificial, IoT e *big data* com a automação. Neste contexto, as máquinas, pessoas e produtos vão estar ligados entre si [6].

2.2 Automação

O conceito de automação refere-se ao uso de equipamentos eletrónicos e sistemas mecânicos interligados, que realizam tarefas com a mínima ou nenhuma intervenção humana. As principais vantagens para escolher a automação são [7]:

- Aumento da produtividade – Com o uso da automação é possível produzir mais em menos tempo;
- Redução de Custos – Como a automação é uma solução economicamente viável, observa-se uma redução da dependência da mão-de-obra.
- Aumento da Qualidade – Utilização de sistemas de controlo que garantem maior consistência e precisão na produção resultando em produtos com melhor qualidade.
- Redução do Tempo de Ciclo – Diminuição do tempo entre o pedido do cliente e a entrega do produto.
- Aumento da Segurança – Redução da exposição dos trabalhadores a ambientes perigosos e tarefas com risco associado.

Ao longo dos anos a automação industrial teve de acompanhar a evolução da tecnologia e das novas exigências do mercado, levando ao desenvolvimento de vários tipos de automação (Figura 2), nomeadamente [8]:

- A Automação Fixa, como o nomo indica, é utilizada para sistemas que executam tarefas simples, sem flexibilidade para mudanças ou adaptações.

Este tipo de automação é ideal para produções em larga escala onde o processo é constante e não necessita de alterações.

- A Automação Programável, permite a alteração do sistema para realizar diferentes tarefas, ou seja, consoante o produto que estiver a ser produzido, é possível reprogramar o sistema para a configuração do produto. Este tipo de automação é usado para produções de baixo volume em que existe uma ampla variedade de produtos.
- A Automação Flexível pode ser considerada uma evolução dos dois tipos de automação descritos anteriormente. Uma das características deste tipo de automação é a flexibilidade de adaptação para a produção de diferentes produtos.
- A Automação Integrada assenta na indústria 4.0 onde os diferentes processos de produção comunicam entre si, permitindo uma gestão mais eficiente desde a entrada da matéria-prima até à saída do produto final.

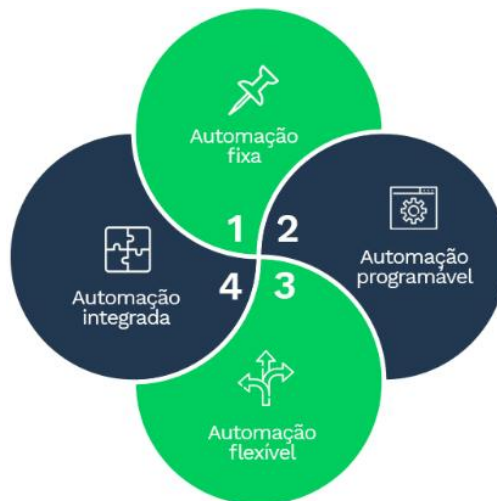


Figura 2 – Tipos de Automação [8].

Para melhor compreender como é realizada uma gestão eficiente dos diferentes processos, geralmente as empresas têm uma estrutura funcional em que utilizam a pirâmide hierárquica da automação industrial. Esta pirâmide está dividida em 5 níveis, como se pode observar na Figura 3.

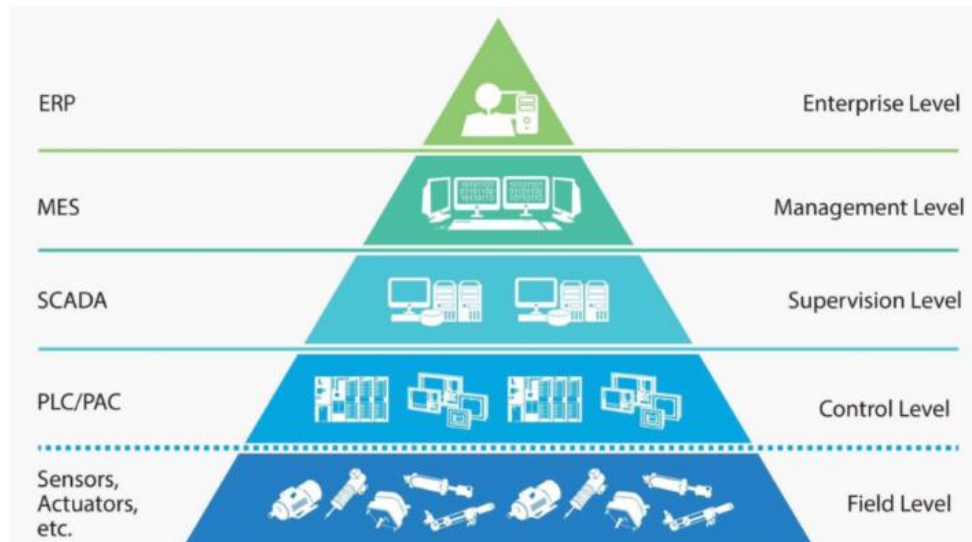


Figura 3 – Pirâmide hierárquica da automação industrial [9].

O nível 1 representa o “chão de fábrica” onde os equipamentos interagem diretamente com o processo físico, como, por exemplo, sensores, atuadores, transmissores, entre outros equipamentos.

O nível 2 é reconhecido pelo uso de PLC e Sistemas DCS (*Distributed Control System*), que são responsáveis pelo processamento de informação recebida pelos sensores e acionamento das saídas, consoante a lógica programada.

O Nível 3 é caracterizado pelo uso de sistemas de Supervisão, como, por exemplo, SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*), que têm a função de adquirir dados, supervisionar e controlar um determinado processo em tempo real. Além destes, as HMI também estão inseridas neste patamar.

O Nível 4 representa a gestão de produção, mais conhecido por MES (*Manufacturing Execution System*). Este tem a função de ligar o nível 1 (chão de fábrica) e a gestão da empresa. O sistema MES gere e otimiza a execução da produção em tempo real recebendo informação dos Sistemas SCADA e PLC.

O topo da pirâmide é ocupado pelos sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), que são responsáveis pela gestão global da empresa. O ERP interliga a produção com a logística, finanças e recursos humanos, o qual oferece uma visão estratégica da empresa.

Como se pode observar na Figura 3, a pirâmide hierárquica organiza os diferentes níveis de automação e gestão, de forma a proporcionar uma visão clara e eficiente do funcionamento global de uma empresa. Esta estrutura interligada, não só facilita a tomadas de decisões em tempo real, bem como promove a eficiência e o bom funcionamento entre os vários departamentos da empresa [10].

2.3 Redes Industriais

As redes industriais desempenham um papel fundamental na coordenação e interligação de equipamentos na pirâmide industrial. Estas redes permitem a comunicação entre os diferentes níveis, desde o nível 1 (sensores, atuadores, etc.), até aos sistemas de gestão (ERP). Cada rede utiliza protocolos de comunicação que são baseados num conjunto de regras e padrões específicos para a troca de informação. Estes protocolos garantem que os dados são transmitidos de forma segura, consistente e em tempo real.

No tópico seguinte serão abordadas as redes industriais mais comuns, bem como os protocolos de comunicação utilizados em cada uma delas.

2.3.1 Profibus

A rede Profibus (*Process Field Bus*) é um sistema de comunicação industrial amplamente utilizado na Europa. Atualmente, a rede Profibus está integrada na norma IEC (*International Electrotechnical Commission*) 61158 que define protocolos de comunicação para as redes industriais, também conhecidas como *fieldbus* [11].

A rede Profibus disponibiliza dois tipos de comunicação, Profibus *DP* (*Decentralized Peripherals*) e Profibus *PA* (*Process Automation*). O primeiro tipo de comunicação é usado principalmente para comunicações rápidas entre controladores (PLC) e equipamentos de “chão de fábrica” (sensores e atuadores), onde a velocidade de comunicação varia entre 300bps a 10Mbps. O segundo tipo de comunicação, é projetado para ambientes de processo onde a comunicação e a alimentação podem ir no mesmo cabo. Para este caso, as ligações têm um alcance maior, no entanto, a velocidade de transmissão de dados é inferior à Profibus *DP*.

O protocolo utilizado pelo Profibus é baseado num modelo de comunicação mestre-escravo que pode ter uma topologia de rede linear, em anel ou em estrela. Em relação aos meios de transmissão que a Profibus suporta, estão incluídos, RS-485, BMP (*Manchester Bus Power*) e fibra ótica [11].

2.3.2 Modbus

O Modbus é um protocolo de comunicação industrial utilizado para troca de dados entre dispositivos. Este protocolo foi desenvolvido pela Modicon que consiste num protocolo de comunicação mestre e escravo. Este pode ser usado em várias camadas físicas diferentes. O Modbus é um protocolo de comunicação industrial que fornece comunicação entre cliente e servidor e dispositivos ligados em diferentes tipos de rede.

Dentro do Modbus existem dois modos de transmissão, Modbus *RTU* (*Remote Terminal Unit*) e Modbus *ASCII*. O Modbus *RTU*, utiliza uma codificação binária que se torna mais eficiente em termos de largura de banda. A mensagem é composta por caracteres codificados com 8 Bits mais 1 bit de paridade para garantir a integridade da mensagem. O Modbus *ASCII*, ao contrário do Modbus *RTU*, utiliza uma mensagem baseada em texto ASCII que facilita a interpretação e análise das comunicações para o ser humano. No entanto, a codificação utilizada com caracteres codificados em 7 Bits mais 1 bit de paridade, é menos eficiente que o *RTU* no que diz respeito, à largura de banda.

Para este tipo de rede é usada a comunicação série RS-232 e RS-485 para realizar a transmissão de dados entre mestre e escravo. A comunicação RS-232, utiliza uma comunicação ponto a ponto (*peer-to-peer*) através da qual é possível comunicar com um equipamento de cada vez. A comunicação RS-485, possibilita a ligação de 32 equipamentos num único barramento. Ou seja, os equipamentos equipados com RS-485 podem comunicar entre si sem a necessidade de uma rede complexa [12].

2.3.3 Profinet

O Profinet (*Process Field Network*) é um protocolo de comunicação desenvolvido pela PI (*Profibus International*). Esta organização promove e desenvolve padrões de comunicação para a automação industrial. A Profinet foi concebida para atender à crescente procura por velocidade, flexibilidade e robustez em sistemas de controlo e automação. Além disso, o Profinet permite a integração de redes de campo já existentes, como por exemplo, Profibus, DeviceNet, Interbus, entre outras.

Para atender as necessidades da automação industrial, o Profinet oferece três meios de comunicação, TCP/IP (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), Profinet IRT (*Isochronous Real-Time*) e Profinet RT (*Real-Time*). O primeiro tipo de comunicação, TCP/IP é utilizado para tarefas específicas em que não é exigido tempo crítico, como por exemplo, configuração e diagnóstico de processos. Por meio da comunicação TCP/IP, cada equipamento tem um endereço IP exclusivo, permitindo que seja acessível por diferentes protocolos, como o HTTP.

Para o caso do Profinet RT, este é usado para transmissão de dados em tempo real, como por exemplo, alarmes e dados enviados pelo PLC. Este meio de comunicação é mais rápido do que TCP/IP, visto que, acede diretamente à camada Ethernet.

O Profinet IRT é um meio de comunicação projetado para aplicações que requerem alta precisão e uma sincronização rigorosa. Este tipo de comunicação permite que a transmissão de dados não seja superior a $1\mu s$. Um exemplo de aplicação é o caso do controlo de movimentos de alta precisão, nomeadamente robôs e Máquinas CNC (*Computer Numerical Control*) [13].

2.3.4 EtherNet/IP

O EtherNet/IP (*Ethernet Industrial Protocol*) foi desenvolvido inicialmente pela Rockwell Automation®. Este é um protocolo de comunicação amplamente utilizada na automação industrial, devido à facilidade de comunicação entre equipamentos através de uma rede Ethernet, utilizando o modelo TCP/IP. Atualmente, é desenvolvido e mantido pela ODVA (*Open DeviceNet Vendor Association*), no qual, o EtherNet/IP faz parte da família de protocolos CIP (*Common Industrial Protocol*).

Este tipo de protocolo tem a possibilidade de comunicar com diferentes equipamentos de diferentes fabricantes, devido à utilização de todos os protocolos de transporte da Ethernet padrão, nomeadamente, TCP (*Transmission Control Protocol*), UDP (*User Datagram Protocol*) e o IP (*Internet Protocol*).

Uma das características do EtherNet/IP é o seu desempenho em tempo real em que, permite uma velocidade de transmissão de 10 até 1000Mbit/s numa topologia de rede em estrela, árvore e linear. Devido à sua simplicidade de implementação, permite ser usado em várias aplicações, como por exemplo, na monitorização de controlo de processos [14].

2.3.5 EtherCAT

A rede EtherCAT (*Ethernet for Control Automation Technology*) foi inicialmente desenvolvida pela Beckhoff® em 2003. Atualmente, o grupo EtherCAT *Technology*, é responsável pelo desenvolvimento contínuo da rede EtherCAT.

Uma das principais características da rede EtherCAT é a capacidade de processamento na passagem “*on the fly*” por hardware. O mestre EtherCAT envia uma mensagem com vários dados de diversos escravos, para o primeiro escravo da rede. O escravo processa a mensagem e extrai ou adiciona informação relevante para ele, prosseguindo de imediato para o próximo escravo EtherCAT, sem a necessidade de esperar pelo fim da transmissão da mensagem. O último escravo do barramento, devolve a mensagem já processada para o mestre EtherCAT que contém a informação de cada escravo.

Este sistema, permite que a atualização de dados entre o mestre e os escravos seja realizada de forma rápida e eficiente, com recurso à utilização da comunicação Ethernet *full duplex*.

Em comparação com outras redes, como por exemplo, a Profinet, a rede EtherCAT destaca-se pelo seu alto desempenho em tempo real e o seu baixo custo de implementação onde é utilizada em robótica, prensas, máquinas de embalagem entre outras aplicações [15].

2.4 Componentes dos Sistemas de Automação

Os sistemas de automação são compostos por vários elementos ligados entre si, que têm a função de monitorizar, supervisionar e controlar os processos industriais. Estes elementos podem ser: Autómatos, Equipamentos Pneumáticos, Sensores, Atuadores, Consolas, Variadores de Velocidade, entre outros. Seguidamente serão abordados alguns dos mais importantes que foram utilizados neste trabalho.

2.4.1 Controlador Lógico Programável

Um PLC tem a função de decidir o estado das saídas (atuadores), em função do estado das entradas (sensores), através da lógica programada no controlador. A Figura 4 representa os componentes principais de um PLC.

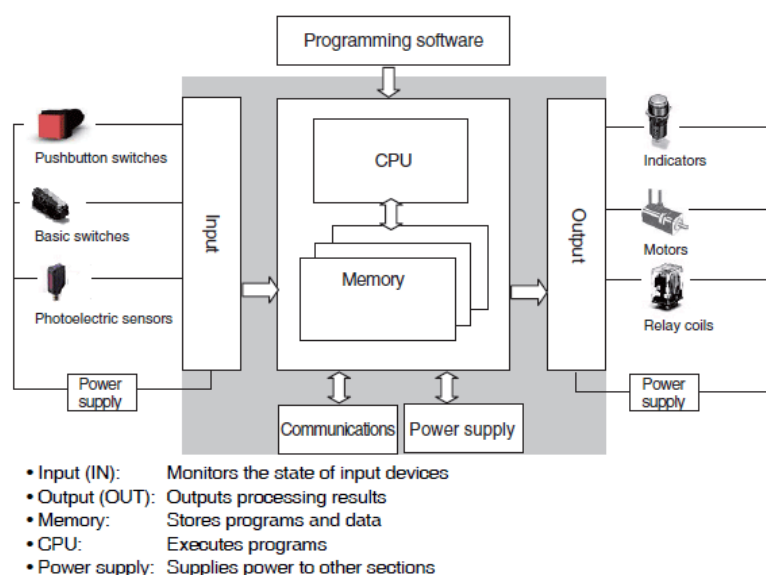


Figura 4 – Estrutura de um PLC [16].

Os módulos de entrada têm a função de receber os sinais provenientes de sensores de temperatura, pressão, presença, contactos NC (*Normally Close*), contactos NO (*Normally Open*), entre outros sinais. Enquanto os módulos de saída, têm a função de enviar os sinais para as saídas dos equipamentos, como é o caso dos contactores, electroválvulas, sinais luminosos, sinais sonoros, entre outros. O CPU, é caracterizado por ser o cérebro responsável por executar o programa, processar dados e tomar decisões, com base nos sinais de entrada recebidos. A memória do PLC tem a função de armazenar a informação sobre os estados dos módulos de entrada e saída e o programa lógico.

O ciclo de funcionamento de um PLC consiste em 4 etapas cíclicas, sendo a primeira a verificação do estado das entradas que é gravado na memória do autómato. De seguida, é verificado o programa lógico onde o CPU processa os dados e toma decisões consoante a lógica definida pelo utilizador e, posteriormente, processa a

etapa de verificação de saídas em que atualiza as saídas. Por fim, é realizada a última etapa de diagnóstico e comunicação, que inclui o diagnóstico interno do PLC e comunicações a realizar com outros equipamentos.

Devido à diversidade de marcas dedicadas à automação industrial originou-se a consequente incompatibilidade dos padrões de programação. No entanto, para facilitar a utilização do programador lógico programável e a interligação com outros equipamentos de controlo, a norma IEC (*International Electrotechnical Commission*) 61131 pretende uniformizar os tipos de programação utilizados em PLCs. Em específico, no capítulo 3 da norma IEC 61131 são definidos 5 tipos de linguagem de programação para os autómatos, nomeadamente:

- LD (*Ladder Diagram*);
- FBD (*Function Block Diagram*);
- ST (*Structured Text*);
- IL (*Instruction List*);
- SFC (*Sequential Function Chart*) [17].

A normalização permite que os PLCs sejam compatíveis com diversos equipamentos de outras marcas, em que é garantido que os sistemas funcionam corretamente e de forma segura, através de módulos de comunicação de rede, como é o caso da rede EtherCAT.

2.4.2 Interface Homem-Máquina

A HMI é um interface homem-máquina que permite a interação entre operadores e máquinas industriais. Devido à sua interface intuitiva, possibilita a monitorização e controlo dos processos industriais. Além disso, também é possível verificar o estado atual dos equipamentos, bem como os alarmes ocorridos.



Figura 5 – Representação de um HMI [18].

A HMI está presente em diversos setores na indústria, desde o ramo automóvel até à indústria alimentar. O que difere de uma interface para outra é a complexidade da máquina ou do sistema a controlar. O sistema de interface dinâmico permite analisar o processo produtivo em tempo real, sendo possível ajustar parâmetros para aumentar a produtividade da máquina. Estes equipamentos são utilizados vastamente na indústria devido à facilidade de comunicação com PLCs, através da comunicação série RS-232 ou por Ethernet [19].

2.4.3 Variador Eletrónico de Velocidade

Um VEV (Variador Eletrónico de Velocidade) é um equipamento utilizado para controlar a velocidade de motores de indução. Por meio da alteração da frequência na saída do VEV é possível controlar a velocidade do motor de forma segura e precisa. O controlo da velocidade permite reduzir o consumo de energia em muitas aplicações onde são usados os motores de indução que acionam cargas irregulares, nomeadamente, em compressores, ventiladores, bombas, entre outras aplicações.

Um VEV é constituído por uma unidade retificadora que tem a função de converter a corrente alternada (CA) para corrente contínua (CC); por um circuito de filtragem/alisamento e, por fim, é utilizada uma unidade inversora para converter novamente a corrente contínua em corrente alternada. Neste caso, o inversor utiliza técnicas de modulação para controlar a alimentação do motor, originando a alteração da velocidade e binário do motor.

Além disso, estes equipamentos podem ser controlados a partir de um PLC, por intermédio de uma ligação física às entradas inteligentes do VEV, em que é possível realizar ações como, modificar o sentido de rotação do motor e alteração da velocidade programada no variador [20].

Function code	Function name	Monitoring and setting items	Units	Run mode edit	Modbus Register N°	Default
A001	Frequency source	0 (keypad potentiometer), 1 (control circuit terminal block), 2 (digital operator), 3 (Modbus), 4 (option), 6 (pulse train input), 7 (easy sequence), 10 (operation function result)	–	*	1201h	01
A002	Run command source (*)	1 (control circuit terminal block), 2 (digital operator), 3 (Modbus), 4 (option)	–	*	1202h	01
A003	Base frequency	300 to "maximum frequency"	0.1 [Hz]	*	1203h	50.0
A004	Maximum frequency	300 to 4000 (10000)	0.1 [Hz]	*	1204h	50.0
A005	[AT] selection	0 (switching between O and OI terminals), 2 (switching between O terminal and keypad potentiometer), 3 (switching between OI terminal and keypad potentiometer)	–	*	1205h	00
A011 (32-bits)	[O] input active range start frequency	0 to 40000(100000)	0.01 [Hz]	*	120Bh 120Ch	0.00
A012 (32-bits)	[O] input active range end frequency	0 to 40000(100000)	0.01 [Hz]	*	120Dh 120Eh	0.00
A013	[O] input active range start voltage	0 to "[O]-[L] input active range end voltage"	1 [%]	*	120Fh	0
A014	[O] input active range end voltage	"[O]-[L] input active range start voltage" to 100	1 [%]	*	1210h	100
A015	[O] input start frequency select	00 (external start frequency), 01 (0 Hz)	–	*	1211h	01
A016	Analog input filter.	1 to 30 or 31 (500 ms filter ± 0.1 Hz with hysteresis)	1	*	1212h	8
A017	EsSQ selection	00 (disabling), 01 (PRG terminal), 02 (Always)	–	*	1213h	00
A019	Multi speed operation selection	00 (binary), 01 (bit)	–	*	1215h	00
A020 (32-bits)	Multi-speed freq. 0	0 or "start frequency" to "maximum frequency"	0.01 [Hz]	✓	1216h 1217h	6.00
A021 (32-bits)	Multi-speed freq. 1	0 or "start frequency" to "maximum frequency"	0.01 [Hz]	✓	1218h 1219h	0.00

Figura 6 – Exemplo dos Parâmetros do VEV MX2 OMRON® [21].

Para alterar a parametrização do VEV, normalmente, os VEVs das diversas marcas disponibilizam uma tabela com esses parâmetros, em que é possível programar as rampas de aceleração e desaceleração, velocidade máxima, entre outros (Figura 6).

2.5 Torres de Arrefecimento

Na indústria as torres de arrefecimento são essenciais para dissipação do calor originado por processos industriais. Estes sistemas podem ser classificados quanto ao método de transferência de calor, sendo divididos em 3 grupos principais: torres de arrefecimento a seco, por evaporação e híbridas.

As torres de arrefecimento a seco utilizam apenas o ar para arrefecer o fluido, sem perda de água por evaporação. As torres de arrefecimento por evaporação utilizam o ar em contacto direto com a água para realizar a transferência de calor, permitindo que a água arrefecida retorne ao sistema. Para o caso das torres de arrefecimento híbrido combinam as características das torres a seco e por evaporação, permitindo que sejam flexíveis conforme as necessidades de operação [22].

Estes 3 grupos principais, são amplamente utilizados em indústrias metalúrgicas, alimentar, centrais termoelétricas, entre outras, no qual, garantem a eficiência dos equipamentos e na redução do consumo de água.

Para as torres de arrefecimento por evaporação existem 2 tipos principais de torres de arrefecimento: *Counterflow* e *Crossflow* (Figura 7).

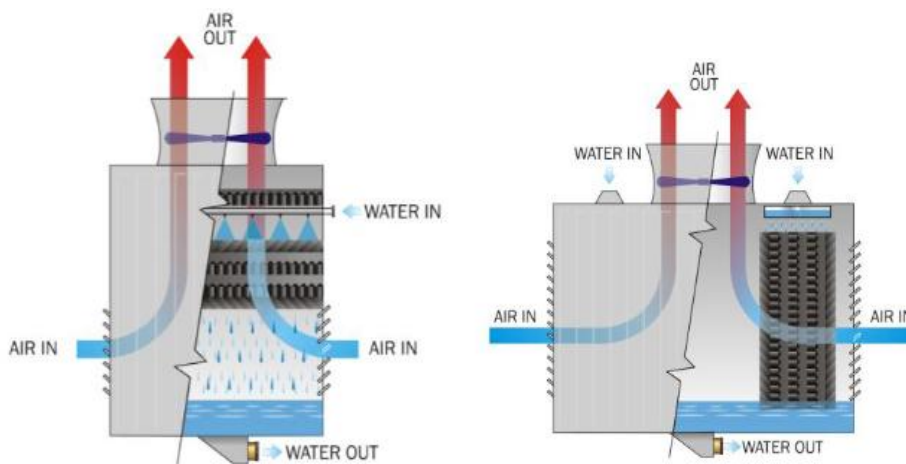


Figura 7 – Torre de Arrefecimento *Counterflow* (esquerda) e *Crossflow* (direita) [23].

Para o primeiro caso, as torres *Counterflow*, o ar é extraído verticalmente ao longo da torre com auxílio de um ventilador na parte superior, como se pode verificar na Figura 7 (à esquerda). À medida que água entra na parte superior da torre, esta é pulverizada para um material chamado de enchimento. A função do material de enchimento é distribuir a água quente por uma superfície mais ampla que origina um

contacto maior com o ar. A água escorre pelos lados do enchimento e o ar flui na posição oposta, onde parte da água é evaporada.

Para as torres *Crossflow* o ar é extraído horizontalmente ao longo da torre por ventiladores e a água desce verticalmente. Este design permite uma transferência de calor eficiente e fácil acesso para manutenção.

No que diz respeito ao tipo de mecanismo de movimentação de ar, as torres podem ser classificadas em 2 grupos principais: tiragem mecânica induzida e tiragem mecânica forçada (Figura 8).

A tiragem mecânica induzida utiliza uma topologia onde os ventiladores ficam situados na parte superior da torre, proporcionando um fluxo de ar constante. Para a tiragem mecânica forçada, os ventiladores ficam situados na parte lateral da torre onde empurram o ar para dentro do sistema. O tipo de *design* da tiragem mecânica forçada é vantajoso para instalações onde a altura de montagem da torre de arrefecimento é uma restrição [23].

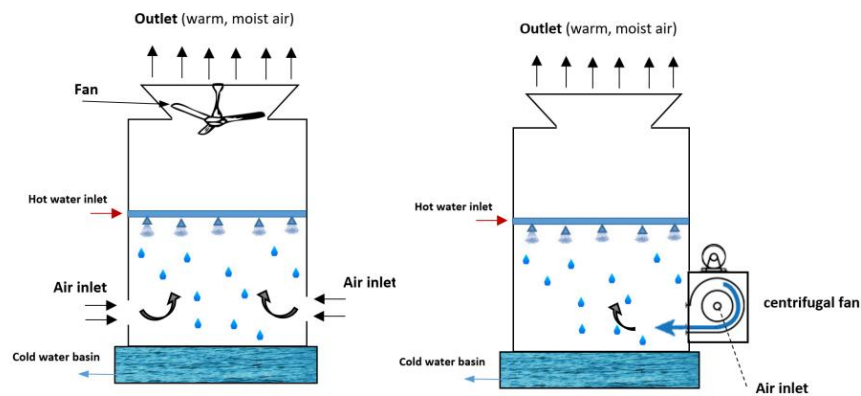


Figura 8 – Torre com tiragem mecânica induzida (esquerda) e forçada (direita) [22].

A escolha e a gestão adequada destes sistemas são determinantes para otimizar os processos industriais e reduzir a pegada carbónica da indústria.

3 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

No presente capítulo é feita uma breve introdução ao grupo SRAM e à empresa SRAMPORT onde foi desenvolvido o projeto. Em seguida, são descritos os produtos do grupo e o processo produtivo em Portugal.

3.1 SRAM

A SRAM é uma empresa exclusivamente dedicada à produção de componentes para bicicletas. Foi fundada em 1987 em Chicago, nos Estados Unidos, por três amigos, Scott, Ray e Sam, que deu origem ao acrónimo SRAM.

A empresa estreou-se no mercado em 1988 com um único produto, o *Grip Shift* (Figura 9), que representava um novo sistema de mudanças que permitia alterar a velocidade sem retirar as mãos do guidador. Esta nova tecnologia foi adaptada para bicicletas de montanha em 1991.



Figura 9 – Representação do *Grip Shift* [24].

Após o êxito do produto *Grip Shift*, a SRAM continuou a inovar com a aquisição de novas marcas e novos produtos. O primeiro investimento estratégico da empresa foi realizado em 1997 com a compra do segmento de bicicletas à empresa Fichtel & Sachs. Esta empresa dedicava-se à produção de correntes e engrenagens.

Em 2002, a SRAM adquiriu a marca ROCKSHOX, sendo um fabricante de suspensões altamente reconhecido em todo o mundo. Dois anos mais tarde, obteve as marcas AVID e TRUVATI, reconhecidas pelo fabrico de travões com discos hidráulicos e sistemas de transmissão e pedais.

Entre 2007 e 2011, a SRAM obteve as empresas ZIPP e QUARQ, em que a primeira empresa dedicava-se à produção de rodas para todos os tipos de bicicletas, enquanto a segunda empresa, dedica-se à produção de equipamentos que monitorizam a potência originada no ato de pedalar.

Entre 2012 e 2019, a SRAM lançou novos produtos e tecnologias que renovaram o mercado, como novos tipos de corrente e desviadores por Wi-Fi.

Em 2021, a SRAM adquiriu a empresa TIME que representa toda a gama de pedais, sapatilhas e patentes relacionadas com a Time Sport.

Por fim, em 2022, uma empresa líder em tecnologia para ciclismo, Hammerhead, começou a fazer parte do grupo SRAM [25].

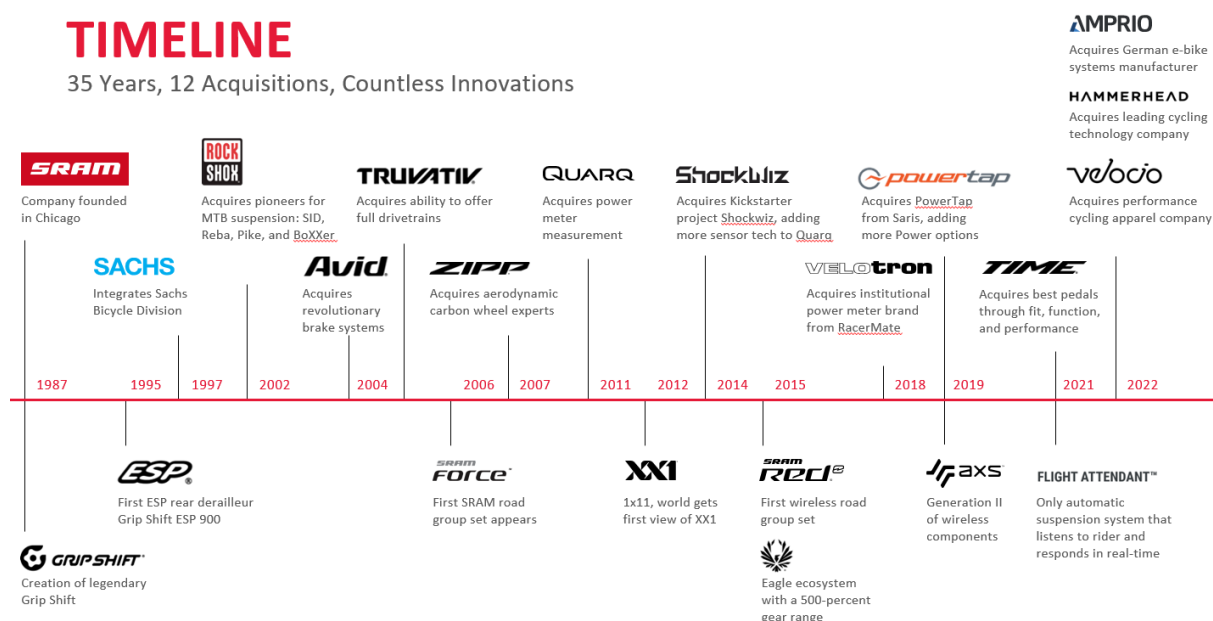


Figura 10 – Representação Temporal na Aquisição de Marcas e Novo produtos. (Imagem cedida pela empresa)

A Figura 10, apresenta as marcas adquiridas ao longo do tempo pela SRAM, bem como a inovação de novos produtos e parcerias.

Atualmente a SRAM encontra-se espalhada por todo o mundo, tendo mais de 5000 colaboradores em 20 localizações diferentes distribuídas por 10 países (Figura 11). Além disso, a SRAM está envolvida em 2 projetos a nível mundial, SRAM *Cycling Found* e *World Bicycle Relief*.

O projeto SRAM *Cycling Found*, consiste numa visão para incentivar a prática do ciclismo, onde são investidos atualmente um milhão de dólares na América do Norte e na Europa. A maior parte deste investimento é direcionado para *Mountain Bike* e *Road Bike*, com a realização de trilhos e infraestruturas para a prática da modalidade.

O Projeto *World Bicycle Relief* é um projeto humanitário, onde as comunidades em países menos desenvolvidos são equipadas com bicicletas como meio de transporte para terem acesso à educação, cuidados de saúde, comércio, entre outros serviços [26].

Na Figura 11, é possível verificar as localizações do grupo SRAM e do projeto humanitário.



Figura 11 – Localização Geográfica do grupo SRAM e *World Bicycle Relief*. (Imagem cedida pela empresa)

3.2 SRAMPORT

A SRAMPORT foi criada em 1968 na Pedrulha em Coimbra, cuja atividade era direcionada para a produção de transmissões mecânicas para o setor automóvel.

Inicialmente, a empresa pertencia a duas entidades, à Peugeot e a um empresário português, Armando Simões. A empresa era conhecida como TRANSMECA.

Em 1980, a Peugeot tornou-se o único proprietário da empresa, pois detinha todas as ações. Sete anos depois, a Fichtel & Sachs (Mannesmann), uma empresa produtora de componentes para automóveis, motociclos e bicicletas obteve a totalidade da Transmecca. Por fim, em 1997, a SRAM comprou o segmento das bicicletas à empresa Fichtel & Sachs, o qual, começou a fazer parte do grupo SRAM.

Em 2008, foi concluído o processo de mudança de nome para SRAMPORT - Transmissões Mecânicas, Lda (Figura 12).



Figura 12 – Sede da SRAMPORT – Transmissões Mecânicas, Lda. (Imagem do autor)

Adicionalmente, a SRAMPORT é certificada pela entidade APCER com a certificação de sistemas de gestão de Qualidade (ISO 9001) e certificação de sistemas de gestão ambiental (ISO 14001). Com o desenvolvimento e produção de novos produtos, estas normas trazem confiança e reconhecimento perante os clientes, com um crescimento estratégico e sustentável.

3.3 Produtos da SRAM

Na última década, a SRAM tem vindo apostar na inovação e aquisição de novos produtos para o mercado. Atualmente, é responsável pela produção de quase todos os componentes de uma bicicleta, à exceção do quadro e do selim.

No anexo I, estão representadas as diferentes marcas que o grupo SRAM tem vindo a adquirir, bem como os produtos que representam.

3.4 Produtos da SRAMPORT

Na atualidade, a SRAMPORT é responsável pela produção de correntes, cubos, rodas e pedais (Figura 13). No entanto, a produção de correntes destaca-se em comparação com os outros produtos, visto que, são produzidos milhares de metros de corrente todos os dias.



Figura 13 – Representação dos produtos da SRAMPORT. (Imagem cedida pela empresa)

A SRAMPORT, oferece uma ampla variedade de correntes, sendo divididas pelo número de velocidades, desde uma, sete, oito, nove, dez, onze e doze velocidades. Dentro de cada velocidade, à exceção da de uma velocidade, existem vários tipos de gamas com especificações e acabamentos diferentes, para estarem de acordo com as exigências dos clientes. As correntes produzidas na SRAMPORT são constituídas pelos mesmos componentes básicos que são caracterizadas por: placas exteriores, placas interiores, rolos e eixos (Figura 14).

O que difere uma corrente da outra, é o tipo de tratamento térmico e acabamento de superfície a que foram sujeitas. Em relação ao tipo de eixo, este pode ser eixo oco (*Hollow pin*) ou eixo sólido (*Solid pin*). No entanto, para juntar a corrente são utilizados dois tipos de elos. Os *Power Links*, para correntes de uma, sete, oito e nove velocidades e os *Power Locks*, para correntes de dez, onze e doze velocidades.

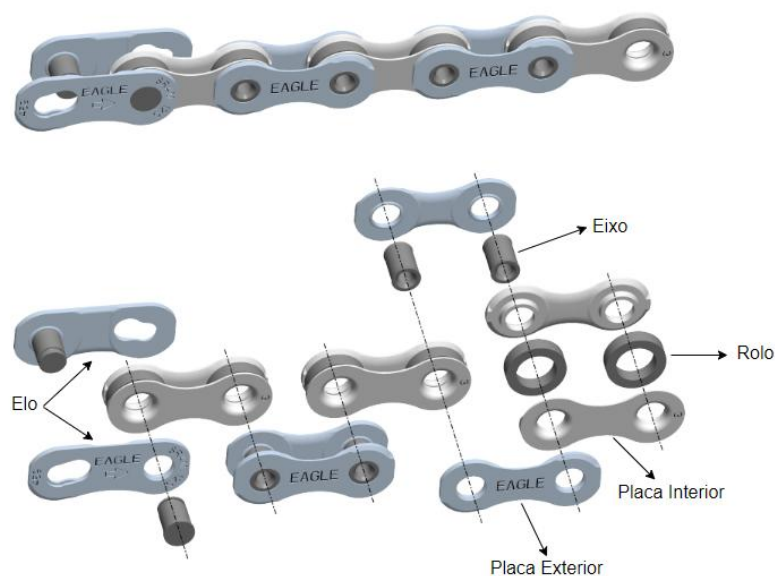


Figura 14 – Componentes de um corrente Eagle. (Imagem cedida pela empresa)

3.5 Fluxo Produtivo da SRAMPORT

O fluxo produtivo numa indústria desempenha um papel fundamental na eficiência, que visa alcançar o melhor trajeto possível desde a entrada da matéria-prima até à confeção do produto final.

Na SRAMPORT, o fluxo produtivo para a produção de correntes pode ser dividido em 3 setores principais: CRT (Setor de Cortes), TT (Tratamento Térmico e de Superfície) e MTG (Montagem). Na Figura 15 é possível verificar o fluxo produtivo, bem como os setores que o compõem.



Figura 15 – Representação do fluxo produtivo da SRAMPORT. (Imagem do autor)

3.5.1 Setor de Cortes

O Setor de Cortes é constituído por 3 secções: SER (Serralharia), CIS (Cisalhamento) e DPE (*Découpage Pressage Emboutissage*). A secção da serralharia tem a função de providenciar as máquinas e equipamentos necessários para a reparação e manutenção de certos utensílios, que são utilizados nos setores acima descritos.

Na secção das CIS, ocorre a produção de eixos sólidos (*Solid pin*). A matéria-prima é fornecida em bobines de arame com determinada espessura e a sua transformação é realizada com recurso a máquinas rotativas que cortam o arame com determinado comprimento. Em relação aos eixos ocos (*Hollow pin*), estes são adquiridos na sua forma final e são encaminhados para o setor TT.

Na secção das DPEs, ocorre o processo da estampagem onde a matéria-prima é transformada. Inicialmente, a matéria-prima é entregue em bobines de aço laminado, e são utilizadas prensas de grandes dimensões para realizar o corte e perfuração da liga de aço. À medida que a liga de aço vai avançando pela prensa, o corte é feito progressivamente, dando origem a placas exteriores e interiores. Atualmente, a

empresa possui 9 prensas à disposição para a produção de placas, cada uma das quais tem especificações diferentes. Uma das características que as distingue é o número de placas que produzem por golpe e a velocidade de produção.

Relativamente aos rolos, estes são obtidos na sua forma final, sendo submetidos a tratamentos térmicos para aumentarem a dureza e fiabilidade do produto.

Na Figura 16 é possível verificar as secções onde decorre a transformação da matéria-prima (eixos e placas), nomeadamente, a secção CIS e DPEs.



Figura 16 – Representação da Secções CIS e DPE. (Imagem cedida pela empresa)

3.5.2 Tratamento Térmico e de Superfície

O Setor de Tratamento Térmico e de Superfície é constituído por 14 secções (Anexo II), no entanto, vou somente ser referidas as mais relevantes. Após o setor de corte, as peças são direcionadas para a secção da BAR (Bariagem), onde é realizada uma lavagem com produtos químicos para a remoção de rebarbas e óleo deixado pelo processo de estampagem. Na atualidade, a secção da Bariagem é composta por 8 tambores, sendo as peças de aço colocadas dentro de cada tambor com auxílio de uma ponte rolante. Esta ponte rolante, tem a função de auxiliar o transporte dos lotes para o respetivo tambor. Na Figura 17 é possível visualizar a zona da secção da Bariagem, bem como, os equipamentos utilizados.



Figura 17 – Representação da Secção BAR. (Imagem cedida pela empresa)

Depois do processo de Bariagem, as peças de aço são encaminhadas para as seguintes secções: TTD, FCH ou CTC.

As 3 secções têm o mesmo objetivo, que assenta no aumento da dureza e da resistência do material. O que difere de uma secção para outra é o tipo de forno utilizado e o método de tratamento.

A secção dos TTD, é composta por 13 fornos, dos quais, 5 são a gás e 8 são elétricos. Estes são responsáveis pelo tratamento das placas, rolos e principalmente dos eixos. O processo é iniciado com o carregamento das peças de aço para o interior da “retorta” juntamente com produtos químicos, nomeadamente, Alumina, Crómio e Cloreto de Amónio. À junção destes produtos químicos, dá-se o nome de Cemento, que é fechado juntamente com as peças de aço dentro da “retorta” com o auxílio de um “bujão”.

Após o carregamento da “retorta”, esta é colocada dentro do forno onde tem de estar a uma temperatura elevada (890 °C), para iniciar o tratamento Delta. Depois do término do tratamento Delta, a “retorta” é direcionada para uma banca de arrefecimento, a qual fica em constante rotação até o material arrefecer. Em seguida, é efetuado o descarregamento da “retorta” onde o material é separado do Cemento.

A Figura 18, representa a zona dos TTD e os fornos que a constituem para realizar o tratamento térmico das peças de aço.



Figura 18 – Representação da Secção TTD. (Imagem cedida pela empresa)

A secção dos FCH é composta por 5 fornos, os quais, 2 são a gás e os restantes são elétricos. Nesta secção é efetuado o tratamento térmico de eixos e rolos, o qual pode ser realizado por 2 tipos de tratamento, têmpera e cementação.

Ao contrário dos fornos TTD, os fornos FCH estão ligados a uma estrutura fixa onde o forno fica móvel, ou seja, permite inclinar o forno para cima ou para baixo, consoante a etapa do tratamento. Além disso, o forno é constituído por uma “retorta” que está acoplada à estrutura do forno e por um “cesto” que está inserido num banho.

O processo tem início no carregamento das peças de aço para o interior de um “balde”. Nesta altura o forno tem de estar na posição de “carregamento” e à temperatura da gama. Com recurso a uma ponte rolante, o “balde” é elevado até à abertura da “retorta” onde é realizado o descarregamento do material. De seguida, o forno vai para a posição “nivelado” onde, é realizado o tratamento de têmpera ou cementação. Após o fim do tempo de tratamento, dá-se início à etapa de descarregamento das peças de aço. Nesta etapa, o material cai gradualmente para dentro do “cesto” que se encontra dentro do banho. Este banho pode ser a água ou a óleo, dependente do tipo de peça a tratar.

Na Figura 19 é possível observar as estruturas dos fornos, bem como os equipamentos utilizados para o tratamento térmico (“balde” e “cesto”).



Figura 19 – Representação da Secção FCH. (Imagem cedida pela empresa)

Na Secção dos CTCs, os fornos são caracterizados por serem linhas contínuas de tratamento onde pode ser realizado tratamento de têmpera e cementação.

Atualmente, a empresa está equipada com 3 CTCs que são utilizados para efetuar o tratamento térmico de placas exteriores e placas interiores. O CTC 1 e CTC 2, são dois fornos industriais a gás e o CTC 3 é um forno industrial elétrico. Cada forno é constituído por um forno têmpera, banho polímero, máquina de lavagem e secagem e por um forno revenido.

Concluídos os tratamentos térmicos, as peças são enviadas para o setor da montagem (MTG) ou para a secção da niquelagem (NIQ). Na secção da Niquelagem, as placas são submetidas a um tratamento de superfície onde é melhorado o aspeto físico das placas, bem como a sua resistência à corrosão. Este tratamento é destinado para correntes topo de gama (Eagle/Flat Top).

3.5.3 Montagem

Completado o processo TT, as placas (exteriores e interiores), rolos e eixos são direcionados para o setor da Montagem (MTG). No setor MTG, é onde decorre o processo de *assembly* da corrente, *Power Links* e *Power Locks*.

A corrente é montada na linha de montagem (CHC); o processo tem início no carregamento das “cubas” com o respetivo material (placas, rolos e eixos). Com recurso a “ventiladores”, o material é enviado por tubagens flexíveis para o “alimentador” de cada “módulo”. Cada linha CHC, é composta por 7 módulos, na qual, cada um tem a sua função. O processo tem início no “módulo 25” que fornece as placas exteriores. Após a passagem do “módulo 25”, são colocados 2 eixos em cada placa exterior, provenientes do “módulo 23”. De seguida, a corrente segue até ao “módulo 30”, o qual tem a função de colocar a placa interior por cima da placa

exterior. Logo a seguir, são colocados os rolos em cada eixo, provenientes do “módulo 40”. Após a passagem pelo “módulo 40”, é colocada uma placa interior (módulo 50) e uma placa exterior (módulo 60), dando origem ao formato final da corrente (Figura 14). Por fim, no “módulo 70”, é realizada uma ligeira rebitagem na corrente.

Na saída da CHC (Figura 20), a corrente segue para os seguintes postos: RDP, CTG, VIS, PPR, LUB e para máquina de corte de corrente. No posto RDP é realizada a rebitagem de deformação progressiva, em que a corrente é rebitada por cima e por baixo. Em seguida, passa pela máquina CTG, na qual, é efetuado o tensionamento da corrente, e que tem como principal objetivo encontrar pontos duros na corrente. Após a passagem pelo tensionamento, a corrente é direcionada para o sistema de visão (VIS) que desempenha um papel fundamental no controlo da corrente. Este sistema utiliza 3 câmaras para visualizar a corrente por cima, por baixo e de lado, no qual, é utilizado o programa *Sherlock Vision*, que aplica algoritmos de controlo de imagem para verificar se os parâmetros da corrente estão de acordo com a corrente padrão.

A PPR, consiste numa prensa de pequenas dimensões que serve para a reparação da corrente, ou seja, caso haja algum erro detetado no sistema de visão, como por exemplo, placa virada ao contrário, é utilizada a PPR para abrir a corrente e voltar a fechar novamente.

A LUB, consiste numa lubrificadora que tem a função de lubrificar a corrente. No entanto, nem todas as correntes são lubrificadas, dependendo do modelo.

Em seguida, a corrente segue para o posto de corte de corrente ou para a bobinadora. No posto de corte de corrente, a corrente é cortada consoante as respetivas velocidades, enquanto na bobinadora a corrente é enrolada numa bobine sem ser cortada.



Figura 20 – Linha de Montagem CHC. (Imagem cedida pela empresa)

Após a montagem da corrente, esta é direccionada para a secção da embalagem (EMB). Nesta secção, é realizado o embalamento unitário da corrente, ou seja, uma única corrente é colocada dentro de uma caixa da respetiva velocidade e modelo.

No que diz respeito às bobinas, estas são enviadas na sua forma final para os clientes fazerem o corte da corrente.

4 APRESENTAÇÃO DO SISTEMA INICIAL

Neste capítulo é apresentado o sistema inicialmente instalado, o seu funcionamento e os problemas identificados.

4.1 Sistema Preexistente

O sistema existente na SRAMPORT tinha como principal função realizar o arrefecimento de sistemas críticos que se localizam no interior da fábrica. Estes sistemas são constituídos por dois fornos industriais a gás, um forno industrial elétrico, duas linhas de niquelagem e uma prensa.

O sistema era composto por duas torres de arrefecimento, nomeadamente TCE-75 e TLA-72E (Ver Anexo III), oito bombas centrífugas e dois tanques subterrâneos (Figura 21).

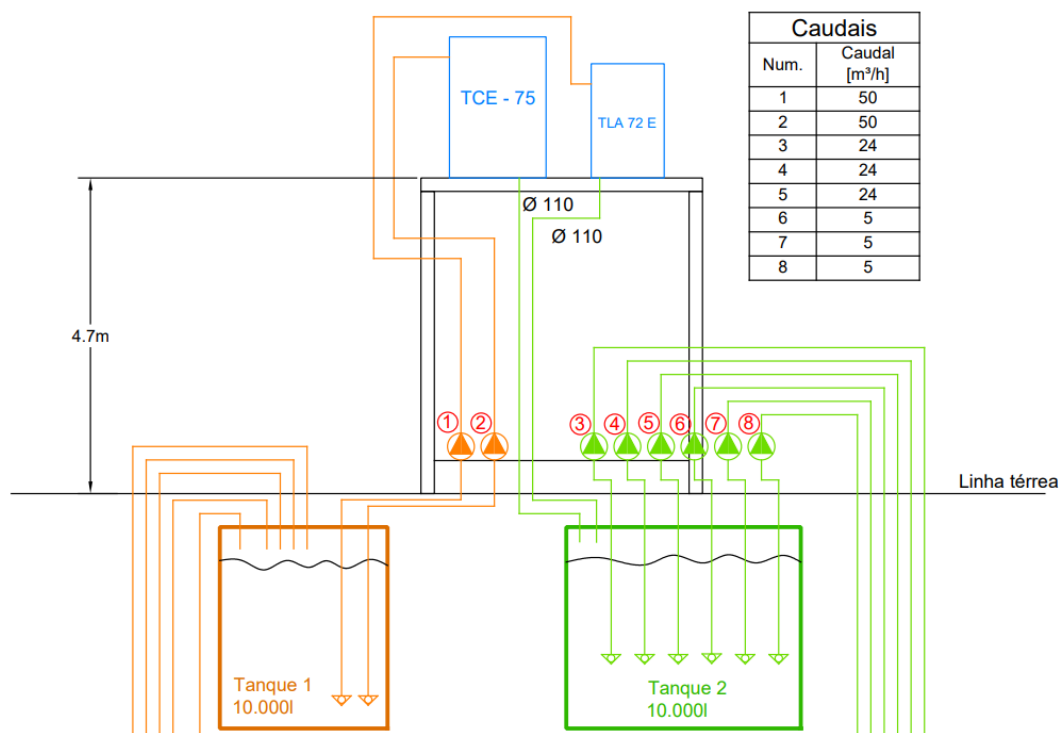


Figura 21 – Esquema com duas torres instaladas (Imagem cedida pela empresa)

O tanque 1 era responsável por armazenar a água quente proveniente dos sistemas críticos, sendo direcionada para as torres de arrefecimento, por meio de duas bombas centrífugas posicionadas junto ao tanque 1. Após a passagem da água pelas torres, e consequente a diminuição da temperatura, a água era direcionada para o tanque 2 (água fria), pela ação da gravidade. Concluído este ciclo, a água era novamente conduzida para dentro da fábrica através das bombas centrífugas de cada sistema crítico.

4.2 Descrição dos Sistemas Críticos

4.2.1 Fornos Contínuos

Os sistemas críticos requerem arrefecimento constante para funcionarem corretamente. Estes sistemas são designados por:

- Dois Fornos industriais a gás (CTC 1 e CTC 2).
- Um Forno industrial elétrico (CTC 3).
- Duas Linhas de Niquelagem (Niq 1 e Niq 2).
- Uma Prensa (Haulick).

O CTC 1 e o CTC 2 são duas linhas de fornos contínuos, que são constituídos por um forno de têmpera, um banho de polímero, um sistema de lavagem e secagem e por um forno de revenido (Figura 22).



Figura 22 – Representação das Linhas CTC 1 e CTC 2. (Imagem cedida pela Empresa)

O forno de têmpera de cada CTC é responsável pelo tratamento térmico das peças em aço, que pode consistir em têmpera ou cementação, consoante o tipo de peças. O processo é iniciado na entrada do forno, em que as peças são colocadas dentro de um contentor. Por baixo do contentor, existe um tapete vibrador através do qual as peças vão caindo gradualmente para dentro de uma balança até chegar ao peso recomendado da gama.

Após ter chegado ao peso recomendado, as peças são depositadas num “balde” que está acoplado a um elevador. Este elevador deposita o material diretamente no

interior da 'retorta' de cada CTC. Por meio de movimentos rotativos, as peças percorrem o forno de têmpera até alcançarem o final, onde são submetidas a temperaturas elevadas, que podem atingir os 890 °C.

Após o tratamento de têmpera ou cementação, o material é direcionado para um banho de polímero, à saída da “retorta”. A temperatura do banho deve ser inferior 30°C, caso contrário, o forno interrompe o processo e desliga o elevador que carrega as peças para dentro da “retorta”. Para manter a temperatura nas condições ideais, os fornos CTC1 e CTC2 estão equipados com um permutador de calor de placas para efetuar a diminuição da temperatura, tanto no banho de polímero como em algumas extremidades do forno de têmpera. O permutador de calor é abastecido pelo sistema de arrefecimento.

Após a passagem pelo banho de polímero, as peças são enviadas para o sistema de lavagem e secagem com recurso a um tapete magnético. Nesta fase é realizada a lavagem e secagem para retirar o desgordurante deixado pelo banho de polímero.

Logo após este procedimento, as peças seguem para o forno revenido que tem como função realizar a última etapa de têmpera. Para este caso, são utilizadas temperaturas inferiores que podem variar entre 190°C e 260°C. Depois de passarem pelo forno revenido, são enviadas para um contentor que se encontra no final da linha de produção.

O CTC 3 é um forno industrial elétrico de grandes dimensões, que é constituído por um forno de têmpera, um banho de polímero, um sistema de lavagem e secagem e um forno revenido. Este forno foi instalado recentemente e ao contrário dos fornos a gás (CTC 1 e CTC 2), o aquecimento do CTC 3 é realizado através do controlo de resistências elétricas e a Gás (Figura 23).



Figura 23 – Representação da Linha CTC 3. (Imagem cedida pela empresa)

O funcionamento do CTC 3 é semelhante ao dos fornos CTC 1 e CTC 2. No entanto, tem algumas diferenças, como, por exemplo, no abastecimento de peças na entrada do forno. Este abastecimento é realizado por um tapete vibrador, cujas peças vão caindo gradualmente para cima de um tapete rolante. O tapete rolante funciona com velocidade constante, e tem a função de transportar as peças ao longo do forno de têmpera. O forno de têmpera está dividido em 7 zonas para elevar a temperatura das peças progressivamente até chegar à temperatura de tratamento (860°C/890°C).

Após este ciclo, as peças são enviadas para o banho de polímero, onde é realizado o choque térmico de forma controlada. A temperatura do banho de polímero é arrefecida através de um permutador de calor de placas tal como nos fornos CTC 1 e CTC 2. Ao contrário do CTC 1 e 2, o CTC 3 tem uma electroválvula modular, que abre ou fecha consoante a necessidade de arrefecimento do forno.

Depois da passagem no banho de polímero, as placas seguem para o sistema de lavagem e secagem para retirar o desengordurante deixado pela etapa anterior. Por fim, as placas são direccionadas para o forno revenido, semelhante ao processo dos fornos a gás.

4.2.2 Linhas de Niquelagem

O Sistema de Niquelagem (Niq1 e Niq2) é um processo utilizado para aumentar a resistência contra a corrosão e para melhorar o aspeto visual das placas. Normalmente, as placas que recebem o tratamento de niquelagem são destinadas para correntes de alta qualidade, ou seja, correntes de topo de gama (Eagle).

As linhas Niq1 e Niq2 são unidades individuais constituídas por 11 tanques, onde cada tanque pode ter até 5 tinas. Cada tanque representa um “banho” onde as placas são mergulhadas em produtos químicos. Para este caso é utilizado um carro transportador de tambores, o qual tem a função de carregar as peças e de as mergulhar nos respetivos banhos (Figura 24).



Figura 24 – Representação da Linha Niquelagem 1 e 2 [27].

A primeira etapa do tratamento consiste no carregamento das placas para o interior do tambor para iniciar o procedimento de niquelagem. Após o carregamento do tambor, o carro move-se para as tinas 3 e 4, nas quais é realizado um banho de desgorduramento químico na tina 3 e na tina 4 um banho de desgorduramento eletrolítico. Na tina 4 são utilizados barramentos elétricos acoplados à tina que conduzem corrente elétrica para preparar a superfície da placa. A passagem de corrente elétrica no banho, origina o efeito de Joule por causa da resistência do banho, a qual provoca um aumento de temperatura do banho para valores críticos, prejudiciais às tinas de polipropileno. Para controlar a temperatura desta tina é utilizada uma serpentina, alimentada com água fria do sistema de arrefecimento, para arrefecer o banho.

Em seguida, o carro move-se para as tinas 5, 6 e 7, onde é realizada uma lavagem em cascata de desgorduramento das placas. Após este processo, o carro passa pela tina 8, a qual é constituída por um banho de sais ácidos, com o intuito de preparar a superfície das placas para receber o tratamento de níquel.

Logo após a etapa da tina 8, o carro vai para as tinas 9, 10 e 11, onde é executada uma lavagem dos sais ácidos, com lavagens dos sais ácidos nas tinas 9 e 10, e uma lavagem sulfúrica na tina 11.

De seguida, o carro é direcionado para as tinas de níquel, tinas 15 a 20, onde ocorre o revestimento de níquel das placas.

Após o tratamento de níquel, as placas são encaminhadas para as cascatas de lavagem de níquel, tinas 14, 13, e 12, onde são lavadas progressivamente, de forma a retirar vestígios do tratamento.

4.2.3 Prensa Haulick

A Prensa Haulick representa a primeira etapa no processo de produção na zona das peças soltas (DPE) (Figura 25). De acordo com a sequência de produção, as prensas desempenham um papel fundamental na transformação da matéria-prima, pois é nelas que as ligas de aço são transformadas em placas exteriores e interiores.



Figura 25 – Prensa Haulick. (Imagem cedida pela empresa)

O processo é iniciado com o carregamento do desenrolador, no qual é inserida a bobine com a liga de aço. De seguida, a liga de aço é inserida no endireitador que tem a função de alinhar o aço para o interior da prensa. À medida que o aço vai avançado, ocorre o processo de estampagem na prensa com recurso a 4 módulos que fazem as placas interiores e exteriores.

Ao contrário das outras prensas, o sistema de lubrificação de óleo referente aos módulos é arrefecido com recurso a uma serpentina que se encontra perto da prensa. Esta serpentina utiliza a água proveniente do sistema de arrefecimento.

4.3 Funcionamento do Sistema Inicial

O controlo do sistema era realizado por um quadro elétrico que dispunha de um equipamento de corte geral (interruptor seccionador), equipamentos de proteção contra sobreintensidades, como disjuntores trifásicos, monofásicos e disjuntores-motor), cuja função era proteger bombas centrífugas, variadores de velocidade, PLC, entre outros equipamentos. O quadro também possuía um conjunto de contactores para controlar a alimentação das cargas através de um circuito de comando de forma segura.

O circuito de comando era controlado por um PLC (CJ2M-CPU31-OMRON®), que tinha como principal função acionar as saídas consoante a lógica programada, assim como receber sinais de entrada, como, por exemplo, sensores de temperatura, disjuntores-motores, pressostatos, entre outros sinais (Figura 26).

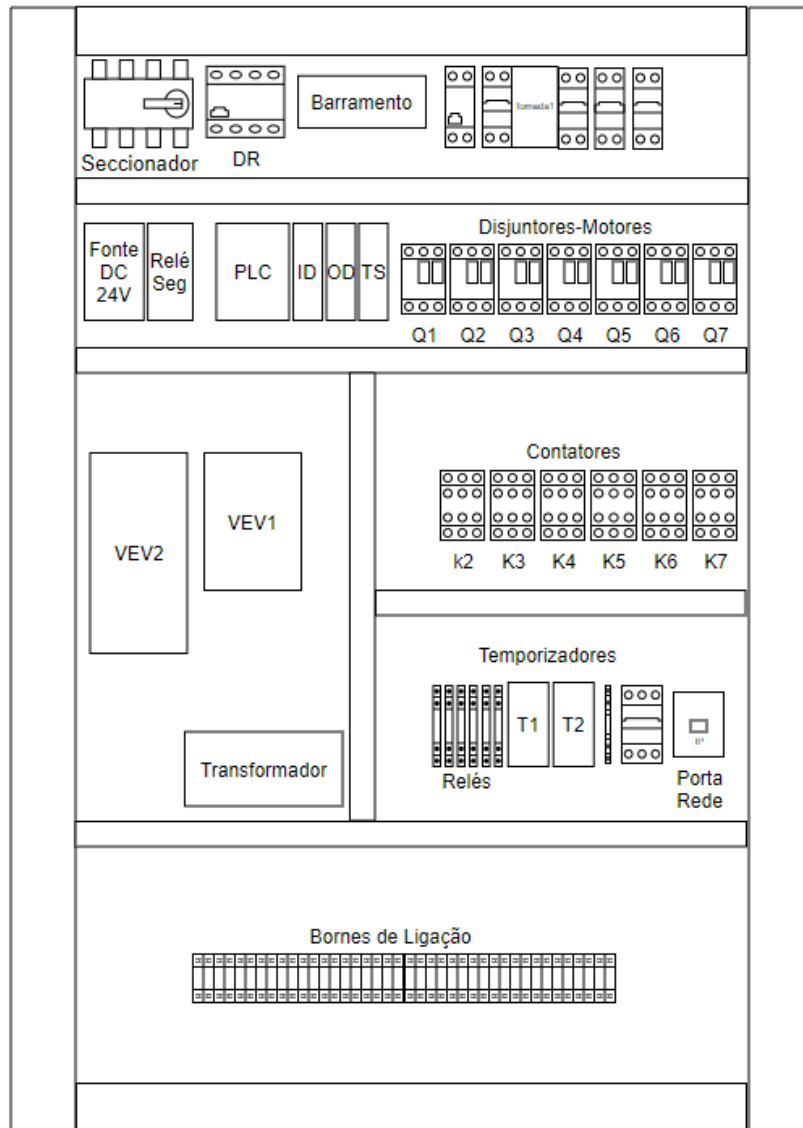


Figura 26 – *Layout* do Quadro Anterior. (Imagem do autor)

O funcionamento do sistema era comandado por uma interface HMI, através da qual era possível visualizar os estados de alguns equipamentos, temperaturas de cada tanque, os alarmes ocorridos e realizar operações como ligar/desligar os equipamentos.

O sistema operava em modo 'tudo ou nada', sendo o nível de água de cada tanque a principal variável de controlo. O nível de água era determinado pelo estado de três boias colocadas estrategicamente em cada tanque.

Para iniciar o processo de arrefecimento, o PLC verificava as condições iniciais de funcionamento, em que o nível mínimo de água quente tinha de estar ligado e o nível máximo de água fria tinha de estar desligado.

Reunidas as condições de funcionamento, as torres funcionavam até que, a água fria atingisse o nível máximo. Após atingir o nível máximo, as torres desligavam-se

durante um período e o ciclo reiniciava-se. O controlo do número de torres a funcionarem tinha de ser feito manualmente, através da HMI.

Uma das funcionalidades que o sistema apresentava, era o rearme automático em caso de falha de energia. Ou seja, este mecanismo era realizado através de dois temporizadores situados na parte inferior do quadro elétrico (Figura 26), que tinham a função de criar um pulso para acionar o botão de rearme, caso houvesse uma falha de energia menor que 5 segundos. Após o rearme, o sistema voltava a funcionar consoante a configuração anterior.

Além disso, o quadro elétrico também estava equipado com uma buzina para avisar em caso de alarmes extremos, como, por exemplo, falta de água nos tanques e falta de pressão nas linhas que alimentam o arrefecimento dos CTC 1 e 2.

4.4 Problemas Diagnosticados

Numa análise inicial ao sistema existente, foi possível identificar várias lacunas perante o seu funcionamento. Estes pontos negativos foram essenciais para desenvolver soluções que permitissem mitigar os problemas identificados. Uma das dificuldades que a estrutura já apresentava era a falta de capacidade de arrefecimento das torres, devido ao aumento de produção. Para acompanhar a evolução do mercado, a empresa decidiu aumentar a capacidade de produção com a instalação do novo forno elétrico (CTC 3). Como consequência, a temperatura dos tanques aumentou para valores que comprometiam o desempenho dos restantes sistemas.

Além disso, o sistema apresentava dificuldades durante o verão, devido ao aumento da temperatura ambiente. Isto é, à medida que a temperatura aumentava, a estrutura das torres absorvia mais radiação solar, reduzindo a eficiência do arrefecimento.

Além disso, outro fator que tem impacto no processo de arrefecimento é a humidade do ar, que desempenha um papel importante na eficiência das torres.

A solução adotada pela empresa para aumentar a capacidade de arrefecimento foi instalar uma terceira torre de arrefecimento. No entanto, a integração da terceira torre exigiu alterações no projeto elétrico e na lógica de funcionamento. Esta intervenção tinha como objetivo obter um sistema otimizado das três torres como um todo.

No que diz respeito à monitorização do sistema, o projeto apresentava uma grande lacuna nesse aspeto. Dado que existem equipamentos dependentes do arrefecimento, a monitorização tornou-se essencial para identificar e prevenir problemas que podem pôr em causa o funcionamento do sistema.

5 TRABALHO REALIZADO

Este capítulo apresenta o projeto desenvolvido na empresa para obter um sistema com controlo automático e monitorização das torres de arrefecimento. Os subcapítulos seguintes descrevem as etapas realizadas para elaboração do projeto.

5.1 Análise do Sistema de Arrefecimento

Numa primeira fase, foi realizado uma análise ao funcionamento do sistema para inserir a terceira torre de arrefecimento (TLA-133) (Figura 27). Esta análise foi fundamental para compreender os pontos que necessitavam de ser melhorados e para realizar um fluxograma do sistema.

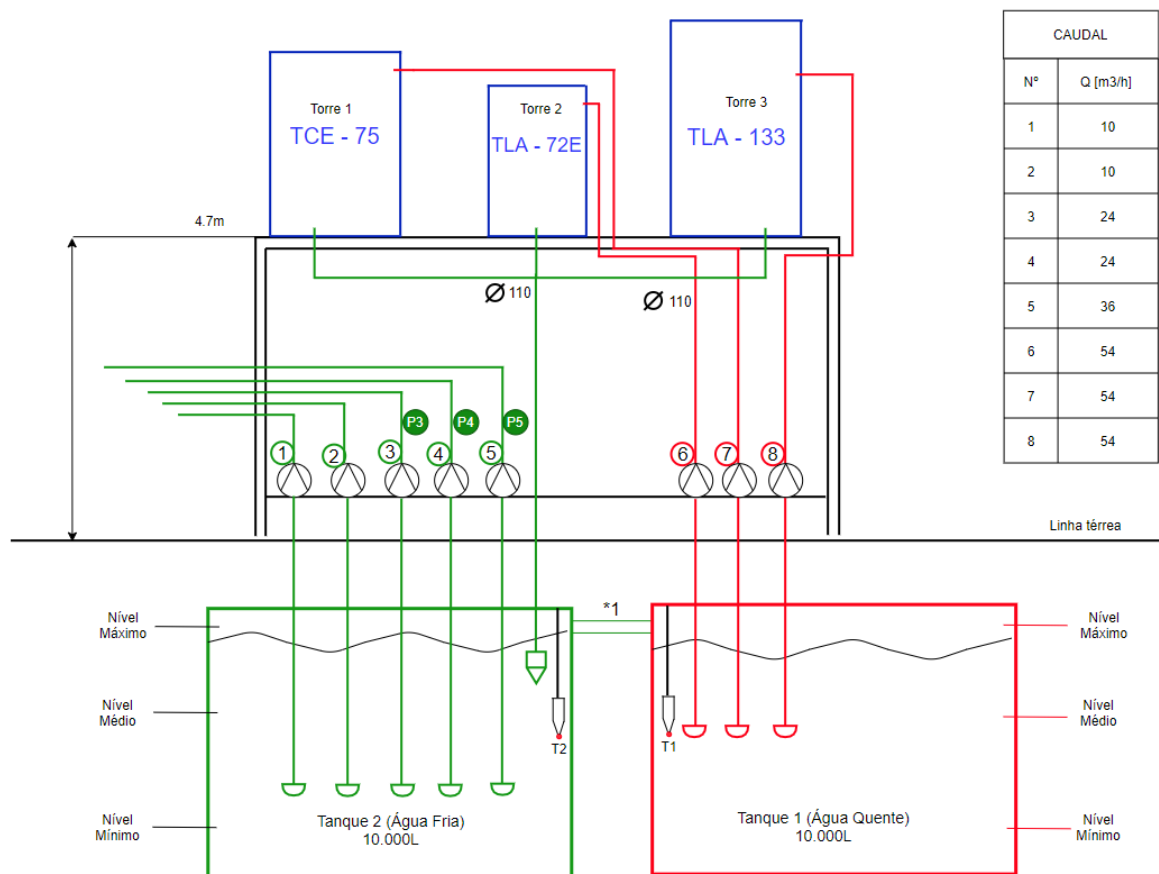


Figura 27 – Representação Esquemática com 3 torres instaladas. (Imagem do autor)

Como é possível verificar na Figura 27, o sistema é composto por 2 tanques subterrâneos, cada um com capacidade de 10000l. A função dos 2 tanques, já inicialmente instalados, é servir de “buffer” para o funcionamento do sistema. O tanque 1 é responsável por receber a água quente resultante dos processos produtivos dentro da fábrica, nomeadamente, os sistemas críticos. O tanque 2 tem

a função de armazenamento de água fria proveniente do processo de arrefecimento de cada torre.

Cada tanque é equipado com 3 boias de nível que desempenham um papel fundamental no funcionamento do sistema. As boias estão posicionadas em pontos estratégicos de cada tanque para monitorizar a altura da água, correspondendo aos níveis mínimo, médio e máximo. Além disso, para analisar a temperatura a que se encontra a água, cada tanque dispõe de duas sondas de temperatura (PT100).

Para direcionar a água fria para cada sistema crítico, são utilizadas 5 bombas centrífugas que retiram a água do tanque 2 e a enviam pelas respetivas tubagens (Figura 27). Cada bomba possui um caudal nominal ajustado às necessidades de cada sistema. Após a passagem pelos processos produtivos, a água sofre um acréscimo de temperatura devido à transferência de calor por meio de serpentinas e permutadores de calor de placas. Por fim, a água quente é direcionada novamente para o tanque 1 por meio de tubagens. O sistema possui uma topologia de malha fechada, com o percurso das tubagens devidamente identificado ao longo da fábrica. As tubagens com cor verde representam a água fria e as tubagens com cor vermelha, a água quente.

Para iniciar o processo de arrefecimento da água quente (tanque 1), cada torre é equipada com uma bomba centrífuga (Figura 27), que tem a função de elevar a água até à respetiva torre de arrefecimento. Após a passagem da água quente pela torre, e consequentemente a diminuição da sua temperatura, esta é direcionada para o tanque 2, através da gravidade, visto que as torres estão instaladas no topo de uma plataforma com 4,7m de altura.

Além disso, cada torre dispõe de um ventilador que tem a função de propiciar a extração do ar quente gerado durante o processo de arrefecimento. A velocidade deste ventilador é controlada através de um VEV, por intermédio do PLC.

5.2 Projeto Elétrico do Sistema

O esquema elétrico foi projetado e esboçado no *software QElectroTech*, como se pode verificar na Figura 28. O *QElectroTech* é um *software* gratuito que disponibiliza bibliotecas de componentes para elaboração de projetos elétricos. O projeto elétrico é a fase mais importante de um projeto industrial, pois garante a segurança e o seu correto funcionamento.

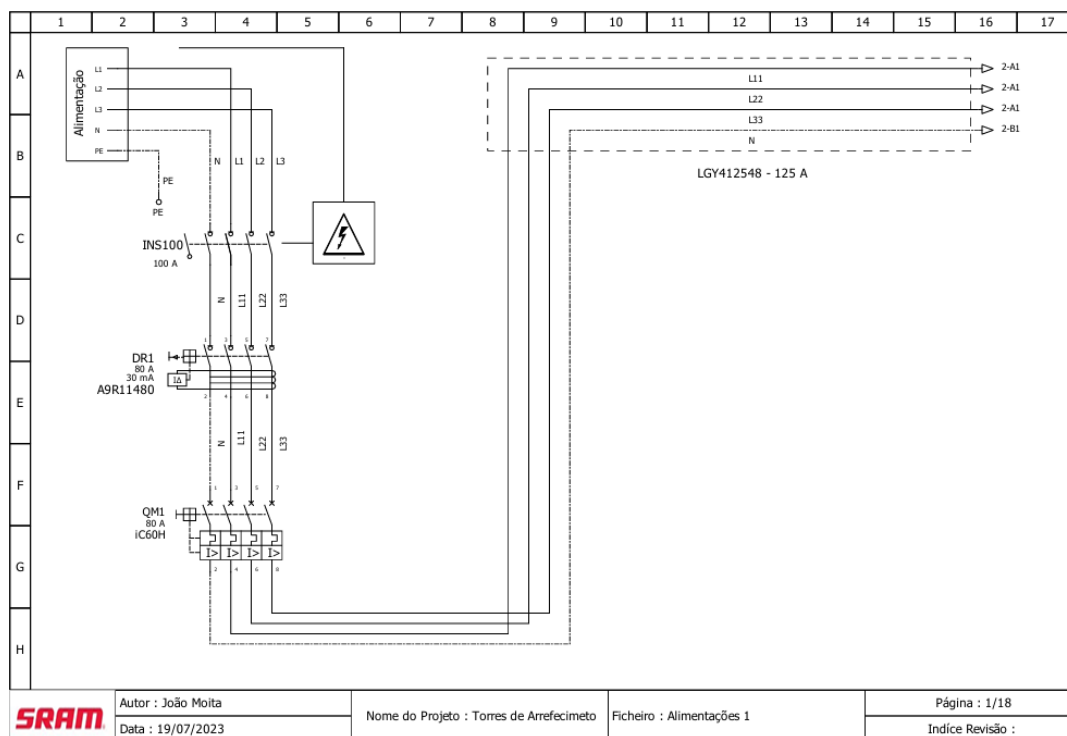


Figura 28 – *Software QElectroTech* esquema elétrico multifilar das torres de arrefecimento. (Imagem do autor)

Uma das primeiras etapas do projeto elétrico consiste em analisar os tipos de carga a serem alimentadas, a potência dos equipamentos e a aplicação de medidas de proteção contra sobreintensidades. A etapa seguinte envolve o dimensionamento de dispositivos, nomeadamente, seccionadores, disjuntores, disjuntor motor, contactores e a secção dos cabos. Por fim, é elaborado o esquema multifilar do projeto elétrico, incluindo os circuitos de potência, de comando e de segurança (ver Anexo IV).

O circuito de potência representa as cargas a serem alimentadas, nomeadamente, bombas centrífugas, variadores eletrónicos de velocidade, PLC, transformador e a fonte de alimentação 24V_{DC}. As bombas centrífugas e os variadores eletrónicos de velocidade são protegidos por disjuntores motor magnetotérmicos, nos quais é possível regular a proteção térmica. Os restantes equipamentos são protegidos por disjuntores de baixa intensidade, que asseguram a proteção de um pólo, como acontece com a fonte de alimentação de 24V_{DC}.

O circuito de comando é controlado a partir de um PLC (CJ2M-CPU33) da marca OMRON®. Este controlador está interligado com sensores (temperatura, bóias de nível, pressostatos, entre outros) e atuadores (contactores, electroválvulas e VEVs) sendo que todo o circuito de comando é alimentado por uma fonte de alimentação de 24VDC.

O circuito de segurança possui um relé de segurança, G9SE da OMRON®, que está ligado a uma entrada digital do PLC para habilitar o funcionamento do programa. Além disso, está interligado com o circuito de comando dos contactores, à botoneira de emergência e ao botão de rearme de forma a assegurar a proteção dos operadores.

Devido ao espaço ser reduzido no quadro existente (QP1), foi necessário instalar um segundo quadro (QP2), junto ao QP1, para partilhar a mesma alimentação (Figura 29).

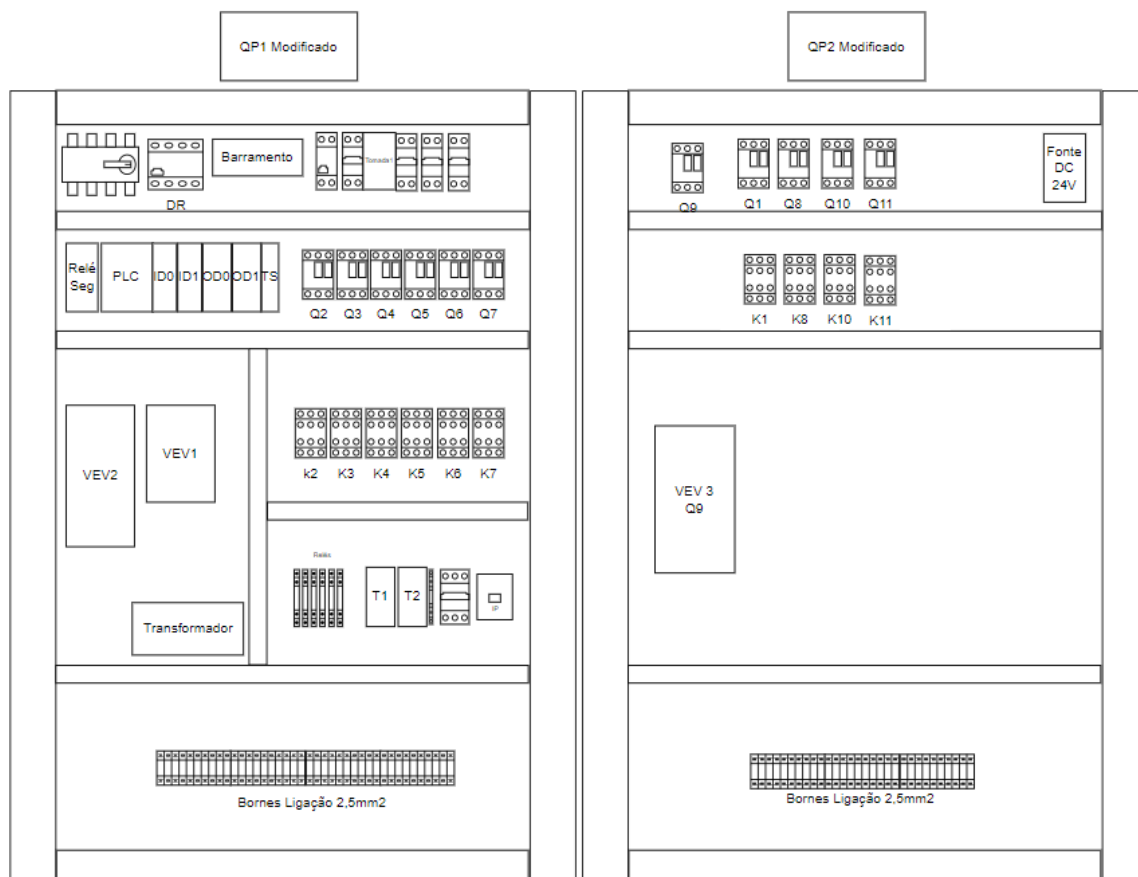


Figura 29 – Layout dos 2 quadros elétricos instalados. (Imagem do autor)

A Figura 29 representa o layout do QP2, com espaço disponível para futuras melhorias e instalação de novos equipamentos.

Adicionalmente, foi movido o controlo das bombas centrífugas da prensa Haulick e das linhas de Niquelagem para dentro do QP2. No sistema preexistente, este comando era realizado fora do quadro QP1 com o auxílio de um sistema de arranque

direto. Este arranque direto era controlado a partir de uma saída do PLC que acionava uma bobina de 24V_{AC} de cada contactor, por intermédio de um relé. Devido ao circuito de comando ser em maioria em corrente contínua, foi modificado o controlo de cada bomba de modo que os contactores sejam controlados a partir das saídas (24V_{DC}) do PLC.

5.3 Programação do Sistema de Arrefecimento

A automação do sistema foi realizada com o auxílio de um PLC da OMRON® (CJ2M-CPU33), responsável pela execução das tarefas com base nos estados das entradas e saídas. Neste caso, foi necessário aumentar a capacidade de processamento do PLC, tendo sido efetuada a atualização do CPU31 para CPU33.

A programação do sistema de controlo automático e da monitorização do sistema foi desenvolvida com recurso ao *Software CX-Programmer*. Este *software* permite programar em diversas linguagens de programação conforme foi referido na secção 2.4.

O programa foi desenvolvido recorrendo a uma combinação das linguagens LD e ST. A primeira foi utilizada para verificar os sinais de entrada, implementar temporizadores e acionar as saídas de acordo com a lógica programada. A segunda (ST) foi usada para controlar certos passos do modo automático, bem como realizar o registo de dados em estruturas apropriadas (Figura 30).

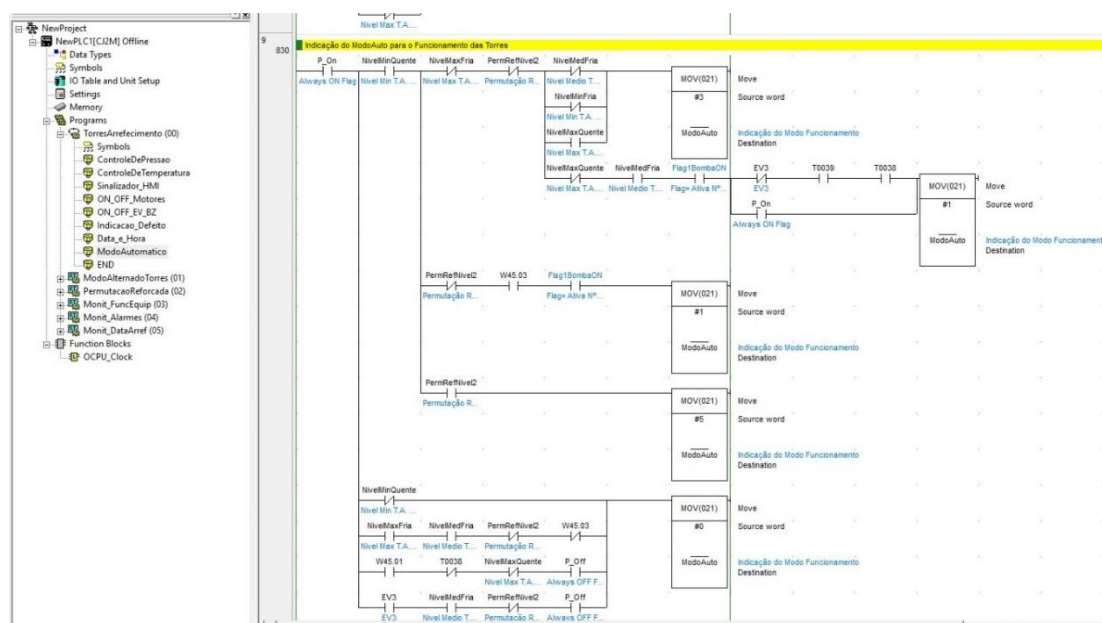


Figura 30 – Programa do Modo Automático no *CX-Programmer*. (Imagem do autor)

O sistema é constituído por 2 modos de funcionamento, um modo manual e um modo automático. No modo manual, o controlo das torres (VEV e bomba) é feito individualmente através da HMI. O operador tem de seleccionar manualmente a torre

que deseja que funcione, sendo esta operação constituída pelo acionamento do variador mais a respetiva bomba da torre. Neste modo, as torres mantêm-se em funcionamento até o nível máximo do tanque 2 (água fria) ser atingido. Ao receber esse sinal, o PLC desliga as torres até que o nível desça.

No modo automático, o controlo das torres (VEV e bomba) é realizado de forma autónoma, podendo funcionar em 3 modos: capacidade máxima, funcionamento alternado e permutação reforçada.

O modo de capacidade máxima é ativado quando o sistema está desequilibrado e precisa de restabelecer o seu funcionamento normal. Este desequilíbrio pode ocorrer em duas situações. A primeira situação representa quando o tanque 2 (água fria) só tem o nível mínimo ligado e necessita de mais água (Figura 31). Para isso, o sistema liga todas as torres disponíveis até o nível médio do tanque 2 ser acionado.

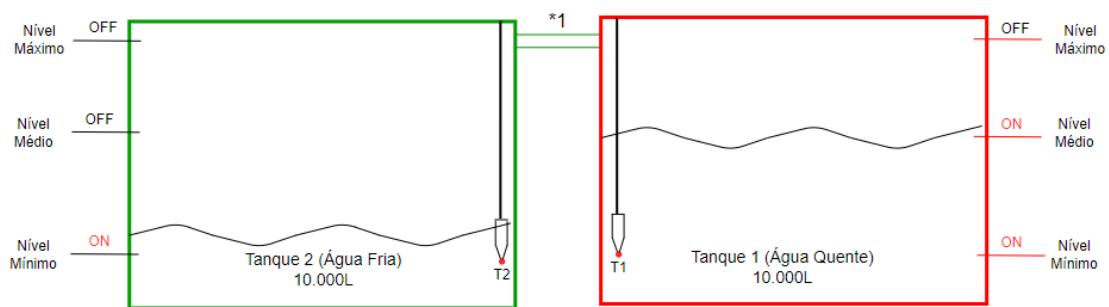


Figura 31 – Representação do modo capacidade máxima (1ª situação). (Imagem do autor)

A segunda situação ocorre quando o nível máximo do tanque 1 (água quente) é ligado. Como medida de segurança, o PLC dá ordem de comando para as torres (VEV e bomba) ligarem, caso o tanque 2 não tenha ainda atingido o nível máximo (Figura 32).

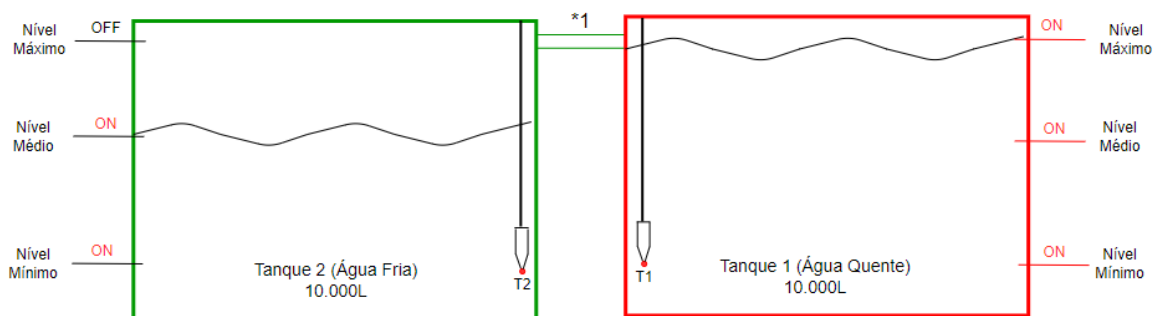


Figura 32 – Representação do modo capacidade máxima (2ª situação). (Imagem do autor)

No modo de funcionamento alternado, as torres operam de forma rotativa durante um período pré-definido, que pode ser modificado através de uma página da HMI. O funcionamento alternado ocorre entre o nível médio e máximo do tanque 2 (Figura 33). Cada vez que o sistema sai deste modo, o PLC guarda na memória qual torre esteve em funcionamento e o tempo restante da mesma.

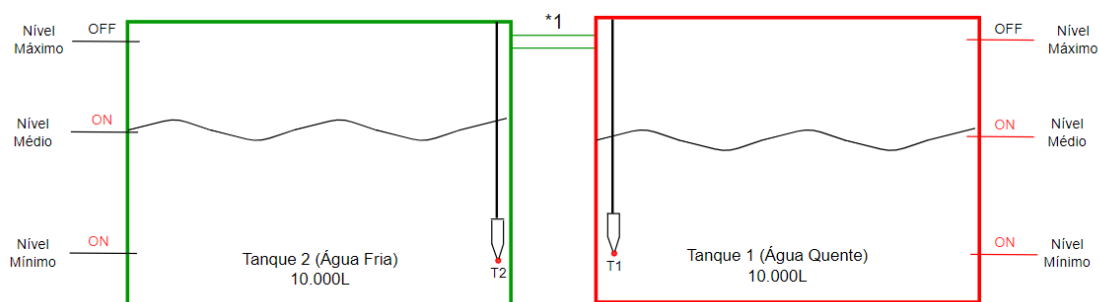


Figura 33 – Representação do modo de funcionamento alternado. (Imagem do autor)

O modo de permutação reforçada é acionado quando a temperatura do tanque 2 ultrapassa um determinado *setpoint*, definido na página da HMI, durante mais de 1 minuto. Após esta confirmação, o PLC liga todas as torres disponíveis para realizar o arrefecimento, sendo ignorado o nível máximo do tanque 2 durante o processo. Através de um *bypass* existente entre os 2 tanques, a água é direcionada para o tanque 1 sempre que o nível máximo do tanque 2 for ultrapassado (Figura 34). Este processo permite misturar a água fria com água quente, resultando num maior arrefecimento.

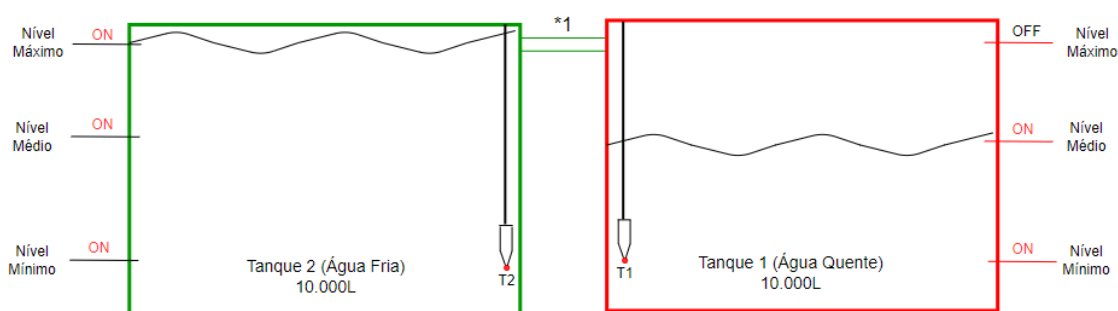


Figura 34 – Representação do modo permutação reforçada. (Imagem do autor)

No entanto, para evitar que a água transborde do tanque 2, a torre 1 (TCE-75) e a torre 2 (TLA-72E) têm um funcionamento constante em que são ignorados os estados das bóias de nível, enquanto a torre 3 (TLA-133), só funciona até ao nível máximo do tanque 2. Se esse nível estiver ativo, a torre 3 permanece desligada.

O controlo do sistema é realizado através da HMI instalada no quadro eléctrico (QP1). Esta HMI comunica com o PLC através da rede *Ethernet*, permitindo controlar o sistema remotamente.

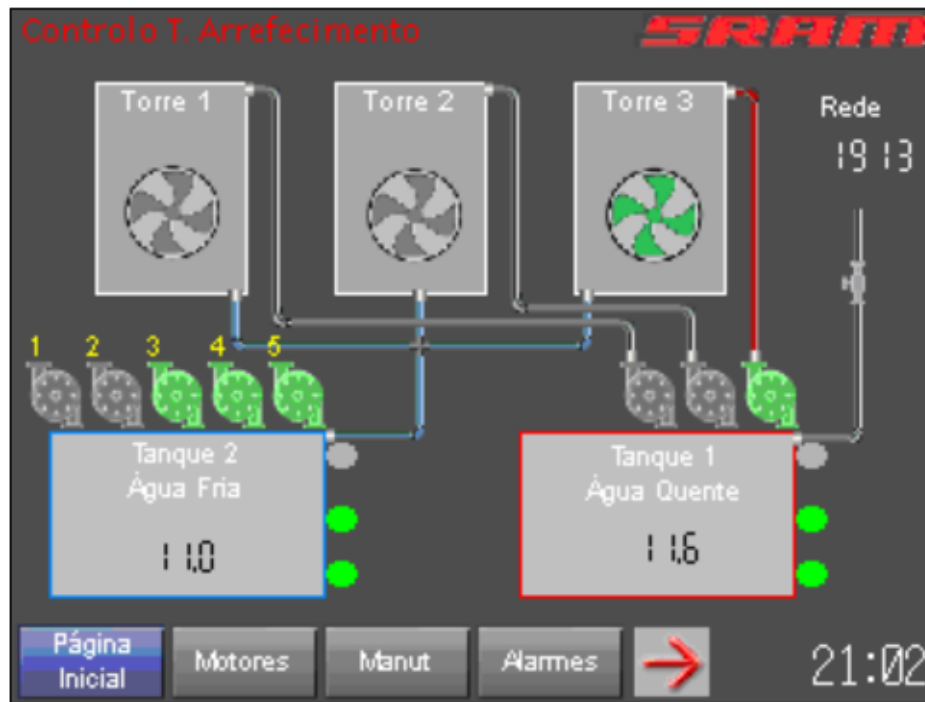


Figura 35 – Página Principal da HMI do Controlo das Torres de Arrefecimento. (Imagem do autor)

A Figura 35 apresenta a página principal das torres de arrefecimento, que fornece uma visão geral do estado do sistema e permite ao utilizador (operador) acompanhar o comportamento das torres de arrefecimento.

Nesta interface é possível verificar o volume de água disponível em cada tanque, bem como, a temperatura a que se encontra cada um. Este aspeto visual é fundamental para tomar medidas corretivas em caso de falta de água num dos tanques. Além disso, a exibição da temperatura em cada tanque também é um fator importante, pois possibilita acompanhar a eficiência das torres de arrefecimento.

Outro aspeto importante é a exibição do *status* de cada bomba centrífuga responsável pela alimentação dos sistemas críticos e das torres de arrefecimento. Cada bomba pode apresentar 3 *status* distintos: desligada, representada pela cor cinza; ligada, indicada pela cor verde; com defeito, sinalizada pela cor vermelha. O mesmo se aplica às torres de arrefecimento.

Nesta HMI, também é possível verificar o consumo de água do sistema de arrefecimento, uma vez que, durante o seu funcionamento, ocorre evaporação de água. A electroválvula de entrada de água só será acionada, quando o nível de água do tanque 1, fica abaixo do nível médio.

Em situação de alarme ou defeito é apresentada na página de alarmes, em que é facultada informação detalhada sobre a falha. Após o alarme ocorrer é acionada uma

buzina para chamar a atenção do operador. Uma vez reconhecido o alarme, o operador deve pressionar o botão “anular defeitos” para desligar a buzina (Figura 36).

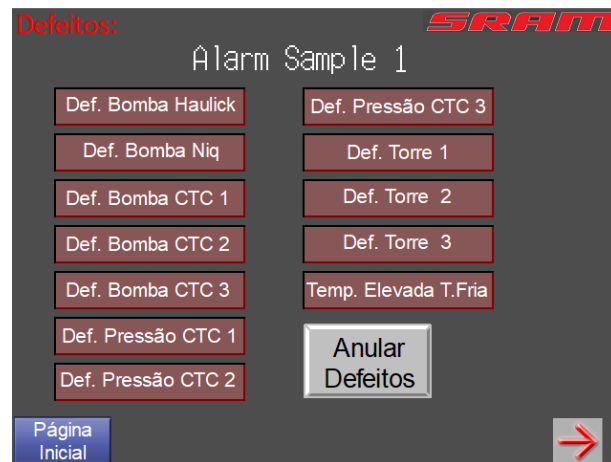


Figura 36 – Representação da página de alarmes da HMI. (Imagem do autor)

Para aceder aos parâmetros do funcionamento alternado, é necessário pressionar o botão com a seta vermelha e clicar no botão “Parâmetros” para aceder às configurações do sistema. Na página dos parâmetros, é possível visualizar as entradas e saídas digitais do PLC, assim como, aceder às configurações dos modos de funcionamento alternado e permutação reforçada. A Figura 37a, apresenta o funcionamento alternado das torres, sendo possível alterar o tempo de funcionamento de cada uma delas. Na Figura 37b, é apresentado o setpoint de permutação reforçada, assim como, o intervalo de permutação. Estes parâmetros estão protegidos por uma *password* de modo a proteger o funcionamento do sistema.

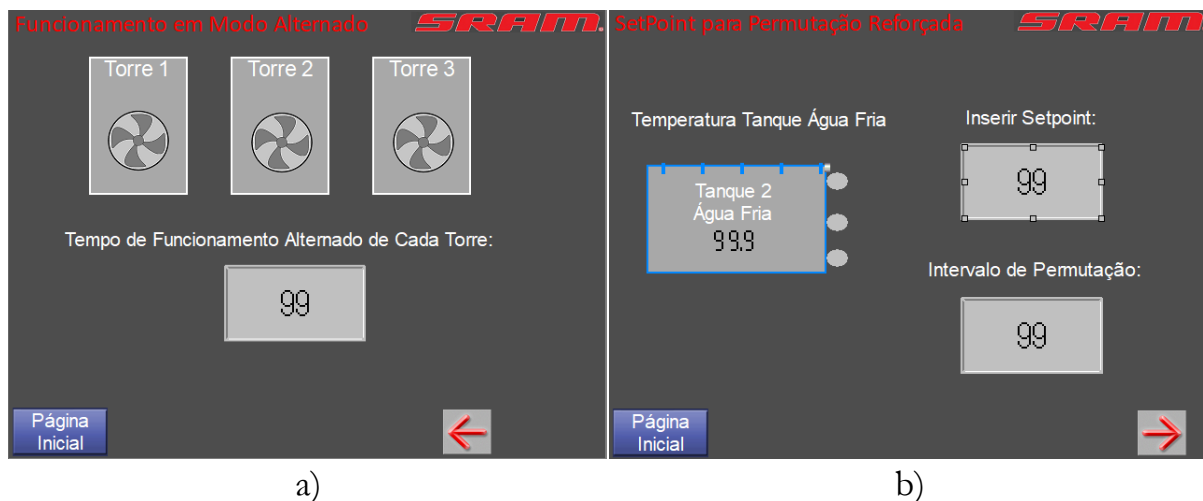


Figura 37 – Apresentação Páginas da HMI: a) Parâmetros de funcionamento alternado; b) Parâmetros de permutação reforçada. (Imagem do autor)

5.4 Monitorização

A monitorização do processo assume atualmente um papel fundamental, permitindo acompanhar em tempo real o comportamento do sistema. Numa primeira fase de monitorização foi realizado um levantamento das variáveis que se queriam monitorizar, como por exemplo, alarmes ocorridos, estados das bombas centrífugas, estado de cada torre, níveis dos tanques, electroválvulas, entre outros. O passo seguinte consistiu na definição de uma estrutura de dados para cada cenário, ou seja, para o registo de alarmes e para o registo de dados instantâneos.

Para o caso da estrutura de alarmes, quando ocorre um defeito, como, por exemplo, defeito da bomba 1, este é registado na estrutura com o identificador do defeito e a hora de início. Após o alarme estar acionado, o PLC realiza a contagem do tempo em minutos da duração do alarme. Quando o alarme é anulado, regista-se novamente a hora e o tempo total em que esteve ativo.

A Figura 38 apresenta o fluxograma de como é realizado o registo dos alarmes na respetiva estrutura.

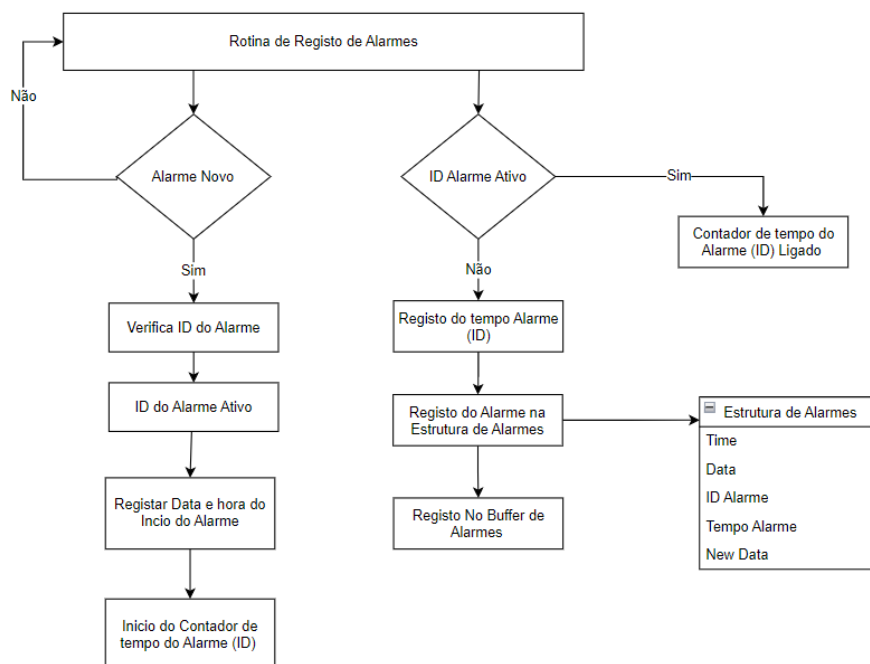


Figura 38 – Fluxograma da Estrutura de Alarmes. (Imagem do autor)

Quando um novo registo é criado na estrutura de alarmes, este é armazenado numa outra estrutura chamada *buffer* de alarmes. Esta estrutura é utilizada para a transmissão de dados entre o PLC das torres e um outro PLC (NX102-9020), em que tem a função de escrever na base de dados. A comunicação entre os 2 PLCs é realizada através do protocolo FINS (*Factory Interface Network Service*) da OMRON®.

O registo de dados instantâneos inclui todos os dados relativos ao consumo de água, estado de cada bomba (ligado/desligado), estado de cada torre (ligado/desligado), níveis de cada tanque, estado dos pressostatos e acionamentos executados.

O registo é efetuado sempre que ocorre uma mudança de estado em qualquer um dos equipamentos. Ou seja, sempre que o nível de um tanque ou o estado de uma torre altera o seu estado entre desligado para ligado, é despoletado um registo na estrutura de dados (Figura 39).

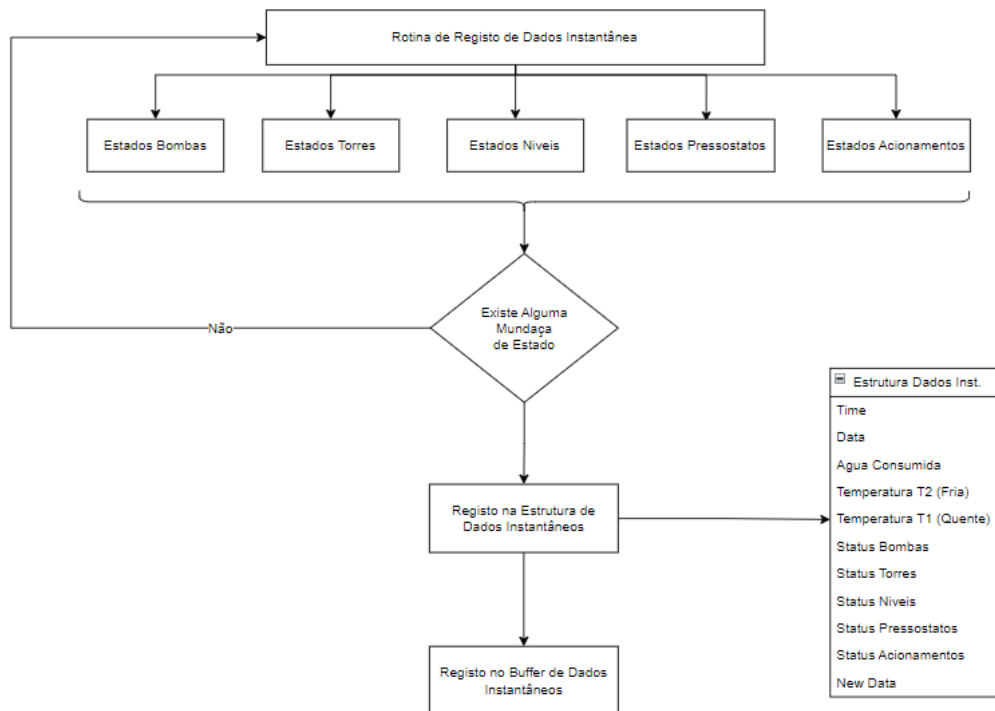


Figura 39 – Fluxograma da Estrutura dos dados instantâneos. (Imagem do autor)

Como é possível visualizar na Figura 39, a estrutura de dados inclui a hora, data, volume de água consumida, temperaturas dos tanques 1 e 2, e os estados das bombas, torres, níveis, pressostatos e acionamentos. Tanto a estrutura de alarmes como a de dados instantâneos, ambas têm uma *flag* chamada *NewData*, que corresponde a um número inteiro que indica se o registo foi realizado ou não.

Sempre que existe um novo registo na estrutura de dados instantâneos, este é armazenado no buffer de dados instantâneos para realizar a comunicação com o segundo PLC.

Para facilitar a transmissão de dados e garantir a segurança contra perdas de dados durante comunicação, os estados dos equipamentos foram agrupados em *data type Words*. Como cada *Word* é composta por 2 *Bytes* (16 *Bits*), foi possível agrupar informações sobre o estado das bombas, das torres, dos níveis dos tanques, dos pressostatos e dos acionamentos em diferentes *Words*.

Após o preenchimento dos dados no buffer de alarmes e no buffer de dados instantâneos, o segundo PLC recolhe essa informação. Para que seja possível realizar a comunicação FINS entre os 2 PLCs da OMRON®, o segundo PLC tem de ter o *FINS Node Address* configurado com o *IP* do PLC das torres (Figura 40).

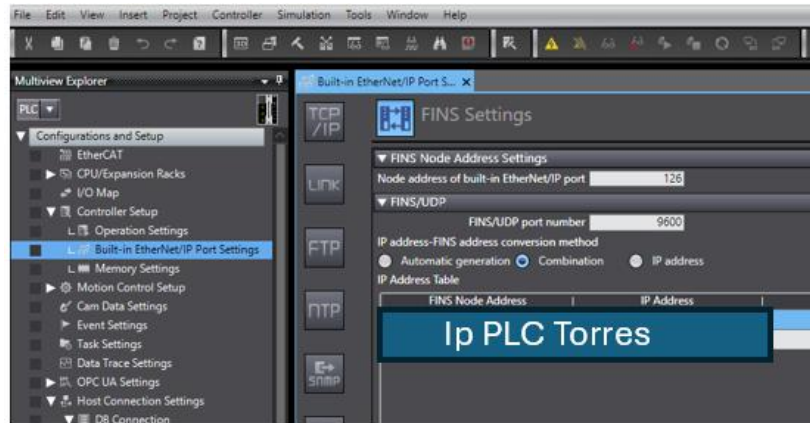


Figura 40 – Representação FINS Settings do *Software Sysmac Studio*. (Imagem do autor)

Após a configuração, a comunicação é programada com recurso à biblioteca da OMRON®, utilizando duas funções principais: *Send* (Enviar) e *Rcv* (Receber). Na função *Send* é necessário configurar as seguintes variáveis: *DstNetAdr*, que representa o endereço de rede no destino de envio; *CommPort*, que representa a porta de destino de envio; *SrcDataarray*, que representa o primeiro elemento do *array* no destino de envio; *SendSize*, que corresponde ao número de *Words* a enviar; *DstArea*, que especifica o tipo de área no destino de envio (Memória retentiva dos PLCs) e *DstCh*: que especifica a *Word* do destino de envio

A função *Rcv* é semelhante à função *Send*, no entanto, o que muda são os nomes das variáveis, como é o exemplo do *RcvSize*, que representa o número de *Words* a receber [28].

Após realizar a comunicação com o PLC das torres, as informações dos *buffers* de alarmes e dados instantâneos são armazenadas na memória do segundo PLC.

Realizada esta etapa, procede-se ao registo de dados na base de dados *SQL Server*. Como o PLC NX102-9020 da OMRON® permite a escrita direta na base de dados, foi necessário configurar a conexão à DB. O primeiro passo consiste em configurar as definições de ligação no *software Sysmac Studio*. Neste campo, é preciso inserir o nome do servidor, o nome da DB, o *username* e a *password* (Figura 41).

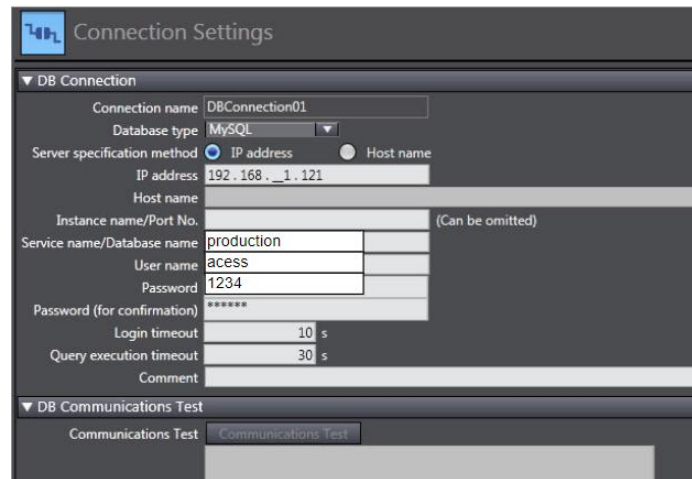


Figura 41 – Exemplo de Conexão à base de dados utilizando Sysmac Studio. (Imagem do autor)

Após estabelecer a ligação com a DB, é necessário criar uma estrutura idêntica à tabela existente no *SQL Server*. Para isso, a OMRON® disponibiliza um manual “*NJ/NX-series Database Connection CPU Unit User’s Manual*”, em que são descritos os procedimentos necessários para o registo de dados na base de dados. Um dos critérios importantes para a comunicação entre o PLC e a base de dados é haver igualdade nos campos da estrutura do PLC com os nomes das colunas da tabela da DB.

Este manual também descreve as instruções que podem ser utilizadas na DB. Neste caso, foram usados os seguintes comandos, *DB_Connect*, *DB_CreateMapping*, *DB_Insert*, e *DB_Close*. O primeiro comando, diz respeito a estabelecer a ligação com a base de dados. O segundo comando, *DB_CreateMapping*, corresponde ao mapeamento entre a estrutura do PLC e a tabela existente na base de dados. O *DB_Insert*, é utilizado após a comunicação ser realizada, tendo a função de inserir registos na tabela da base de dados. O comando *DB_Close*, como o nome indica, encerra a comunicação estabelecida com a base de dados [29].

	Column Name	Data Type	Allow Nulls
►	id	int	☐
	TimeStamp	datetime	☒
	TemperaturaT2	smallint	☒
	TemperaturaT1	smallint	☒
	AguaConsumida	int	☒
	StatusBombas	int	☒
	StatusTorres	int	☒
	StatusNiveis	int	☒
	StatusPressostatos	int	☒
	StatusAcionamentos	int	☒

a)

	Column Name	Data Type	Allow Nulls
►	id	int	☐
	TimeStamp	datetime	☒
	Alarme	smallint	☐
	Tempo	real	☒
	SendEmail	bit	☒
			☐

b)

Figura 42 – Representação da tabela: a) dados instantâneos ; b) alarmes. (Imagem do autor)

A Figura 42 ilustra a composição das tabelas dos alarmes e dos dados instantâneos inseridas no *SQL Server*. No anexo VI é possível verificar um registo temporal nas tabelas durante o funcionamento do sistema.

Em sequência, foi desenvolvido um website em *ASP.NET Core MVC*. O *ASP.NET Core MVC* é uma *Framework* avançada que permite o desenvolvimento de aplicações web e APIs (*Application Programming Interfaces*), utilizando o padrão design do MVC.

A estrutura MVC é composta por 3 componentes principais: *Model*, *View* e *Controller*. O *Model* (Modelo) é responsável pelo acesso à base de dados, regras de validação e processamento dos dados. Normalmente os modelos são criados como classes C# onde utilizam o *Entity Framework Core* para iteração com a base de dados relacionais. A *View* (Vista) é responsável por apresentar a informação ao *user*, através de páginas que utilizam o *engine Razor* para integrar código C# com HTML (*HyperText Markup Language*). O *Controller* (Controlador), atua como intermediário entre o *Model* e a *View*, sendo responsável por receber os comandos do *user* e atualizar as *Views* (Vistas) com os dados obtidos da DB através dos *Models* (Modelos) [30].

A Figura 43 apresenta o sinóptico da monitorização das torres de arrefecimento, onde é composto por 3 páginas. A página principal (Sistema de Arrefecimento) ilustra as torres que estão a funcionar e as, temperaturas e níveis de cada tanque. Esta página é atualizada a minuto a minuto. Na segunda página (Alarmes), é apresentado o histórico dos alarmes ocorridos no espaço temporal, em que é possível verificar o identificador do alarme, bem como, a sua descrição e o tempo durante o qual decorreu. A terceira página (*About*), tem informação adicional do modo de funcionamento das torres.

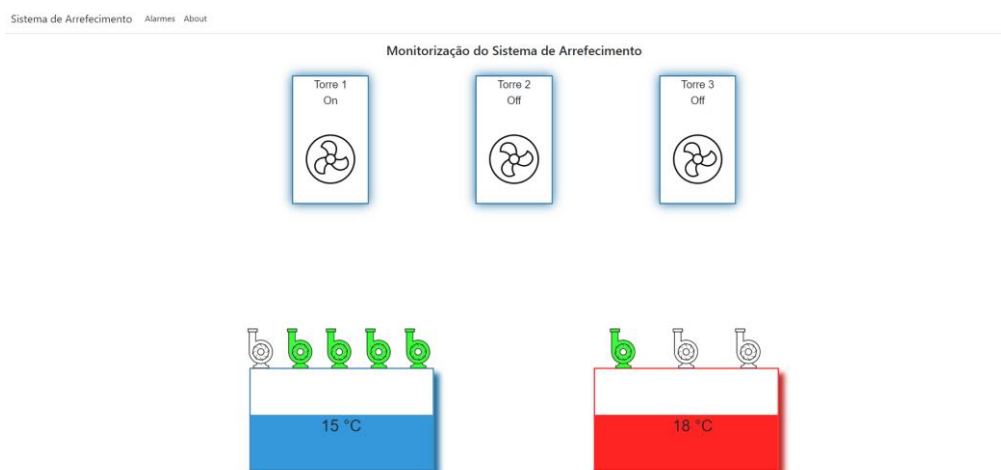


Figura 43 – Representação do website desenvolvido em MVC. (Imagem do autor)

Além disso, também foi criado um sistema de envio automático de *emails* para notificar em caso de defeito (alarme). O envio é feito através do protocolo SMTP (*Simple Mail Transfer Protocol*), utilizando o servidor “smtp.office365.com” com a descrição do alarme.

Este envio automático de *emails* torna-se essencial para avisar em caso de alarme, especialmente quando não há ninguém na empresa, como durante o fim de semana. Desta forma, mesmo quando a manutenção não está fisicamente no local, o alarme é comunicado imediatamente, permitindo uma resposta rápida e eficaz. A Figura 44, apresenta o formato do *email* enviado em caso de ocorrência de um alarme.



Figura 44 – Representação do formato de email. (Imagem do autor)

6 CONCLUSÃO

Este relatório apresenta o trabalho de projeto realizado na empresa SRAMPORT, com o objetivo de implementar um sistema de controlo automático e de monitorização das torres de arrefecimento.

Este trabalho contribuiu para a aquisição de novos conhecimentos, tanto a nível pessoal como profissional, promovendo o crescimento profissional e pessoal e uma adaptação à realidade do mercado de trabalho.

A realização deste projeto abordou a instalação da terceira torre de arrefecimento, o que contribui para o aumento da capacidade do sistema de arrefecimento da empresa. A utilização de algoritmos de controlo foi crucial para a automação do processo, permitindo uma gestão eficiente das variáveis do sistema, como a temperatura e a água consumida. Para completar esta automatização, também foi desenvolvida uma plataforma de monitorização em tempo real, permitindo uma monitorização contínua do desempenho do sistema.

A implementação do controlo automático trouxe benefícios significativos, ao reduzir a dependência dos operadores para a gestão das torres, garantindo uma operação eficiente e com menor margem de erro. Este sistema ajusta-se de forma autónoma às condições de operação, otimizando o consumo de energia através da regulação das torres e da velocidade dos ventiladores. Além disso, tem uma capacidade de resposta superior ao sistema anterior, especialmente em situações de falhas.

Este trabalho de projeto evidenciou a importância da inovação e da automação na melhoria dos processos industriais. Como nos dias de hoje a monitorização é importantíssima para garantir que um sistema é eficiente, este trabalho procurou responder à exigência de uma supervisão contínua e eficiente .

Embora tenha sido necessário superar alguns desafios técnicos, como, por exemplo a familiarização com novas aplicações como o *CX-Programmer*, *QElectroTech*, *Sysmac Studio* e *Microsoft Visual Studio*, o projeto foi bem-sucedido ao proporcionar uma solução robusta, alinhada com os objetivos da empresa de reduzir custos e aumentar a fiabilidade dos sistemas.

Concluindo, a realização deste trabalho de projeto não apenas contribuiu para o desenvolvimento de uma solução prática e eficaz para a empresa, mas também proporcionou uma experiência valiosa, preparando o autor para enfrentar novos desafios no futuro.

6.1 Trabalhos Futuros

Durante o trabalho de projeto foi apresentado uma solução robusta, baseada na implementação de equipamentos capazes de proporcionar uma monitorização mais detalhada e avançada. No entanto, a empresa optou por não investir na solução proposta devido ao seu custo elevado, o qual não se adequava ao contexto financeiro atual da empresa. Estes equipamentos eram compostos por:

- Sondas hidrostáticas;
- Pressostatos digitais;
- Monitores de Energia;

As sondas hidrostáticas medem a pressão exercida por uma coluna de água, com base no princípio que a pressão aumenta com a profundidade. Através da pressão medida em cada tanque, é possível determinar com precisão o nível de água. Devido ao mau funcionamento das bóias, como a indicação de níveis incorretos, esta solução permitia obter a quantidade exata de água presente em cada tanque.

Para monitorizar a pressão existente na saída de cada bomba centrífuga, os pressostatos digitais são uma solução viável, uma vez que a regulação é mais ampla em comparação com os pressostatos analógicos atualmente em uso. Esta abordagem permitiria acompanhar o estado de funcionamento de cada bomba, em função da pressão debitada.

A monitorização do consumo energético, por meio de monitores de energia, visava proporcionar uma análise mais precisa do desempenho dos equipamentos instalados, nomeadamente, as bombas centrífugas e os ventiladores de cada torre de arrefecimento. Com estes dispositivos, seria possível identificar padrões de consumo, antecipar falhas com base em variações do consumo energético e melhorar a eficiência do sistema. A análise detalhada do comportamento do sistema, possibilitaria a implementação de estratégias de manutenção preventiva, contribuindo para uma maior fiabilidade e eficiência do sistema de arrefecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. Vivan, “Linha do tempo – Revoluções Industriais/Empresariais,” *LinkedIn*, 16 janeiro 2020.
- [2] H. Mohajan, “The First Industrial Revolution: Creation of a New Global Human Era,” 30 Maio 2019.
- [3] R. H. S. P. o. A. a. S. o. E. a. H. Joel Mokyr, “The Second Industrial Revolution, 1870-1914,” Agosto 1998.
- [4] J. Taalbi, “Origins and pathways of innovation in the third industrial revolution,” *Industrial and Corporate Change*, vol. 28, nº 5, pp. 1125-1148, 20 Novembro 2018.
- [5] Y. O. A. Moustafa Elnadi, “Industry 4.0: critical investigations and synthesis of key,” 1 Janeiro 2023.
- [6] B. B. a. A. R. J. Culibrk, “INDUSTRY 5.0 AND THE SKILLS GAP: STRATEGIES FOR DEVELOPING A FUTUREREADY WORKFORCE,” janeiro 2023.
- [7] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, And Computer Integrated Manufacturing*, Quarta ed., Pearson Higher Education, 2015.
- [8] W. Reis, “O que é automação industrial e qual seu impacto na produção?,” *Sankhya*, 16 Janeiro 2023. [Online]. Available: <https://www.sankhya.com.br/blog/automacao-industrial/>. [Acedido em 5 Agosto 2023].
- [9] I. Integrated Control Systems, “What are the 5 Levels of Automation?,” 1 Outubro 2021. [Online]. Available: <https://integrated-controls.com/what-are-the-5-levels-of-automation/>. [Acedido em 16 Agosto 2023].
- [10] K. Guilherme, “A pirâmide da Automação Industrial,” 2 Junho 2021. [Online]. Available: <https://www.automacaoindustrial.info/a-piramide-da-automacao-industrial/>. [Acedido em 23 Agosto 2023].
- [11] C. N. P. Pereira, “Industrial Communication Protocols,” em *Springer Handbook of Automation*, Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 981-999.
- [12] indusmelec, “Redes de Comunicação Industrial,” p. 12, Junho 2016.
- [13] P. N. e. V. (PNO), “PROFINET System Description: Technology and Application,” PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO), PROFIBUS & PROFINET International (PI), 2014.

- [14] ODVA, "TECHNOLOGY OVERVIEW SERIES CIP on Ethernet Technology," ODVA, Ann Arbor, Michigan, USA, 2024.
- [15] B. A. GmbH, "EtherCAT – The Ethernet Fieldbus," p. 47, Março 2020.
- [16] OMRON, "Programmable Controllers," [Online]. Available: <https://www.ia.omron.com/support/guide/26/introduction.html>. [Acedido em 17 Dezembro 2024].
- [17] M. G. U. R. M. K. S. K. & H. R. Hudedmani, "Programmable logic controller (PLC) in automation. Advanced Journal of Graduate Research," vol. 2, pp. 37-45, 2017.
- [18] "FlowChief," [Online]. Available: <https://www.flowchief.de/en/products/hmi/>. [Acedido em 20 Dezembro 2024].
- [19] I. Automation, "IHM: Interface Homem-Máquina," 10 Agosto 2018. [Online]. Available: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-hmi>. [Acedido em 22 Dezembro 2024].
- [20] Indusmelec, "Variação de Velocidade," Março 2015.
- [21] OMRON, "MX2," [Online]. Available: <https://industrial.omron.pt/pt/products/mx2>. [Acedido em 2 janeiro 2025].
- [22] F. & D. H. Afshari, "A review study on cooling towers; types, performance and application," pp. 1-10, 2019.
- [23] Y. & A.-O. S. B. Alaiwi, "Types of Cooling Towers: A Review," 27 novembro 2024.
- [24] D. McMahon, "Inside Chicago's high-tech bicycle-components company that last year raked in \$700 million and is up 15% while its competition struggles in a flat market," 30 Março 2018.
- [25] SRAM, "A HISTORY OF INNOVATION," 2023. [Online]. Available: <https://www.sram.com/en/company/about/history>. [Acedido em 1 Junho 2023].
- [26] W. B. Relief, "WHO WE ARE," 2023. [Online]. Available: <https://worldbicyclerelief.org/who-we-are/>. [Acedido em 1 Junho 2023].
- [27] SRAMPORT, *Representação da Linha Niquelagem 1 e 2 - Imagem cedida pela empresa*, 2023.
- [28] OMRON, "FINS Function User's Manual," OMRON Corporation Industrial Automation Company, Kyoto, JAPAN.
- [29] OMRON, "NJ/NX-series Database Connection CPU Unit User's Manual," OMRON Corporation, Kyoto, JAPAN.
- [30] Microsoft, "Overview of ASP.NET Core MVC," 17 06 2024.

- [31] SRAMPORT, *Produtos fabricados pelo Grupo SRAM - Imagem cedida pela empresa, 2023.*
- [32] SRAMPORT, *Secções de tratamento Térmico e de Superfície - Imagem cedida pela empresa, 2023.*
- [33] SRAMPORT, *Descrição das torres de Arrefecimento - Imagem cedida pela empresa, 2023.*

ANEXOS

Anexo I – Produtos fabricados pelo Grupo SRAM [31]

Product	Sample products	Brand
Shifters		
Deraillleurs		
Brakes		
Cassettes		
Chains		
Cranksets		
Suspension		
Bars & Seatposts		
Guides & Pedals		
Wheelsets		
Power Measure		

Anexo II – Secções de tratamento Térmico e de Superfície [32]

BAR	Bariagem Tambores
CTC	Cementação e Têmpera Contínua
DSG	Desgaseificação
EBS	Bariagem por Centrifugação (Rotofinish)
FCH	Cementação e Têmpera
NIQ	Niquelagem
PLS	Peneiramento, Lavagem e Secagem – Eixos Delta Após TTD
POL	Polimento
REV	Revenido
RVC	Revenido Contínuo
SCC	Lavagem e Secagem Contínua
SCG	Secagem (Niquelagem)
SEC	Secagem
TTD	Tratamento Térmico Delta
TAM	*** Peneiramento

Anexo III – Descrição das Torres de Arrefecimento [33]



EXPERIÊNCIA E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Com mais de 30 anos de experiência no projecto e fabrico de Equipamentos para o Tratamento do Ar e Arrefecimento Evaporativo de Fluidos, os técnicos da UNICLIMA têm-se especializado particularmente no domínio do Arrefecimento Evaporativo da Água, contribuindo assim para a economia e preservação da nossa matéria prima mais importante e de maior exigência.

A UNICLIMA quando da concepção e projecto das diversas séries e modelos de Equipamento de Arrefecimento Evaporativo procura sempre por um lado otimizar a capacidade, consumo de energia eléctrica e níveis de ruído e por outro lado, seleccionar materiais resistentes à corrosão e com pouca manutenção.

Todos estes factores são cuidadosamente estudados e comprovados posteriormente através de ensaios, antes de os novos modelos serem lançados no mercado.



SÉRIE TCE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

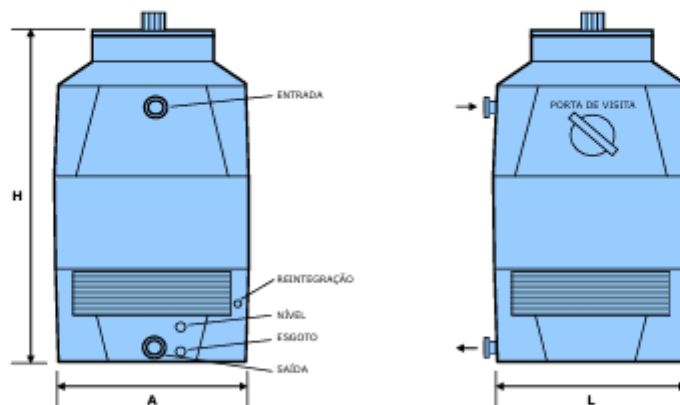
MODELO	*CAPACIDADE DE ARREFECIMENTO KW	CAUDAL DE ÁGUA L/S	CAUDAL DE AR M3/S	POTÊNCIA DO MOTOR KW	PESO SERVIÇO KG	MODELO	*CAPACIDADE DE ARREFECIMENTO KW	CAUDAL DE ÁGUA L/S	CAUDAL DE AR M3/S	POTÊNCIA DO MOTOR KW	PESO SERVIÇO KG
TCE - 15	98	3,91	2,65	1,1	510	TCE - 170	787	31,33	13,95	11	2.600
TCE - 20	107	4,25	2,81	1,5	520	TCE - 180	834	33,21	13,95	11	2.800
TCE - 25	133	5,29	2,65	1,5	530	TCE - 195	846	33,70	13,95	15	2.950
TCE - 30	144	5,73	2,81	2,2	550	TCE - 200	890	35,44	17,51	(2) 5,5	3.200
TCE - 35	166	6,61	3,27	2,2	700	TCE - 210	954	37,98	18,60	(2) 7,5	3.500
TCE - 40	183	7,29	3,48	3	720	TCE - 240	1.050	41,81	18,60	(2) 7,5	3.800
TCE - 50	223	8,88	4,38	3	800	TCE - 260	1.088	43,33	18,60	(2) 7,5	3.970
TCE - 55	238	9,48	4,65	4	830	TCE - 280	1.116	44,44	20,36	(2) 7,5	4.000
TCE - 60	263	10,45	4,65	4	860	TCE - 300	1.204	47,92	21,67	(2) 11	4.200
TCE - 65	279	11,11	5,09	5,5	1.000	TCE - 320	1.292	51,44	21,67	(2) 11	4.300
TCE - 70	301	11,98	5,42	5,5	1.100	TCE - 350	1.384	55,10	20,36	(2) 11	4.400
TCE - 75	323	12,86	5,42	5,5	1.200	TCE - 360	1.430	56,94	26,27	(2) 11	5.500
TCE - 90	439	17,48	8,76	5,5	1.600	TCE - 370	1.574	62,66	27,91	(2) 11	6.000
TCE - 110	523	20,83	9,30	7,5	1.700	TCE - 400	1.668	66,42	27,91	(2) 11	6.500
TCE - 120	525	20,90	9,30	7,5	1.900	TCE - 420	1.693	67,40	27,91	(2) 15	7.000
TCE - 130	558	22,22	10,18	7,5	2.000	TCE - 530	2.336	92,99	37,21	(4) 7,5	8.900
TCE - 140	601	23,93	10,83	11	2.100	TCE - 600	2.370	94,36	37,21	(4) 7,5	9.400
TCE - 150	647	25,76	10,83	11	2.200	TCE-N584	2.519	100,2	46,69	(2) 22	7.795
TCE - 160	715	28,47	13,13	11	2.400	TCE-N666	2.872	114,3	48,96	(2) 30	8.261

* Para as seguintes condições de funcionamento: Temperatura Húmida do Ar de 24 °C, Temperatura de Entrada da Água de 35 °C e Temperatura de Saída da Água de 29 °C.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MODELOS: TLA-11 a TLA-182



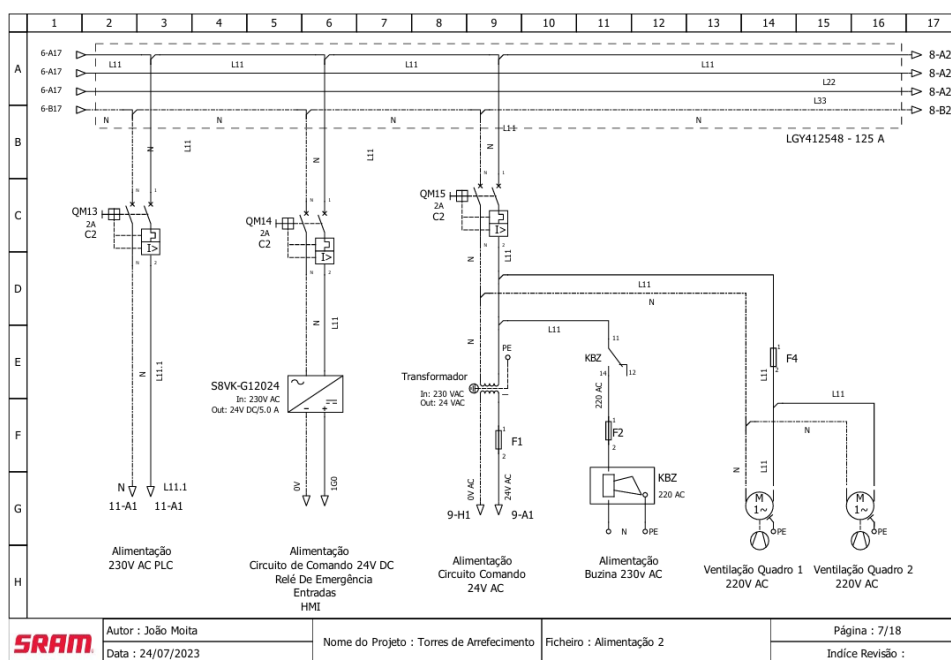
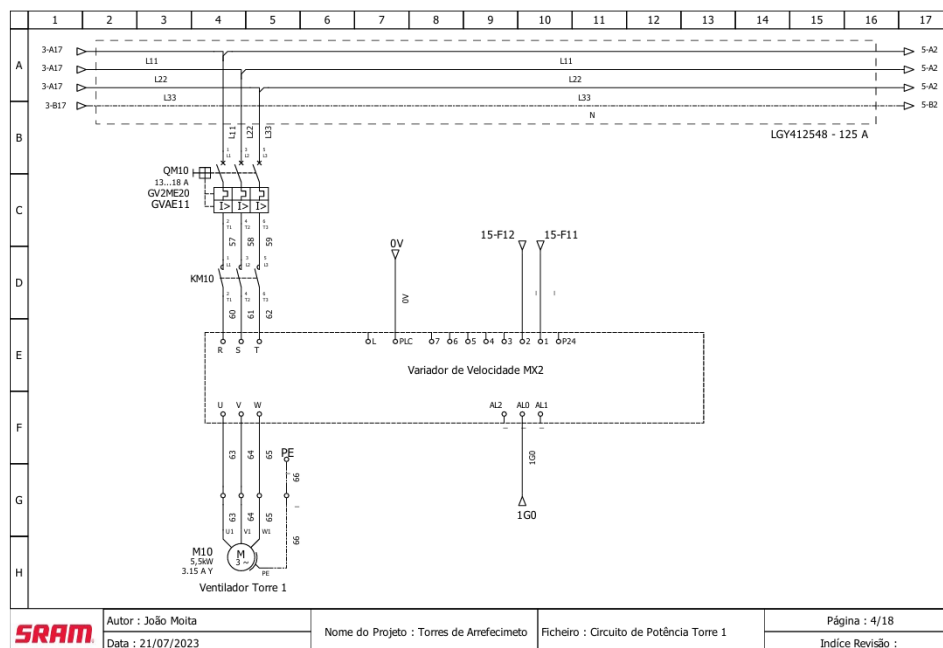
NOTAS:

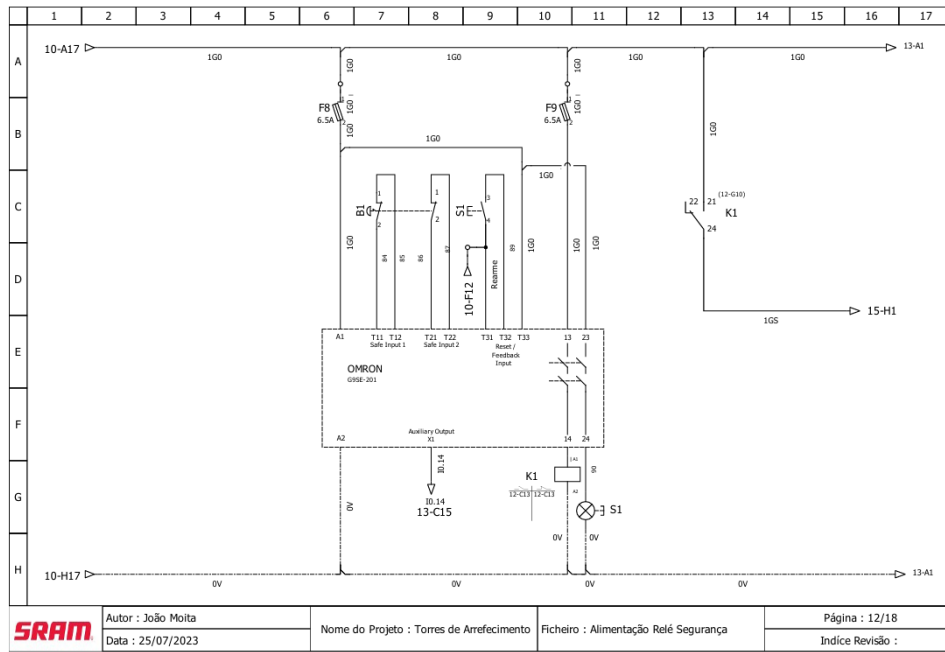
- Não utilizar para construção em obra. Consultar a UNICLIMA para dimensões certificadas.
- Os nossos produtos estão em constante evolução técnica, pelo que reservamos o direito de efectuar qualquer alteração sem aviso prévio.
- A partir do modelo TLA-50 todas as Unidades são equipadas com porta de visita circular.

Modelo	Capacidade de Arrefecimento Nominal (1) (kW)	Pesos (kg)		Caudal de Ar (m³/s)	Motor do Ventilador (kW)	Dimensões (mm)			Ligações (mm) (Flange de PVC)	
		Em Serviço	Expedição			A	L	H	Entrada	Saída
TLA - 11	54	170	72	1,1	0,37	620	620	1600	DN75	DN75
TLA - 13	60	181	74	1,3	0,55	620	620	1600	DN75	DN75
TLA - 20	95	281	110	2,1	0,55	820	820	1700	DN75	DN75
TLA - 22	105	316	130	2,2	0,75	820	820	1700	DN75	DN75
TLA - 23	107	345	145	2,2	0,75	820	820	1700	DN75	DN75
TLA - 35	167	491	170	3,2	1,1	1030	1030	2250	DN90	DN90
TLA - 38	181	503	180	3,4	1,1	1030	1030	2250	DN90	DN90
TLA - 40	188	526	195	3,6	1,5	1030	1030	2250	DN90	DN90
TLA - 41	195	535	210	3,7	1,5	1030	1030	2250	DN90	DN90
TLA - 50	235	883	265	4,9	1,5	1230	1230	2390	DN110	DN110
TLA - 51	240	936	280	4,6	2,2	1230	1230	2390	DN110	DN110
TLA - 55	260	970	310	4,9	2,2	1230	1230	2390	DN110	DN110
TLA - 57	271	1010	340	5,2	2,2	1230	1230	2390	DN110	DN110
TLA - 60	281	1020	350	5,3	3	1230	1230	2390	DN110	DN110
TLA - 77	367	1462	420	7,7	3	1550	1550	2800	DN125	DN125
TLA - 79	375	1597	482	7,2	3	1550	1550	2800	DN125	DN125
TLA - 86	407	1600	501	7,7	4	1550	1550	2800	DN125	DN125
TLA - 89	424	1650	520	8,1	4	1550	1550	2800	DN125	DN125
TLA - 92	440	1691	530	8,3	4	1550	1550	2800	DN125	DN125
TLA - 111	529	1960	570	11,0	4	1850	1850	2900	DN140	DN140
TLA - 115	540	2120	612	10,4	4	1850	1850	2900	DN140	DN140
TLA - 123	586	2200	690	11,0	5,5	1850	1850	2900	DN140	DN140
TLA - 128	610	2280	724	11,7	5,5	1850	1850	2900	DN140	DN140
TLA - 133	633	2292	740	12,0	5,5	1850	1850	2900	DN140	DN140
TLA - 151	720	2790	790	15,0	5,5	2150	2150	2960	DN140	DN140
TLA - 155	735	2810	810	14,1	5,5	2150	2150	2960	DN140	DN140
TLA - 168	797	2950	830	15,0	7,5	2150	2150	2960	DN140	DN140
TLA - 175	831	2970	845	15,9	7,5	2150	2150	2960	DN140	DN140
TLA - 182	862	2990	860	16,3	7,5	2150	2150	2960	DN140	DN140

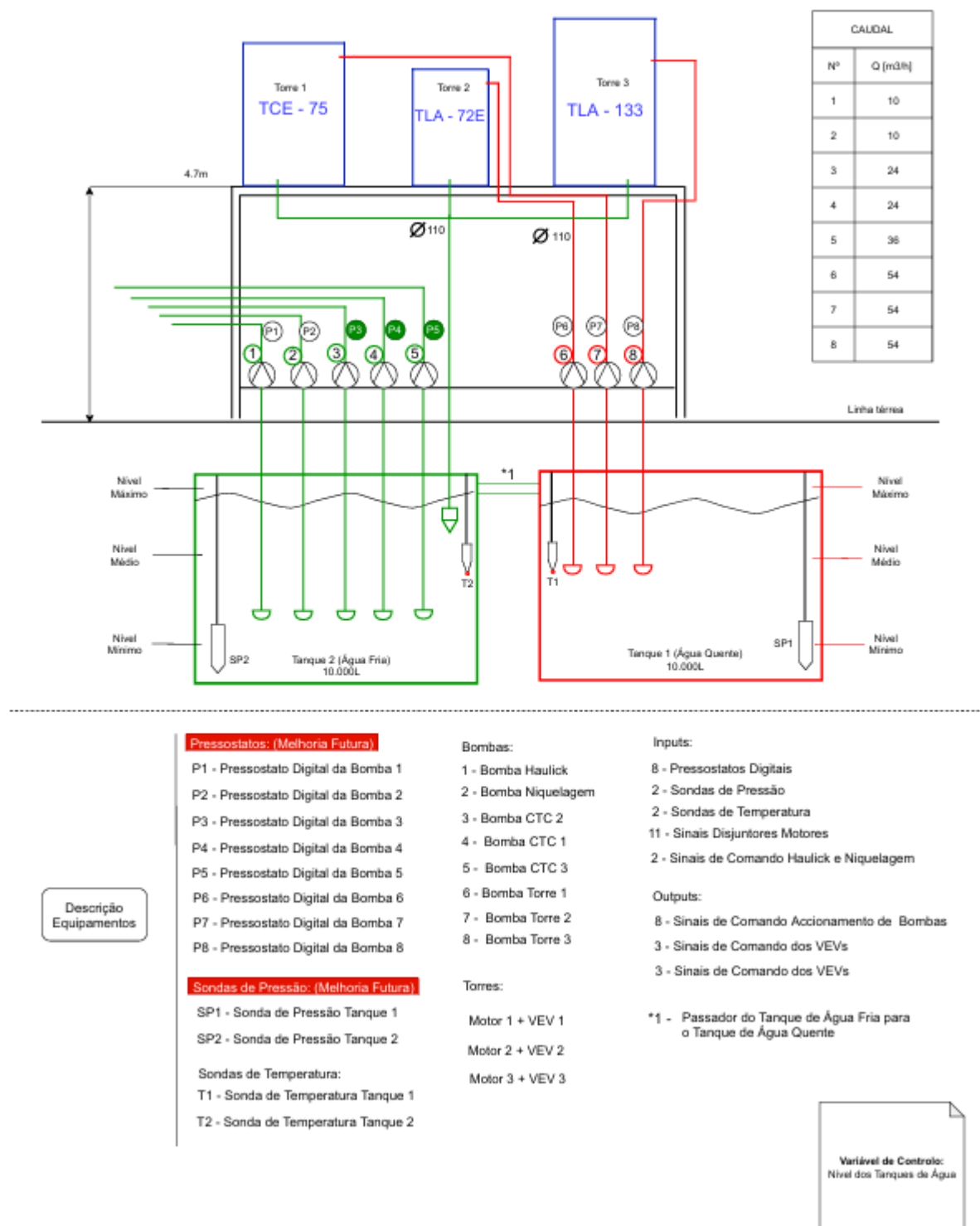
(1) - Para as seguintes condições de funcionamento: Temperatura Humida do Ar de 24 °C, Temperatura de Entrada da Água de 35 °C e Temperatura de Saída da Água de 29 °C.

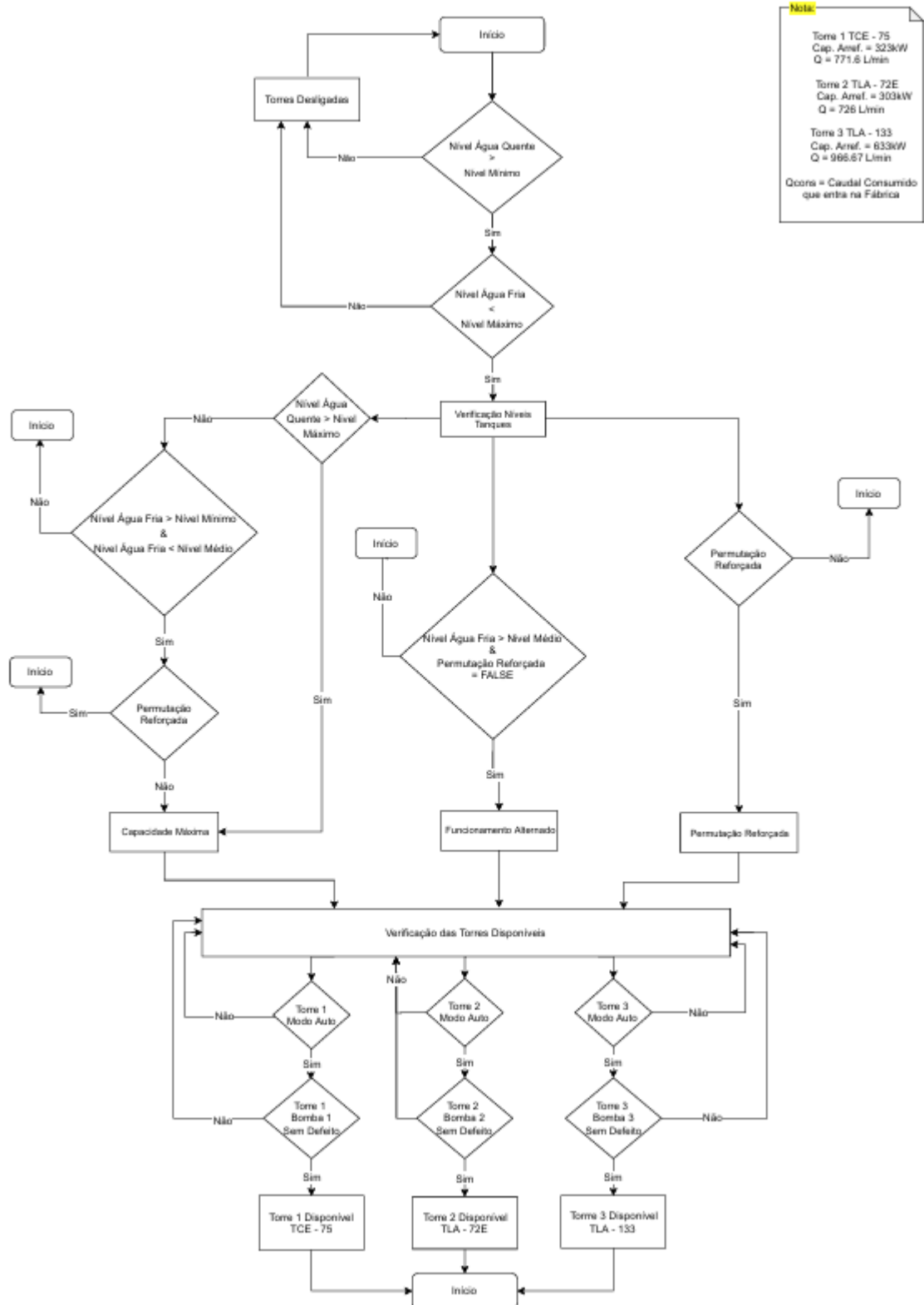
Anexo IV- Esquemas Elétricos do Sistema de Arrefecimento



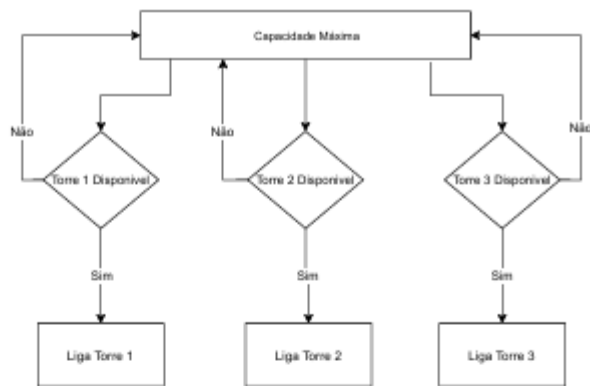


Anexo V – Fluxograma Funcional do Sistema

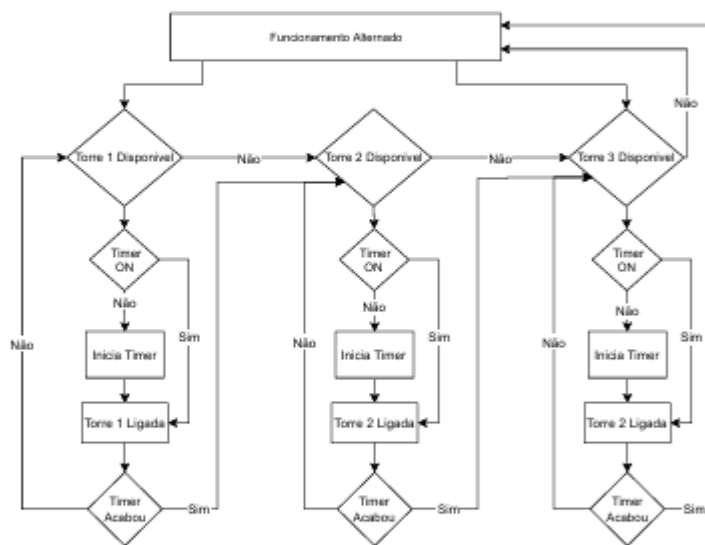




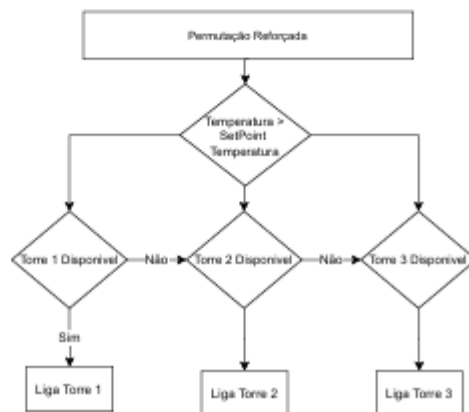
Funcionamento da Capacidade Máxima



Funcionamento Alternado

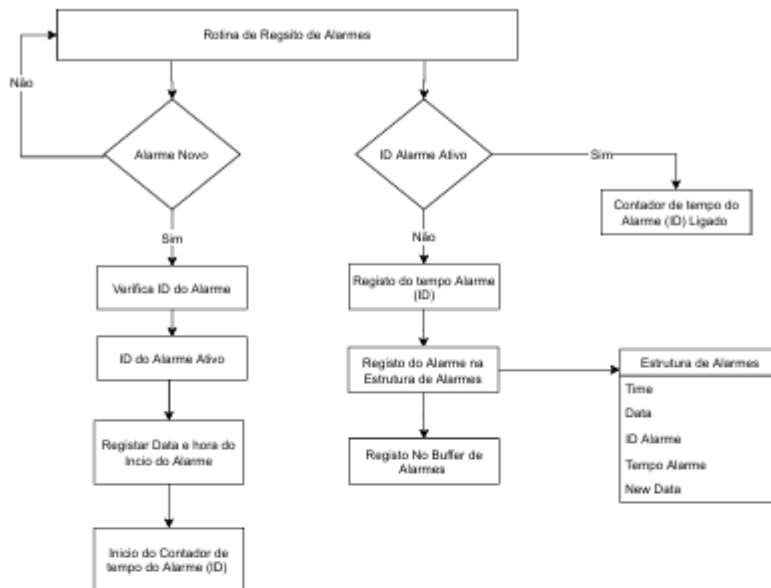


Permutação Reforçada

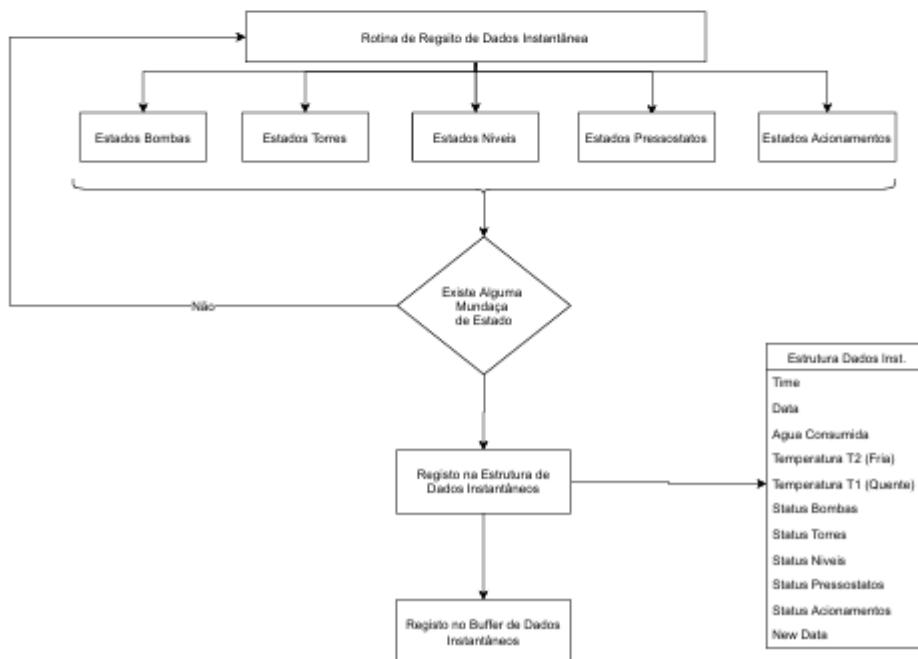


Fluxograma Monitorização do Sistema

Alarmes



Dados Instantâneos



Anexo VI – Representação da Tabela “Dados Instantâneos” e de “Alarmes” na Base de Dados

	id	TimeStamp	TemperaturaT2	TemperaturaT1	ÁguaConsumida	StatusBombas	StatusTorres	StatusNiveis	StatusPressostatos	StatusAcionamentos
19	405211	2025-03-13 23:58:32.000	12	14	2299	252	469	25	3	6
20	405210	2025-03-13 23:56:32.000	11	13	2299	60	449	27	3	6
21	405209	2025-03-13 23:55:02.000	11	13	2299	252	469	25	3	6
22	405208	2025-03-13 23:52:32.000	12	14	2299	60	449	27	3	6
23	405207	2025-03-13 23:51:31.000	12	14	2299	252	469	25	3	6
24	405206	2025-03-13 23:49:01.000	12	13	2299	60	449	27	3	6
25	405205	2025-03-13 23:47:31.000	12	14	2299	252	469	25	3	6
26	405204	2025-03-13 23:43:31.000	12	14	2299	60	449	27	3	6
27	405203	2025-03-13 23:42:31.000	12	14	2299	252	469	25	3	6
28	405202	2025-03-13 23:37:31.000	12	13	2299	60	449	27	3	6
29	405201	2025-03-13 23:36:30.000	11	14	2299	252	469	25	3	6
30	405200	2025-03-13 23:34:30.000	12	15	2299	60	449	27	3	6
31	405199	2025-03-13 23:34:00.000	11	15	2299	156	464	27	3	6
32	405198	2025-03-13 23:32:30.000	11	15	2299	252	469	25	3	6
33	405197	2025-03-13 23:30:30.000	12	15	2299	156	464	27	3	6
34	405196	2025-03-13 23:29:30.000	12	14	2299	252	469	25	3	6
35	405195	2025-03-13 23:28:00.000	11	14	2299	156	464	27	3	6
36	405194	2025-03-13 23:27:00.000	12	14	2299	252	469	25	3	6
37	405193	2025-03-13 23:25:00.000	11	14	2299	156	464	27	3	6
38	405192	2025-03-13 23:24:00.000	11	14	2299	252	469	25	3	6
39	405191	2025-03-13 23:21:59.000	11	15	2299	156	464	27	3	6
40	405190	2025-03-13 23:20:59.000	10	14	2299	252	469	25	3	6
41	405189	2025-03-13 23:18:59.000	13	14	2299	156	464	27	3	6
42	405188	2025-03-13 23:17:59.000	13	13	2299	252	469	25	3	6
43	405187	2025-03-13 23:16:59.000	12	14	2299	156	464	27	3	6
44	405186	2025-03-13 23:14:59.000	12	15	2299	252	469	25	3	6
45	405185	2025-03-13 23:12:59.000	12	15	2299	156	464	27	3	6
46	405184	2025-03-13 23:11:59.000	11	15	2299	252	469	25	3	6
47	405183	2025-03-13 23:09:59.000	12	15	2299	156	464	27	3	6
48	405182	2025-03-13 23:08:59.000	12	14	2299	252	469	25	3	6

	id	TimeStamp	Alarme	Tempo	SendEmail
7	1637	2025-02-10 14:14:21.000	12	1,783333	1
8	1636	2025-02-10 14:12:35.000	12	0,01666667	1
9	1635	2025-02-08 07:45:44.000	12	8,533334	1
10	1634	2025-02-08 07:37:13.000	12	0	1
11	1633	2025-02-04 10:13:53.000	12	0,06666667	1
12	1632	2025-02-04 10:13:53.000	12	0	1
13	1631	2025-02-04 10:13:44.000	12	1,65	1
14	1630	2025-02-04 10:12:05.000	12	0	1
15	1629	2025-01-30 04:24:56.000	2	3,583333	1
16	1628	2025-01-30 04:21:21.000	2	0	1
17	1627	2025-01-26 17:52:14.000	19	1431,417	1
18	1626	2025-01-26 15:17:24.000	2	18,15	1
19	1625	2025-01-26 14:59:31.000	4	0,46666667	1
20	1624	2025-01-26 14:59:31.000	2	0	1
21	1623	2025-01-26 14:59:31.000	15	0	1
22	1622	2025-01-26 14:59:31.000	16	0	1
23	1621	2025-01-26 14:59:31.000	15	0	1
24	1620	2025-01-26 14:59:31.000	16	0,25	1



**Instituto Superior
de Engenharia**

Politécnico de Coimbra