IPS Instituto Politécnico de Setúbal
Escola Superior de Tecnologia de Setúbal

MANUEL TOMÁS ROCHA DE GOES

Implementação de um sistema SCADA para monitorização de consumos de energia elétrica na indústria vinícola

Relatório de Projeto de Mestrado

em Engenharia de Produção

ORIENTADOR

Professor Doutor Rui Vilela Dionísio

Novembro de 2021

Agradecimentos

Ao Instituto Politécnico de Setúbal, em especial à Escola Superior de Tecnologia de Setúbal onde realizei todo o meu percurso académico terminando no Mestrado de Engenharia de Produção e por todo o conhecimento e crescimento adquirido ao longo dos anos.

Ao Professor. Doutor Rui Vilela Dionísio pelo acompanhamento e orientação apresentada no decorrer da composição deste relatório de projeto de mestrado.

Ao Eng.º José Vieira, licenciado em Engenharia Eletrotécnica no ISEL, por todo o tempo e ensinamentos despendidos. A sua ambição e conhecimentos na área da automação foram os principais impulsionadores do sistema de supervisão reportado neste projeto.

À Dir.ª Paula Borrego pela oportunidade de reportar o projeto desenvolvido internamente na organização e à equipa de manutenção da José Maria da Fonseca Vinhos S.A. pela integração neste departamento.

À Ana Beatriz Filipe por ter estado sempre ao meu lado, apoiando-me a cada dia que passou durante estes 2 anos e à minha família e amigos que ao longo deste percurso me têm apoiado e motivado para terminar mais um objetivo pessoal.

“Todo o Homem tem algo que me possa ensinar, e neste sentido sou seu aluno”

Ralph Waldo Emerson

Resumo

A utilização de sistemas de Controlo de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA- *Supervisory Control and Data Acquisition*) permite às organizações recolherem dados de campo sem terem a necessidade de ter recursos humanos alocados a tarefas de valor não acrescentado. A implementação do sistema de supervisão descrito neste relatório permitiu à José Maria da Fonseca Vinhos S.A. desenvolver internamente uma ferramenta de gestão de energia elétrica enquadrada no paradigma da Indústria 4.0. Neste relatório é apresentado um enquadramento para a utilização de sistemas SCADA na indústria e da sua evolução com as tecnologias de digitalização e integração.

O sistema reportado trata-se de um projeto desenvolvido internamente na organização tendo uma topologia em estrela baseada em sistemas SCADA convencionais onde os analisadores de corrente instalados no campo comunicam com um servidor central computorizado, ou *Master,* através de cabos ou transmissores de rádio utilizando o protocolo de comunicação *Ethernet/IP*. Ao controlador *Master* integrou-se outro controlador, o *PLCNext Control*, que permite utilizar funcionalidades gratuitas de interface com o utilizador e a utilização de servidores remotos para armazenamento e apresentação de dados em painéis de controlo.

A implementação deste sistema permitiu à organização desenvolver a sua própria rede industrial, tomar os primeiros passos na integração dos seus processos com foco na digitalização de dados recolhidos automaticamente do campo e implementar melhorias que resultaram em reduções energéticas significativas nos consumos de equipamentos críticos.

Palavras-chave: sistemas SCADA, redes de campo, automação industrial, Indústria 4.0, gestão de energia, energia elétrica.

Abstract

The application of Supervisory Control and Data Acquisition systems helps organizations to obtain digital data from the field without having to allocate human resources to tasks that do not have any aggregated value. The implementation of the supervisory system described in this report enabled José Maria da Fonseca Vinhos S.A. to develop a tool for managing the electrical energy fitting with the paradigm of Industry 4.0. In this report it's given a framework regarding the application of SCADA systems in the industry and their evolution with technologies associated with digitalization and integration.

The system reported in this document is a project developed internally within the organization having a star topology based on conventional SCADA systems in which the current analyzers implemented on the field communicate with a Master Terminal Unit using cables or radio transmitters via an *Ethernet/IP* communication protocol. With the Master CPU a second controller was integrated, the *PLCNext Control*, that enables the use of free user interface applications, the storage of data in a remote server and the presentation of the data in dashboards.

The implementation of this system enabled the organization to develop its own industrial network, to take the first steps in the integration of its processes with focus on data digitalization gathered automatically form the field and the implementation of improvements that resulted in significant electrical savings on critical equipment.

Keywords: SCADA systems, fieldbus, industrial automation, Industry 4.0, energy management, electrical energy.

Índice

Agradecimentos ..... **i**

Resumo ..... **v**

Abstract ..... **vi**

Índice ..... **vii**

Lista de figuras ..... **xi**

Lista de tabelas ..... **xv**

Lista de siglas e acrónimos ..... **xvii**

Capítulo 1 ..... **1**

Introdução **1**

1.1. Enquadramento do tema **1**

1.2. Objetivos **1**

1.3. Estrutura da tese **2**

Capítulo 2 ..... **3**

Revisão bibliográfica **3**

2.1. Sistemas SCADA **3**

2.1.1. Enquadramento *3*

2.1.2. Estrutura de um sistema SCADA *5*

2.1.3. Outros sistemas de controlo *6*

2.2. Redes de Campo **7**

2.2.1. Enquadramento *7*

2.2.2. Protocolos de comunicação *9*

2.3. Indústria 4.0 e Industrial Internet of Things (IIoT) **14**

2.4. Casos de estudo **17**

2.4.1. Gestão de Energia Elétrica no Polo III da Universidade de Coimbra *17*

2.4.2. Gestão energética de edifícios inteligentes através da utilização de um sistema SCADA *19*

2.4.3. Sistema SCADA de baixo custo parra implementação numa micro-rede *25*

Capítulo 3 ..... **30**

Integração de um sistema de supervisão e monitorização 30

3.1. Caraterização da organização 30

3.2. Âmbito da implementação de um sistema de supervisão e monitorização 32

3.3. Monitorização do consumo de energia elétrica 33

3.3.1. Enquadramento 33

3.3.2. Objetivos da implementação do sistema SCADA na José Maria da Fonseca 36

3.3.3. Metodologia existente 37

Capítulo 4 40

Implementação do projeto 40

4.1. Arquitetura da rede industrial 40

4.1.1. Protocolo de Comunicação- Ethernet/IP 40

4.1.2. Componentes e Estrutura Utilizada 42

4.2. Integração inicial 47

4.2.1. Human Machine Interface (HMI) 48

4.2.2. Servidor Proficloud 52

4.3. Análise de resultados 54

Capítulo 5 63

Melhorias nos consumos energéticos 63

5.1. Análise de funcionamento dos *Chillers* CEN 63

5.1.1. Descrição do sistema 63

5.1.2. Análise dos dados de campo 64

5.1.3. Implementação de medidas de redução de consumo 66

5.1.4. Verificação do consumo energético após implementação de melhoria 66

Capítulo 6 70

Conclusões e proposta de trabalho futuro 70

6.1. Conclusões 70

6.2. Proposta de trabalho futuro 71

Bibliografia 72

Anexo I A1

Exemplo de Dados Retirados do Servidor *Proficloud* A1

Anexo II **A2**

Exemplo de Dados Trabalhados pelos Registos Manuais **A2**

Anexo III **A3**

Dados de Intensidade de Fases Retirados do Servidor *Proficloud* **A3**

Lista de figuras

Figura 1- Representação de um sistema de controlo de sensores a painel (adaptado de [2]). 4

Figura 2- Estrutura típica de um sistema SCADA (adaptado de [5]). 6

Figura 3- Diferentes topologias de rede LAN (adaptado de [9]). 9

Figura 4- Estrutura do modelo OSI. 10

Figura 5- Comparação dos níveis do modelo OSI com o modelo TCP/IP. 12

Figura 6- Exemplo de uma rede *Fieldbus* (adaptado de [14]). 13

Figura 7- Evolução da primeira revolução industrial até à Industria 4.0 (adaptado de [15]). 15

Figura 8- Dispositivos de campo utilizados no sistema SCADA do Polo III da Universidade de Coimbra. 17

Figura 9- Página principal do SGE *Web* [19]. 18

Figura 10- Exemplo de *cluster* e respetivos centroides [19]. 19

Figura 11- Representação de um sistema SCADA como integrador de BAS. 20

Figura 12- Resultados da simulação em Matlab, relação da resposta dos atuadores para a temperatura (a), para a luminosidade (b), para a utilização de luz natural (c) e para utilização de luz elétrica (d). 22

Figura 13- *Setup* utilizado para realização dos ensaios experimentais. 23

Figura 14- Resultados experimentais da resposta do controlador para as referências de temperatura. 24

Figura 15- Resultados experimentais da resposta do controlador para as referências de luminosidade. 24

Figura 16- Arquitetura do sistema da micro-rede (adaptado de [21]). 26

Figura 17- Estrutura de comunicação da micro-rede (adaptado de [21]). 26

Figura 18- Dados do teste do sistema SCADA da micro-rede. 27

Figura 19- Dados do teste da micro-rede de duração de 1 dia. 28

Figura 20- Dados do teste da micro-rede de duração de 1 semana. 28

Figura 21- Retrato de José Maria da Fonseca (retirado de [23]). 30

Figura 22- Produção de energia elétrica na união europeia, no período de 1995 a 2018 (adaptado de [29]). 33

Figura 23- Distribuição do consumo de energia primária na indústria, de acordo com Adene. 34

Figura 24- Vista aérea da José Maria da Fonseca e identificação das diferentes áreas (adaptado de Google). 38

Figura 25- Representação de comunicações por mensagens implicitas e explicitas (Adaptado de [35]). 42

Figura 26- Esquema da rede de comunicação industrial para tratamento de dados de energia. 43

Figura 27- Analisador energético *Powermonitor* 1000 (propriedade de Allen-Bradley). .. 44

Figura 28- Rádio Sure Cross MultiHop (propriedade de Banner). 44

Figura 29- Switch com gestão Stratix (propriedade de Allen-Bradley). 45

Figura 30- Router industrial Ixon 3.0 (propriedade de Ixon). 46

Figura 31- PLC CompactLogix 5370 (propriedade de Allen-Bradley). 46

Figura 32- PLC *PLCNext Control* (propriedade de Phoenix Contact). 47

Figura 33- Página principal do HMI energia JMF rede edifício A. 48

Figura 34- Página principal do HMI energia JMF rede CEN. 49

Figura 35- Página do HMI referente ao analisador dos *Chillers* do CEN. 50

Figura 36- Página de opções de arranque e repouso dos *chillers* do CEN. 51

Figura 37- Página de opções de alertas mensais dos *chillers* do CEN. 51

Figura 38- Painel de controlo do analisador do compressor 2 do edifício A no período de 1 de abril a 10 de abril de 2021. 52

Figura 39- Comparação entre diferentes agrupamentos de dados do analisador do compressor 2 do edifício A no período de 1 de abril a 10 de abril de 2021. 54

Figura 40- Exemplo de dados exportados para ficheiro .CSV. 55

Figura 41- Consumo de energia elétrica diária do compressor 2, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 3 de dezembro de 2020 a 31 de março de 2021. 56

Figura 42- Consumo de energia elétrica diária média para o compressor 2 entre os anos de 2019, 2020 e 2021. 57

Figura 43- Consumo de energia elétrica diária da Linha Nº1, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 3 de dezembro de 2020 a 31 de março de 2021. 57

Figura 44- Consumo de energia elétrica diária média para a Linha Nº1 entre os anos de 2019, 2020 e 2021. 58

Figura 45- Consumo de energia elétrica diária dos *Chillers* CEN, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 21 de janeiro a 31 de março de 2021. 59

Figura 46- Consumo de energia elétrica diária média para os *Chillers* CEN entre os anos de 2019, 2020 e 2021. 59

Figura 47- Consumo de energia elétrica diária da ETAR, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 21 de janeiro a 31 de março de 2021. 60

Figura 48- Consumo de energia elétrica diária média da ETAR entre os anos de 2019, 2020 e 2021. 60

Figura 49- Consumo de energia elétrica diária do refrigerador Vieira Inox, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 3 de dezembro de 2020 a 31 de março de 2021. 61

Figura 50- Consumo de energia elétrica diária do refrigerador Vieira Inox, dados retirados do servidor Proficloud referentes ao período de 12 de janeiro a 31 de março de 2021. 62

Figura 51- Intensidade diária média das fases dos *Chillers* CEN, período de 8 a 22 de fevereiro de 2021. 64

Figura 52- Intensidade diária média das fases dos Chillers CEN, período de 20 de março a 2 de abril de 2021. 67

Figura 53- Consumo da energia total ativa para dos equipamentos *Chillers* CEN para os anos de 2019, 2020 e 2021. 69

Lista de tabelas

Tabela 1- Resultados do desvio padrão da diferença entre dispositivos Arduino e Sentron PAC3200. 29

Tabela 2- Conversão das principais fontes de energia na indústria alimentar para TEP, retirado de [30] 34

Tabela 3- Listagem de Analisadores de Energia JMF. 37

Tabela 4- Caracterização dos *Chillers* CEN. 63

Tabela 5- Análise dos dados de intensidade para o período do dessulfitador operacional de 8 a 22 de fevereiro. 65

Tabela 6- Análise dos dados de intensidade para o período do dessulfitador inoperacional de 8 a 22 de fevereiro. 65

Tabela 7- Comparação dos consumos elétricos para o dessulfitador operacional e inoperacional, no periodo de 8 a 22 de fevereiro de 2021. 66

Tabela 8- Análise dos dados de intensidade para o período do dessulfitador inoperacional de 24 de março a 2 de abril. 67

Tabela 9- Comparação dos consumos elétricos para o dessulfitador operacional e inoperacional, no período de 24 de março a 7 de abril de 2021 68

Lista de siglas e acrónimos

BAS- Sistemas de Automação em Edifícios; Building Automation Systems

CAD/CAM- Computer Assisted Design/Computer Assisted Manufacturing

CIP- Protocolo Industrial Comum; Common Industrial Protocol

CNC- Comando Numérico por Computador; Computer Numerical Control

DCS- Sistema de Controlo Distribuido; Distributed Control System

ETAR- Estação de Tratamento de Águas Residuais

FCS- Sistema de Controlo Fieldbus; Fieldbus Control System

HMI- Interface Homem Máquina; Human Machine Interface

HTTP- Protocolo de Transferência de HiperTexto; HyperText Transfer Protocol

ICT- Tecnologias de Informação e Comunicações; Information and Communications Technology

IED- Dispositivos Eletrónicos Inteligentes; Intelligent Electronic Devices

IIot- Internet das Coisas Industrial; Industrial Internet of Things

IoT- Internet das Coisas; Internet of Things

IP- Protocolo de Internet; Internet Protocol

ISSO- Organização Internacional de Estandardização; International Standardization Organization

LAN- Rede Local; Local Area Network

MPC- Controlador de Modelo Preditivo; Model Predictive Controler

MTU- Unidade Terminal Mestre; Master Terminal Unit

OSI- Interconecção entre Sistemas Abertos; Open Systems Interconnection

PLC- Controlador Lógico Programável; Programmable Logic Controller

PSN- Rede Publica Comutável; Public Switched Network

RTU- Unidades Terminais Remotas; Remote Terminal Units

SCADA- Controlo de Supervisão e Aquisição de Dados; Supervisory Control and Data Acquisition

SGCIE- Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

SPI- Interface Periférica em Série; Serial Peripheral Interface

TCP/IP- Protocolo de Controlo de Transmissão/ Protocolo de Internet; Transmission Control Protocol/ Internet Protocol

TEP- Tonelada Equivalente de Petróleo

UDP- Protocolo de Datagramas do Utilizador; User Datagram Protocol

VBA- Visual Basic for Applications

VLAN- Rede Local Virtual; Virtual Local Area Network

VPN- Rede Virtual Privada; Virtual Private Network

WAN- Rede Dispersa; Wide Area Network

Capítulo 1
Introdução

Neste capítulo é realizada uma breve introdução acerca do conceito de gestão de recursos energéticos, da integração de sistemas de supervisão na monitorização dos mesmos e é apresentado o âmbito da implementação destes sistemas na José Maria da Fonseca Vinhos S.A.

São também apresentados quais os principais objetivos deste relatório de projeto e qual a estrutura apresentada para o mesmo.

1.1. Enquadramento do tema

A gestão dos recursos energéticos tem vindo a tornar-se um tópico de elevado foco, tendo vindo a ser implementadas diversas medidas legais que visam minimizar o impacto ambiental do consumo energético por parte das empresas. Para além das obrigações legais é importante que as empresas procurem ter em conta o impacto ambiental das suas decisões estratégicas, procurando atingir os principais objetivos de forma sustentável a longo prazo.

A implementação de sistemas de supervisão que monitorizam os recursos consumidos pelas organizações permitem tomar decisões estratégicas com base em dados recolhidos diretamente do campo. Estas decisões permitem avaliar de forma fidedigna o impacto que as alterações aos processos causam, determinando assim a eficácia das variações obtidas e dos custos associados.

Sendo o âmbito deste relatório reportar o trabalho de implementação de um sistema de supervisão de monitorização dos consumos energéticos desenvolvido numa organização da indústria vinícola, é importante abordar os paradigmas associados à Indústria 4.0 e à evolução dos sistemas de comunicação associados às redes industriais. O sistema reportado neste trabalho foi desenvolvido internamente na organização José Maria da Fonseca Vinhos S.A., tendo a programação dos controladores e arquitetura de *hardware* da rede sido realizados pelo responsável de manutenção e a implementação dos dispositivos de campo realizada pela equipa de manutenção.

1.2. Objetivos

Na realização deste relatório de projeto foram ponderados os conceitos base necessários a abordar para que o leitor consiga seguir de forma lógica a descrição do projeto desenvolvido e tenha um enquadramento para a compreensão das conclusões retiradas.

Deste forma os principais objetivos são:

- enquadrar os conceitos relevantes dos sistemas de supervisão e paradigmas associados com base na revisão bibliográfica, apresentando casos de estudo relevantes ao projeto implementado;
- apresentar uma descrição da empresa e do âmbito da implementação do sistema de supervisão com foco na gestão de energia elétrica;
- descrever a estrutura do sistema desenvolvido e dos passos tomados para a implementação do mesmo, avaliando o sucesso da implementação com base na análise dos dados recolhidos;
- analisar de forma crítica o funcionamento do principal consumidor de energia elétrica da organização, apresentado oportunidades de redução e avaliando a implementação das mesmas.

1.3. **Estrutura da tese**

Este relatório de projeto é composto por 6 capítulos principais, sendo o primeiro uma descrição do enquadramento da mesma e onde estão apresentados os principais objetivos do projeto. No segundo capítulo é apresentada a pesquisa bibliográfica encontrada relevante ao projeto, estando o mesmo dividido em 4 subcapítulos. É feito um enquadramento do conceito de sistema SCADA e das redes industriais, é apresentado o paradigma da Indústria 4.0 e do IoT Industrial (IIoT- *Industrial Internet of Things*) e para finalizar são apresentados 3 casos de estudo de projetos desenvolvidos relevantes para este projeto.

No terceiro capítulo é feito um enquadramento do projeto reportado, estando o mesmo dividido em 3 subcapítulos. É feita uma caracterização da organização da José Maria da Fonseca Vinhos S.A, são descritos os principais motivos que levam as organizações a procurarem implementar estes sistemas e é especificado o âmbito do foco na energia elétrica.

No quarto capítulo é apresentada a implementação do sistema de supervisão e monitorização desenvolvido, estando o mesmo dividido em 3 subcapítulos. É apresentada a estrutura da rede industrial desenvolvida, apresentando o protocolo de comunicação e as componentes utilizadas, são descritos os passos tomados e são apresentadas as análises iniciais que permitiram validar a implementação do sistema.

No quinto capítulo é apresentada a principal melhoria obtida com a implementação deste sistema no maior consumidor de energia elétrica da organização. É feita uma descrição do equipamento e do sistema que o mesmo alimenta, são analisados os dados de campo recolhidos pelo sistema de supervisão, é descrita a alteração ao processo implementada e são apresentados os resultados da análise da mesma.

No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões tomadas com a implementação do projeto reportado neste projeto, como o mesmo se enquadra nos conceitos e paradigmas abordados na revisão bibliográfica e são apresentadas propostas de futuros trabalhos que visam dar continuidade à evolução do sistema descrito.

Capítulo 2
Revisão bibliográfica

Neste capítulo é apresentada a pesquisa bibliográfica relevante para o projeto, tendo este capítulo o principal objetivo de introduzir alguns temas e conceitos importantes para a compreensão do restante conteúdo. O conteúdo apresentado baseou-se maioritariamente na informação obtida a partir de livros, teses e artigos científicos de estudos realizados nas áreas da automação e das redes de comunicação.

Para a compreensão do sistema desenvolvido no projeto deste relatório é introduzido o conceito de sistema SCADA, a sua estrutura típica e as principais diferenças destes comparativamente a outros sistemas de controlo. É em seguida feito o enquadramento do conceito de redes de campo e feita uma introdução aos protocolos de comunicação. São abordados os paradigmas da Indústria 4.0 e do IoT e das suas aplicações em meio industrial. De forma a enquadrar o projeto desenvolvido com diferentes aplicações são apresentados três casos de estudo relacionados com a implementação de sistemas de supervisão e controlo em diferentes áreas.

2.1. **Sistemas SCADA**

2.1.1. Enquadramento

Designa-se por sistema SCADA tecnologia que permite recolher dados de um ou múltiplos locais e enviar instruções de controlo. Os sistemas SCADA eliminam a necessidade de um operador permanecer ou deslocar-se a um local para realizar as tarefas de monitorização ou de controlo necessárias para o normal funcionamento de um equipamento [1].

Os primeiros sistemas SCADA utilizavam sistemas de aquisição de dados por meio de painéis de medição, luzes e registos de fita sendo o operador que manuseava diversos manípulos que permitiam realizar a supervisão de controlo. Na Figura 1 encontra-se representado um sistema de um equipamento cujo funcionamento se baseia nos sinais recebidos por sensores de campo e cuja monitorização é realizada através do painel do mesmo. Estes sistemas eram e continuam a ser utilizados para realizar tarefas de controlo de supervisão e aquisição de dados em fábricas e instalações de infraestruturas [2].

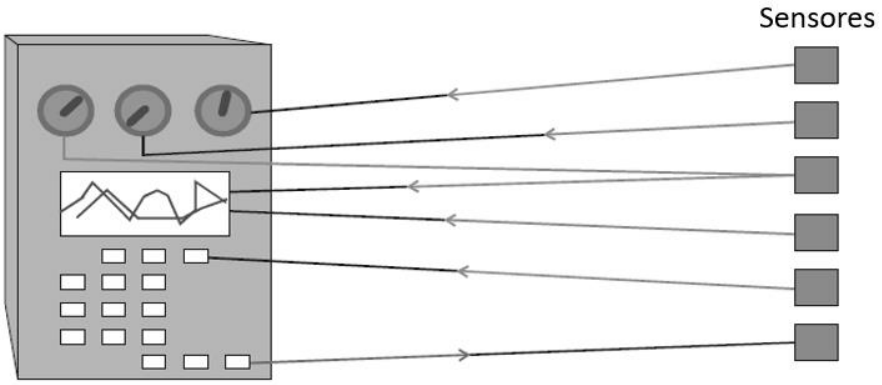

Figura 1- Representação de um sistema de controlo de sensores a painel (adaptado de [2]).

Os sistemas SCADA têm vindo a evoluir, mitigando os constrangimentos que os sistemas tradicionais inicialmente apresentavam, como por exemplo:

- na implementação de múltiplos sensores a utilização de múltipla cabelagem torna-se impossível de gerir;
- os dados recolhidos eram rudimentares e as quantidades mínimas, tal como o seu armazenamento;
- a implementação de novos sensores torna-se progressivamente mais difícil;
- reconfigurar o sistema torna-se extremamente difícil;
- impossível gerir os dados e os alarmes fora do local;
- necessidade de um operador para controlar os equipamentos.

A utilização de cabos de rede telefónica foi a chave para o desenvolvimento do primeiro sistema SCADA no final dos anos 50. A evolução da telemetria, sistemas de relés por telefone e esquemas de programação permitiu que a empresa *"Westinghouse and North Electric Company"* desenvolvesse um sistema de controlo de supervisão designado como *Visicode*. Este sistema é considerado o primeiro sistema SCADA [3].

Com a evolução de minicomputadores que permitiam utilizar processadores de 8 ou 16 bits, foi possível realizarem-se tarefas que inicialmente necessitavam de ser executadas por operadores dedicados. Com esta tecnologia os engenheiros compreenderam a funcionalidade dos computadores nestes sistemas.

Em 1969, a divisão *Hydramatic* da *General Motors* desenvolveu o primeiro controlador programável com o objetivo de eliminar os elevados custos associados aos sistemas de baixa flexibilidade controlados por relés. Os primeiros Controladores Lógicos Programáveis (PLC- *Programmable Logical Controller*) ofereciam funcionalidades de relé cumprindo assim com as necessidades de modularidade, expansão, programação e facilidade de utilização em ambientes industriais [4].

À semelhança de diversas tecnologias em ambiente industrial, o desenvolvimento dos PLC apresentou várias oportunidades na implementação de sistemas SCADA. Estes dispositivos permitiram às organizações aplicarem a tecnologia de supervisão e monitorização mais facilmente e com extrema flexibilidade. As equipas de engenharia conseguiam assim criar a lógica dos sistemas SCADA sem ser necessária a implementação de diversos relés para controlo do processo.

Outro ponto relevante no desenvolvimento dos PLC e sua implementação na indústria trata-se da possibilidade de integrar um controlador a realizar a função de supervisão e monitorização centralizada de um sistema a um custo muito mais reduzido. Tornou-se então viável a implementação destes sistemas nas unidades operacionais que não necessitam de estar ligadas a um sistema global, não estando assim estas implementações restringidas pelos elevados custos dos componentes físicos.

Desde então as evoluções dos sistemas SCADA têm vindo a focar-se no desenvolvimento dos sistemas de comunicação entre dispositivos e na melhoria das interfaces dos sistemas com os utilizadores sendo possível às organizações implementar estes sistemas com uma filosofia de produto chave-na-mão, por empresas de integração dedicadas. Atualmente estes sistemas encontram-se em constante desenvolvimento apresentando um elevado foco no paradigma da globalização e da digitalização.

2.1.2. Estrutura de um sistema SCADA

Inicialmente os sistemas SCADA estabeleciam ligações através da rede publica comutável (PSN- *Public Switched Network)* mas atualmente vários sistemas SCADA são aplicados utilizando ligações locais (LAN- *Local Area Network*) ou ligações dispersas (WAN- *Wide Area Network*).

A estrutura típica dos sistemas SCADA está apresentada na Figura 2 e consiste em:

- dispositivos de recolha de dados do campo, geralmente unidades terminais remotas (RTU- *Remote Terminal Units*) ou PLC que estabelecem a comunicação com os dispositivos de controlo como sensores, interruptores ou atuadores;
- sistema de comunicação utilizado na transferência de dados entre diferentes dispositivos do sistema. Este sistema pode ser de rádio, telefone, cabo, satélites ou uma combinação entre estes;
- um servidor central computorizado, por vezes identificado como centro SCADA, estação mestre ou unidade terminal mestre (MTU- *Master Terminal Unit*);
- um conjunto de *software* normalizados ou personalizados, identificados geralmente como *interface* homem máquina (HMI- *Human Machine Interface*). Estes sistemas fornecem dados ao servidor central e à aplicação de operação, mantêm os sistemas de comunicação operacionais e permitem monitorizar e controlar remotamente aparelhos de campo [5].

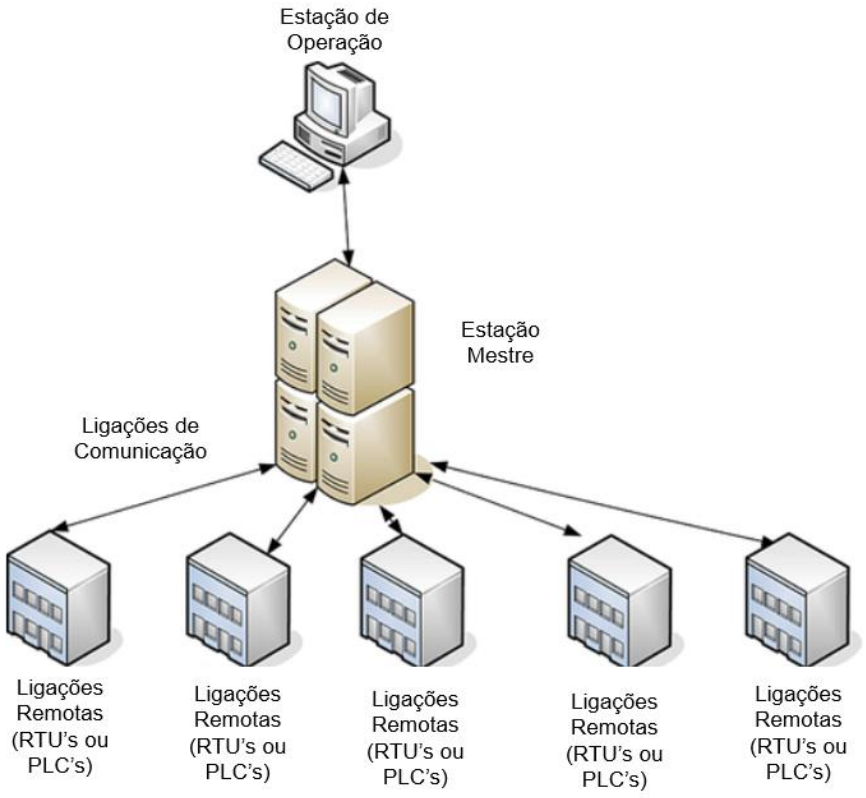

Figura 2- Estrutura típica de um sistema SCADA (adaptado de [5]).

2.1.3. Outros sistemas de controlo

Embora a aplicação e implementação dos sistemas SCADA em ambiente industrial tenha vindo a apresentar uma alta evolução ao longo dos anos esta não se trata da única solução para controlo de processos industriais. Com o aparecimento dos PLC na década de 1970 surgiu também os sistemas de controlo distribuído (DCS- *Distributed Control System*) e mais recentemente tem-se vindo a estudar a aplicação de instrumentação em rede, designada por Sistema de Controlo *Fieldbus* (FCS- *Fieldbus Control System*).

Designa-se por DCS a tecnologia estruturada por controladores distribuídos por diversas áreas de uma instalação que controlam o processo operacional. Os DCS têm vindo a evoluir permitindo às organizações a aplicação em variados processos. Estes sistemas são aplicados principalmente em processos cujos sinais de campo são principalmente analógicos ou cujas respostas necessitam de ser mais precisas.

A principal aplicação destes sistemas tem como foco o controlo do ciclo do processo a que este se designa e na área da organização a que este se encontra distribuído. Estes sistemas adequam-se a indústrias que utilizam múltiplos ciclos de controlo no processo, funções de controlo especificas, diferentes variáveis do processo e alarmes. Desta forma esta tecnologia tem vindo a evoluir com um especial foco na implementação em processos de produção contínua tal como centrais de energia,

petroquímicas, refinarias ou na indústria de pastas e compósitos [6].

Os sistemas de controlo deste tipo apresentam um conjunto de funções pré-definidas que permitem integrar mais facilmente os dispositivos de campo. Sendo que os processos típicos a que estes sistemas são aplicados necessitam de uma elevada fiabilidade e precisão as funções pré-definidas permitem às equipas de integração diminuir o tempo necessário para implementação e assegurar as variáveis a controlar. As comunicações destes sistemas são de alta velocidade de forma a garantir a precisão da resposta entre os dispositivos de campo e os atuadores.

Outra tecnologia que tem vindo a evoluir no ambiente industrial é a aplicação de dispositivos de instrumentação a comunicar em rede. Este conceito trata-se do FCS e tem vindo a ser implementado para diferentes aplicações sendo que cada dispositivo e processo apresenta as suas especificações.

Estes sistemas destacam-se por apresentarem uma ligação direta entre o utilizador e o dispositivo, existir uma alta precisão na transmissão e receção de dados e por apresentarem uma bidirecionalidade na comunicação. Não sendo necessários controladores para a análise dos dados recolhidos pelos dispositivos de instrumentação é assim possível reduzir os custos e a complexidade da rede e uma vez que os dados de transmissão são digitais é possível reduzir distúrbios causados pelo ruido, obter uma otimização no processamento dos mesmos e otimizar a sua precisão.

2.2. **Redes de Campo**

2.2.1. Enquadramento

Devido ao seu grande avanço tecnológico as redes de automação têm vindo a ser amplamente implementadas sendo que apresentam diversos benefícios comparativamente aos métodos tradicionais. Comparando com sistemas de ligação por cabos, existe uma diminuição de cablagens, uma maior facilidade de manutenção, flexibilidade na configuração da rede e facilidade no diagnóstico de dispositivos. Sendo que os protocolos de comunicação digital são padronizados, estas redes permitem a integração de equipamentos de diferentes fabricantes. Estes sistemas denominam-se como abertos e apresentam uma forte evolução no futuro em diversos sectores tecnológicos devido à sua flexibilidade e capacidade de expansão [7].

Como resultado de um rápido avanço tenológico, as áreas de tecnologias de informação têm vindo a acentuar-se no século XXI e as diferenças entre recolha, transporte, armazenamento e processamento de dados têm vindo a desaparecer. À medida que a nossa necessidade de tratamento de dados cresce, cresce também a necessidade de sistemas de informação mais sofisticados.

Amplamente falando existem dois tipos de tecnologias de transmissão de dados: *Broadcasting* e *Point-to-Point.* Os sistemas que utilizam *Point-to-Point* apresentam um conjunto de equipamentos

emparelhados individualmente. Para que um conjunto de dados chegue ao destinatário, por vezes esse pacote necessita de ser transmitido por diferentes aparelhos intermediários. Caso esta transmissão seja feita em apenas um sentido é designada como *unicasting* e *q*uando não existe restrição no sentido de transmissão designa-se por *multicasting.* No entanto, nos sistemas que utilizam *Broadcasting*, os canais de comunicação são partilhados entre todos os dispositivos emparelhados. Um campo de endereço é enviado em cada pacote com a designação do destinatário pretendido. Ao receber o pacote o dispositivo verifica o campo de endereço e caso o mesmo seja equivalente ao seu endereço este processa os dados enviados. Caso o endereço seja diferente o aparelho ignora os mesmos [8].

Certos equipamentos requerem que controladores estejam interligados, de forma a que os dados sejam transmitidos mais facilmente para as tarefas de controlo. Outros sistemas necessitam de um sistema de comunicação central, com funções de recolha de dados, monitorização do sistema, diagnósticos de manutenção ou gestão de relatórios de produção.

Na implementação de sistemas SCADA são geralmente utilizadas redes LAN. Uma rede LAN trata-se de um sistema de rede de alta velocidade e média distância. Um dos tipos de LAN tratam-se das redes industriais, que apresentam as seguintes características:

- capacidade de suportar controlo em tempo real;
- integração de elevados dados (deteção de erro);
- imunidade a elevado ruido;
- alta confiabilidade em ambientes severos;
- adequado a grandes instalações [4].

Sendo que estes sistemas são geralmente para uso em unidades fabris e no chão de fábrica, as comunicações são mais especificas que outros tipos de LAN, como por exemplo LAN empresariais. Enquanto que as LAN para uso industrial necessitam de imunidade a elevado ruido ou integração de elevados dados, nas LAN para uso empresarial estes requisitos não são relevantes uma vez que para uso em escritórios o ruido sonoro é baixo ou o utilizador pode, por norma, esperar alguns segundos que a informação seja rececionada. Esta última opção não é viável em ambiente industrial uma vez que certos equipamentos poderão necessitar de receber informações do PLC em intervalos de milissegundos.

A distribuição física dos diferentes dispositivos pertencente a uma rede LAN é definida como topologia de rede. Diversas topologias de rede podem ser estabelecidas para interligar diferentes dispositivos numa rede tais como barramento, estrela, anel ou uma mistura destes últimos [9].

Na Figura 3 encontram-se representados os diferentes tipos de topologia identificados e as características de cada um são as seguintes:

- **barramento-** nesta topologia todos os dispositivos estão ligados ao cabo de transmissão de pacotes. Caso existam diferentes ramificações deste cabo esta topologia pode também ser designada como barramento distribuído ou topologia em árvore;

- **estrela-** Nesta topologia os diferentes dispositivos estão unidos a um ponto central, no entanto, podem existir diferentes pontos centrais e este tipo é designado como topologia em estrela distribuída;

- **anel-** Nesta topologia todos os dispositivos encontram-se emparelhados formando um ciclo entre si. Neste tipo de topologia a direção da transmissão de pacotes é unidirecional.

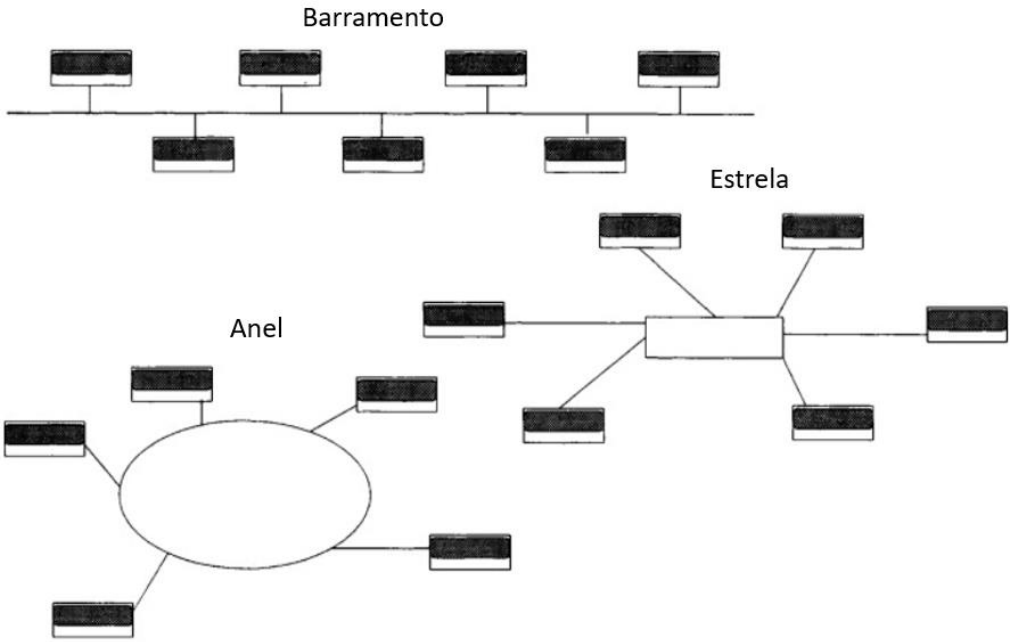

Figura 3- Diferentes topologias de rede LAN (adaptado de [9]).

2.2.2. Protocolos de comunicação

Modelo OSI e Modelo TCP/IP

A comunicação em rede entre computadores é possível através da utilização de protocolos, isto é, um meio de regras e restrições que definem como os dados são transmitidos. No início do desenvolvimento das tecnologias de redes várias companhias apresentavam as suas próprias estruturas protocolares, o que dificultava a interação entre computadores de diferentes fornecedores. De forma a mitigar este problema a Organização Internacional de Estandardização (ISO- *International Standardization Organization*) desenvolveu um modelo de protocolos no início dos anos 80. Este modelo trata-se do protocolo de Interconecção entre Sistemas Abertos (OSI- *Open Systems Interconnection)*, muitas vezes identificado como modelo OSI.

Este modelo foi desenvolvido de forma a que se estabelecesse uma estrutura de comunicação comum entre todos os sistemas de computadores. O protocolo OSI nunca foi amplamente implementado, mas a teoria por trás do modelo OSI foi imediatamente aceite. Este modelo serve como estrutura teórica

acerca de como os protocolos deveriam funcionar num mundo ideal e em equipamentos ideais. Desta forma o modelo OSI tornou-se o ponto de referência comum no qual todos os protocolos podem ser comparados [10].

De acordo com o modelo OSI, a tarefa associada à partilha de dados entre dois computadores pode ser dividida em sete níveis designadas por física, ligação de dados, rede, transporte, apresentação, sessão e aplicação, como se encontra apresentado na Figura 4. Cada um destes níveis descreve o processo necessário para enviar informação de uma aplicação a outra, bem como as interações entre níveis [11].

Figura 4- Estrutura do modelo OSI.

O modelo OSI pretende identificar em cada nivel qual a sua função, e não as especificações protocolares a serem utilizadas. Os diferentes níveis apresentam as seguintes funções:

- **nível físico-** este nível define a metodologia de transmissão de dados através de um canal de comunicação. A principal função deste nível baseia-se em garantir que quando um emissor envia um bit com um valor de 1 o recetor irá receber o bit com o valor de 1 e não de 0;

- **ligação de dados-** este nível transforma a transmissão original numa linha que não apresenta erros de transmissão indesejados. Isto é possível sendo que o emissor envia os dados em pacotes de dados e transmitindo os mesmos sequencialmente. Se o serviço estiver de acordo com o pretendido o recetor confirma a receção dos dados enviando um pacote de confirmação;

- **rede-** este nível controla as operações da sub-rede. Um desenho chave determina como os pacotes de dados são transmitidos da fonte ao destino pretendido. Caso exista acumulo de

dados na sub-rede é também função deste nível gerir este congestionamento com o auxílio de níveis superiores que adaptam a carga colocada na rede;

- **transporte-** este nível tem como principal função validar os dados enviados dos níveis superiores, segmentar os mesmos em unidades mais pequenas se necessário, enviá-las para o nível de rede e assegurar que os segmentos chegam na sua totalidade e corretamente ao seu destino;

- **sessão-** este nível permite a diferentes utilizadores estabelecerem sessões entre diferentes equipamentos em simultâneo. Estas sessões apresentam diversas funcionalidades tal como controlo de diálogo, gestão de código e sincronização;

- **apresentação-** este nível gere os conjuntos de dados não estruturados transmitidos pelos níveis inferiores transformando-os em conjuntos de dados com sintaxes e semânticas que as estruturas que operam nos níveis superiores conseguem definir e transmitir;

- **aplicação-** este nível apresenta uma variedade de protocolos que são necessários usualmente pelos utilizadores. Um exemplo deste protocolo de aplicação trata-se do protocolo de transferência de hipertexto (HTTP- *HyperText Transfer Protocol*). Quando um utilizador pretende aceder a uma página da rede, o navegador envia o nome da página a visitar utilizando HTTP e o servidor devolve a página pretendida [7].

Embora o modelo OSI apresente a estruturação de um protocolo de comunicação ideal, a sua metodologia prática é apenas teórica sem aplicações em contexto real. Na realidade, o modelo implementado globalmente para os níveis de rede e transporte trata-se do protocolo de controlo de transmissão/ protocolo de *internet* (TCP/IP- *Transmission Control Protocol/ Internet Protocol).*

Como se encontra apresentado na Figura 5 o modelo TCP/IP apresenta uma relação entre os seus níveis e as do modelo OSI, simplificando as mesmas e ficando com 4 níveis apenas. Para o modelo TCP/IP os níveis existentes apresentam as seguintes funções:

- ***interface* de rede-** este nível tem como função estabelecer a ligação física entre os dispositivos do sistema. Também conhecida como rede local ou nível de acesso à rede;

- **internet-** este nível tem como função isolar o servidor de requerimentos específicos da rede. O protocolo de Internet (IP- *Internet Protocol*) é aqui definido e verificado;

- **serviço-** este nível tem a função de fornecer os requerimentos do serviço do servidor. O TCP está aqui estabelecido, garantindo deste modo serviços de transmissão fiáveis;

- **aplicação-** este nível tem como função providenciar interações das aplicações e serviços entre o utilizador e o servidor [10].

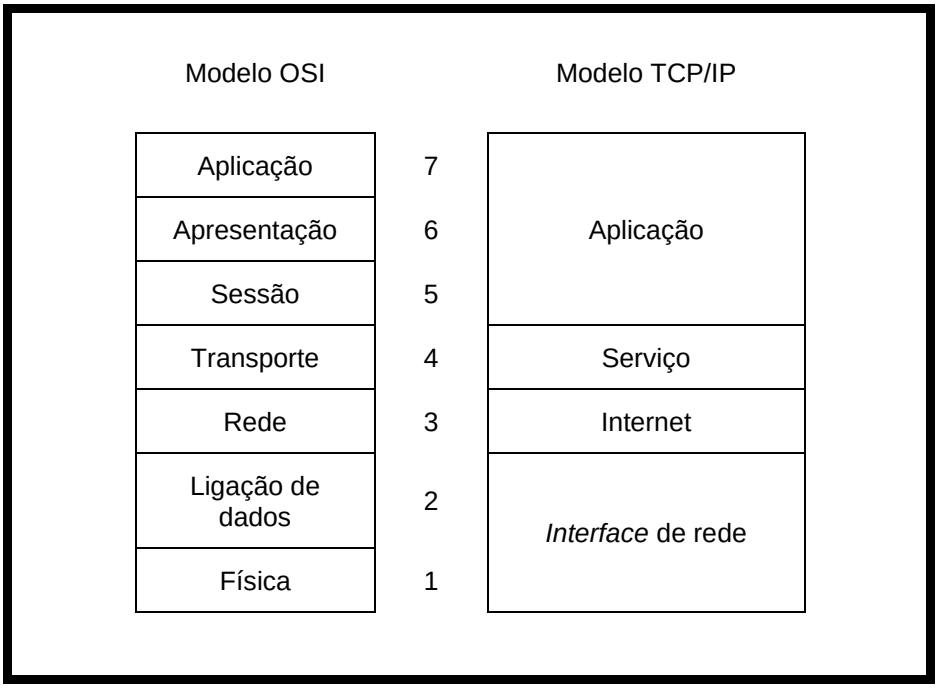

Figura 5- Comparação dos níveis do modelo OSI com o modelo TCP/IP.

Fieldbus e Ethernet

Em sistemas de automação industrial, os sinais de campo eram tradicionalmente transmitidos até ao dispositivo de controlo utilizando métodos de comunicação ponto-a-ponto que utilizavam tecnologias analógicas como sinais de corrente de 4-20mA ou mais recentemente sinais digitais como RS-422 ou RS-485. Estes métodos apresentam como maior desvantagem o custo associado à cablagem necessária para realizar a comunicação de cada dispositivo separadamente à rede. Existe também a desvantagem de que aplicando o método analógico de sinais de corrente de 4-20mA estes sinais apenas podem ser transmitidos num sentido. O custo associado a estes métodos vai também aumentando à medida que as necessidades de monitorização e controlo dos processos industriais evoluem, sendo que quanto mais complexo for o sistema maior será a dificuldade de implementação e manutenção dos métodos tradicionais.

Como tal, em 1994 os principais utilizadores e fornecedores de sistemas de automação industrial estabeleceram a fundação *Fieldbus.* Esta fundação tinha o principal objetivo de criar uma arquitetura para uma rede de comunicações focada nos dispositivos de campo para controlo de processos e

automação da produção. O *Fieldbus* trata-se de uma normalização para a LAN industrial que permite aos dispositivos de automação de campo comunicarem entre si. Dispositivos típicos de *Fieldbus* tratam-se de sensores, atuadores, controladores e outros sistemas computorizados como HMI ou servidores de gestão de processos. Este protocolo apresenta normas para os protocolos de rede e para os dispositivos associados [13]. De acordo com a norma IEC 61158, o *Fieldbus* pode ser definido como um sistema de dados digital, sequencial e de múltiplos níveis para comunicação entre equipamentos de instrumentação e controlo industrial [14].

Na Figura 6 encontra-se representado um exemplo genérico de uma rede *Fieldbus* para um sistema de comunicação composto por um processo de produção que recebe e envia dados de sensores e atuadores e que apresenta comunicação de dados com o chão de fábrica através de controladores programáveis e um sistema de monitorização.

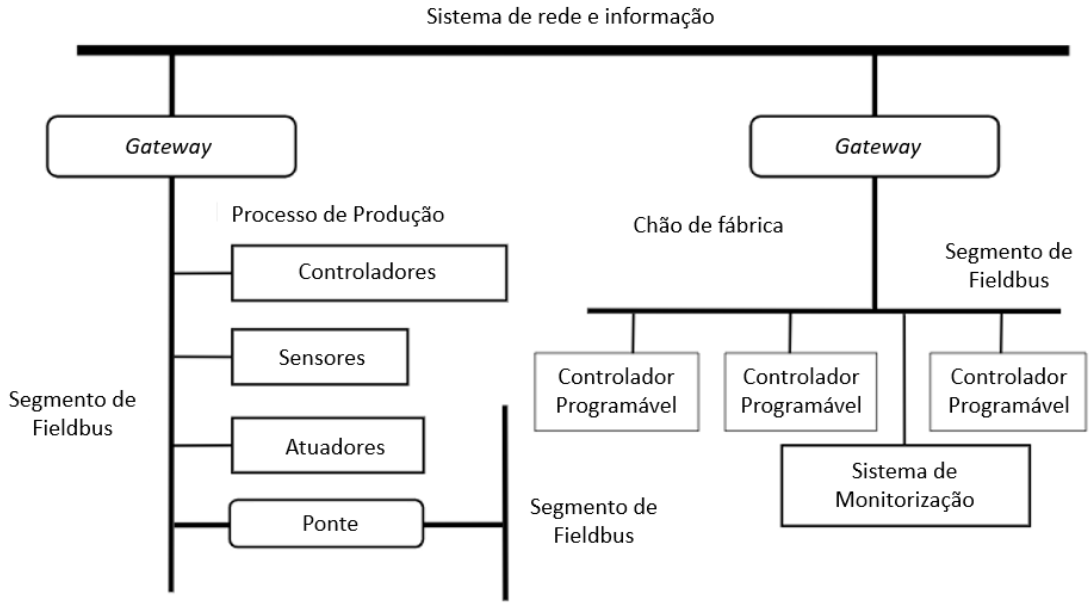

Figura 6- Exemplo de uma rede *Fieldbus* (adaptado de [14]).

Embora a *Ethernet* rapidamente se tenha estabelecido como o principal meio de comunicação em ambientes domésticos e empresariais, a sua implementação em ambiente industrial não foi imediata. Isto deveu-se ao facto de que este meio foi desenhado com serviços de qualidade não focados para redes industriais. No entanto, esta tecnologia tem vindo a evoluir nesta área e atualmente os protocolos *Fieldbus* apresentam um elevado foco neste meio de comunicação.

As velocidades de transmissão das mais recentes normalizações da *Ethernet*, como por exemplo a IEEE 802.3u, tornam mais fácil a criação de protocolos *Ethernet* em tempo real uma vez que a velocidade de emissão e receção são significativamente inferiores. Outra evolução que permitiu a este meio de comunicação estabelecer-se no meio industrial trata-se da possibilidade de implementar um *switch* ao invés dos tradicionais hub. Com isto, tornou-se possível que os diferentes dispositivos ligados na mesma rede comunicassem entre si através de *multicasting* [11].

2.3. **Indústria 4.0 e Industrial Internet of Things (IIoT)**

Com a evolução na procura por produções mais eficientes e flexíveis causadas pela globalização e concorrência das grandes organizações, as empresas necessitam de se adaptar às constantes evoluções nos sistemas de digitalização. Com isto introduz-se o termo Indústria 4.0 que define a quarta revolução industrial na qual surge um novo nível de organização e controlo sobre toda a cadeia de valor e ciclo de produção dos produtos. O foco deste paradigma baseia-se na maximização da integração digital no processo produtivo de modo a existir um foco total na melhoria continua, na maximização das atividades de criação de valor da empresa e na redução de tarefas de valor não acrescentado.

Na Figura 7 está apresentada uma representação da evolução das diferentes revoluções industriais desde o primeiro conceito de indústria. No final do século XVIII surgiu a primeira revolução industrial com a implementação de sistemas de produção mecanizados que utilizavam como fontes de energia água e vapor. O conceito evoluiu sendo que nos finais do século XIX estes sistemas começaram a ser alimentados por energia elétrica que, em paralelo com a criação do conceito de produção em massa, deram lugar àquela que foi identificada como a 2ª revolução industrial. A 3ª revolução industrial ocorreu a meio do século XX e baseia-se na introdução de sistemas de automação e tecnologia de microeletrónica no contexto industrial. No centro desta revolução estiveram as evoluções das tecnologias de informação e comunicação (ICT- *Information and Communications Technology*). O conceito de ICT define-se como os sistemas constituídos pelas interações entre componentes físicas, digitais, pelos dados e pelo utilizador de um processo. Alguns exemplos das evoluções destes sistemas tratam-se da criação de equipamentos com capacidade de comando numérico por computador (CNC- *Computer Numerical Control*), a implementação de células robotizadas permitindo um aumento de flexibilidade na produção, a introdução de sistemas de projeto e produção assistidas por computador (CAD/CAM- *Computer Assisted Design/Computer Assisted Manufacturing*) e a utilização de computadores para programação do planeamento de produções permitiu a introdução do conceito de produção integrada por computador (CIM- *Computer Integrated Manufacturing*) [15].

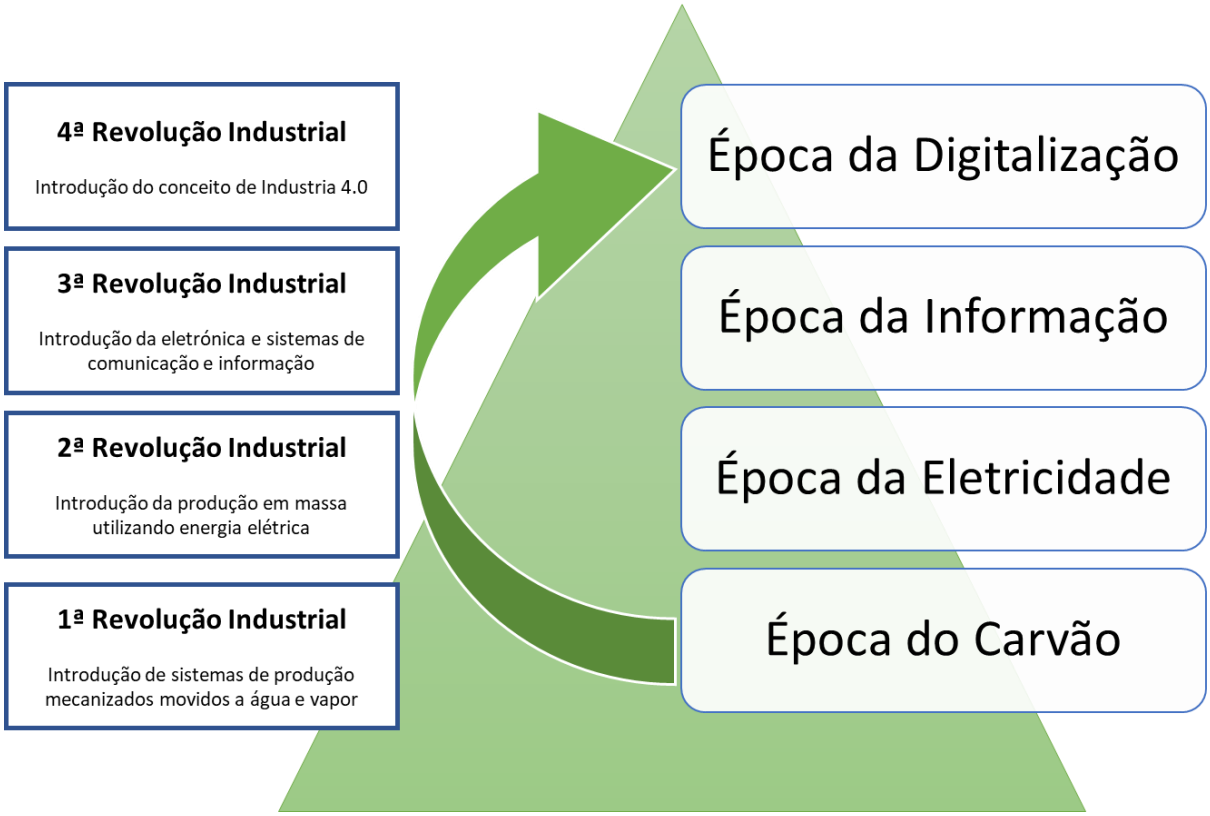

Figura 7- Evolução da primeira revolução industrial até à Industria 4.0 (adaptado de [15]).

No ano de 2011, na feira de Hannover, Alemanha, foi definido pela primeira vez o termo de indústria 4.0, que deu início à quarta revolução industrial. Este conceito baseia-se na implementação constante de melhorias através da aplicação de novas tecnologias de integração. Neste conceito destaca-se uma alta integração dos processos, dos produtos e dos serviços associados à cadeia produtiva.

O paradigma da indústria 4.0 apresenta como principal foco uma estratégia de competitividade a longo prazo, otimizando a cadeia de valor do produto através de controlos automatizados e dinâmicos. Com isto pretende-se que autonomamente e instantaneamente seja possível monitorizar e controlar todos os recursos e ativos associados ao processo produtivo. Deste paradigma nasce o conceito de fábricas inteligentes e produtos inteligentes, sendo possível a implementação destes sistemas graças à Internet das Coisas (IoT- *Internet of Things*) [16].

O conceito de IoT foi definido inicialmente em 1999 pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts e derivou das tecnologias de redes de radiofrequências. Este conceito foi então definido como “um conjunto de objetos com identidades e personalidades a operar em espaços inteligentes utilizando interfaces inteligentes de forma a conectarem-se e comunicarem em contextos sociais, ambientais e do utilizador.” Em soma, o conceito de IoT baseia-se numa rede global de objetos interligados, capazes de comunicar entre si através de protocolos normalizados.

O conceito de IoT tem vindo a espalhar-se e a ganhar popularidade devido às possibilidades que advém do desenvolvimento desta tecnologia nas áreas das comunicações sem fios. A utilização desta

tecnologia tem diversas aplicações no quotidiano, sendo que atualmente existem incontáveis dispositivos capazes de interagir e cooperar de forma a realizarem tarefas do dia-a-dia. A aplicação de dispositivos diversos como dispositivos de reconhecimento de ID, sensores, atuadores ou telemóveis permite criar um sistema IoT capaz de auxiliar na tomada de decisão através do armazenamento e processamento de dados [17].

Com o passar dos anos foi possível verificar a implementação de sistemas IoT em ambiente industrial. Este paradigma foi designado como IIoT e pode ser definido como o conceito de ligação dos diversos ativos de uma organização industrial, como equipamentos e sistemas de controlo, com os sistemas de informação e processos de negócios. Os dados recolhidos podem ser utilizados para otimizar a gestão das operações ou para otimizar os processos produtivos, sendo possível reagir mais rapidamente às alterações do sistema. Este conceito é definido como produção inteligente.

Deste modo, o conceito de IIoT distingue-se maioritariamente por ser focado nos equipamentos de fábrica, e tem vindo a ser implementado em diversos mercados e sectores da indústria. Embora existam diversas semelhanças entre os requisitos das comunicações IoT e IIoT, existem diferenças relevantes entre os diferentes conceitos, tal como a qualidade de serviço, a disponibilidade, a fiabilidade ou as definições de segurança e privacidade. O conceito de IoT apresenta um maior foco no desenvolvimento de novos protocolos de comunicação que permitem aos novos dispositivos interligarem-se mais facilmente no sistema existente. Por outro lado, o conceito de IIoT apresenta um maior foco na integração e comunicação dos diferentes equipamentos, infraestruturas e zonas de trabalho existentes na organização, permitindo assim a otimização da produção e implementação de novos serviços. Deste modo pode ser afirmado que o conceito de IIoT trata-se mais de uma evolução do que uma revolução, ao contrário do conceito de IoT [18].

2.4. **Casos de estudo**

2.4.1. Gestão de Energia Elétrica no Polo III da Universidade de Coimbra

Em fevereiro de 2020, Rui Marinho apresentou a sua dissertação para obtenção do grau de mestre no curso de engenharia eletrotécnica e de computadores na Universidade de Coimbra. Esta dissertação teve como tese a análise e gestão da energia elétrica nas instalações do Polo III da Universidade de Coimbra, na qual foi utilizado um sistema SCADA para monitorização dos dados. O método de estudo utilizado baseou-se numa análise de *Clusters* e foram estudados os diagramas de cargas registados para definição de padrões de consumos [19].

No Polo III da Universidade de Coimbra existe um sistema de monitorização de consumos que foi instalado por uma empresa cuja área de atividade é a apresentação e implementação de soluções para monitorização e gestão de energia. Foram adquiridos 2 módulos de monitorização, um módulo com a função de análise dos consumos registados e outro para a visualização dos mesmos através de um Web Browser. Existem dados disponíveis para análise desde o dia 31 de outubro de 2016, tendo sido realizada uma intervenção em 2019 para resolução de alguns problemas de recolha de dados de alguns contadores. No total existem 34 contadores no sistema, estando alguns a registar dados em paralelo para a energia ativa e para a energia reativa. Desta forma existem 57 dispositivos registados no *software* referentes ao Polo III.

No sistema SCADA implementado foram utilizados como dispositivos de campo 5 tipos diferentes de contadores de energia ligados a um PLC central que realiza a função de MTU, como apresentado na Figura 8. Os contadores utilizados tratam-se de contadores da Carlo Gavazzi EM21-72D (a), Jaanz A1700 (b), Landis Gyr+ E650 (c), ISKRA MT851 (d) e Actaris SL7000 (e). Estes contadores estão ligados a um autómato da Omron modelo CP1L (f) por Modbus.

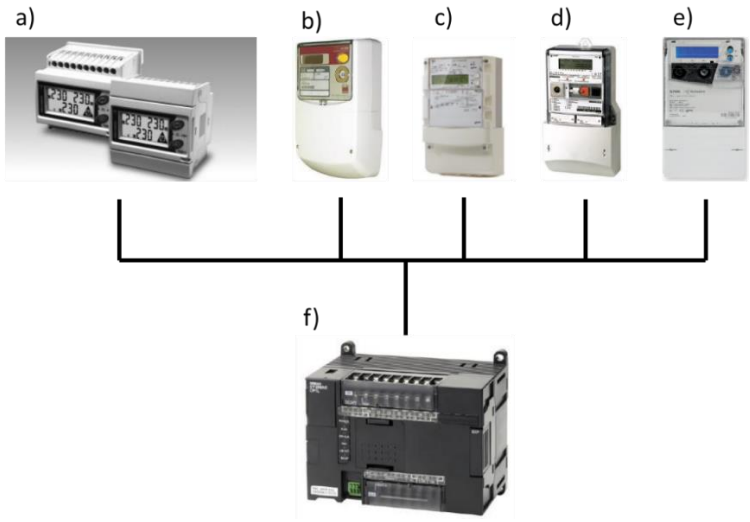

Figura 8- Dispositivos de campo utilizados no sistema SCADA do Polo III da Universidade de Coimbra.

Referente aos *softwares* de gestão adquiridos, o módulo de SGE Análise permite gerir e analisar os diferentes dados recolhidos do campo e também exportá-los. Este *software* permite verificar a listagem de dispositivos no sistema, realizar comparações entre os dados recolhidos dos diferentes dispositivos, verificar dados externos (temperatura, humidade e luminosidade) de sensores presentes no Polo III, a visualização gráfica dos diagramas de carga de qualquer contador, identificar os períodos elétricos para a desagregação de consumos, atualizar as tarifas de acesso à rede e exportar os consumos dos dispositivos para um ficheiro Excel.

Para uma visualização do *dashboard* do módulo SGE *Web* remotamente é possível aceder ao mesmo através do acesso ao endereço da aplicação e inserindo as credenciais que irão apresentar a página principal, como apresentado na Figura 9. Nesta aplicação é possível consultar os consumos de energia do Polo III, sendo que para este caso concreto apenas os consumos de energia elétrica estão a ser utilizados.

Nesta página são apresentados os indicadores para a gestão dos consumos de acordo com as predefinições da aplicação, sendo possível visualizar os consumos e custos associados, comparar com os registos de diferentes dias e médias. Esta aplicação permite também visualizar estes registos de forma individual ou fazer uma comparação entre diferentes contadores.

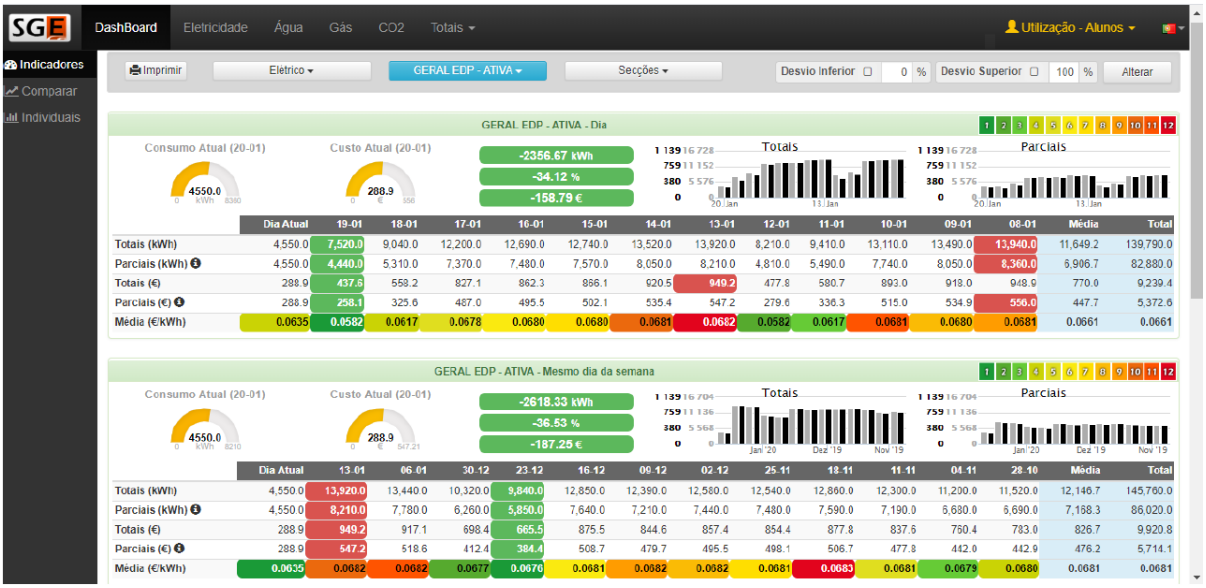

Figura 9- Página principal do SGE *Web* [19].

Estas ferramentas foram utilizadas para realizar um estudo dos consumos dos diferentes contadores do Polo III, analisando os perfis de consumo típicos. Esta análise realizou-se aplicando os métodos de *Clustering*, nomeadamente o algoritmo *K-means*, e utilizando os dados exportados para Excel no software de manipulação de dados *Matlab* para a obtenção de diagramas de cargas. Na Figura 10 está representado um destes estudos, estando à esquerda apresentada a representação gráfica dos consumos de diferentes dias e a sua variação ao longo de 24 horas e à direita estando apresentada a representação do centroide deste exemplo.

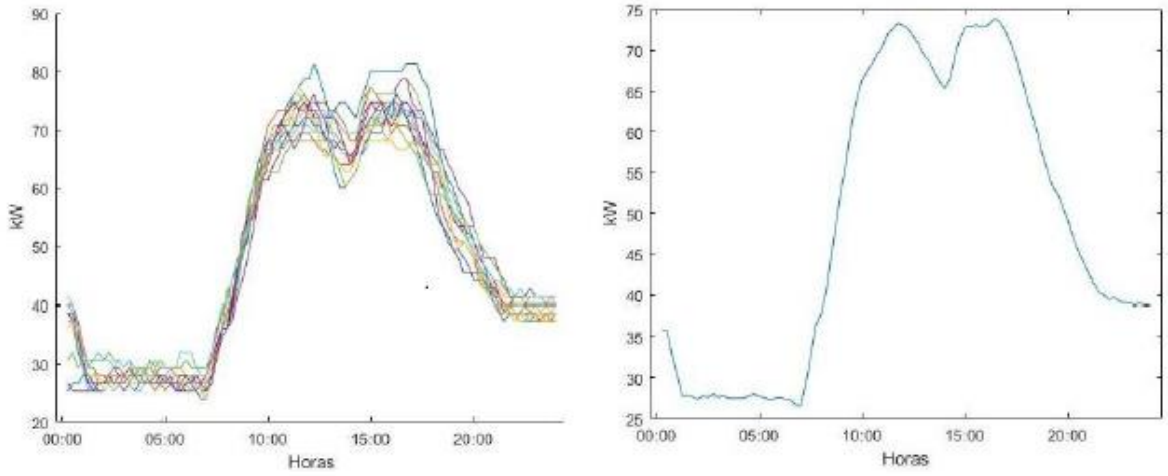

Figura 10- Exemplo de *cluster* e respetivos centroides [19].

Foram também feitas análises dos valores médios do fator de carga e do fator de diversidade, distribuindo os mesmos entre dias úteis, fins de semana e feriados, realizar uma comparação entre os valores registados do contador geral e da soma dos restantes para análise das perdas na rede e feita uma análise do consumo mensal de energia no ano de 2018.

Com estas análises retiraram-se as conclusões finais desta tese, tendo as mesmas sido:

- identificação de situações anómalas com contadores cuja quantização não era a correta ou identificação de quadros sem contadores;
- identificação de anomalias com algumas das funções a desempenhar nos programas SGE Web e SGE Análise;
- representação dos diagramas de cargas típicos para futuras análises e identificação de oportunidades de redução de consumos;
- avaliação da utilização de indicadores para gestão dos fatores de carga e de diversidade.

2.4.2. Gestão energética de edifícios inteligentes através da utilização de um sistema SCADA

Em janeiro de 2012, Figueiredo J. & Costa J. S. escreveram um artigo de publicação na *Energy and Buildings* onde foi descrito o desenvolvimento de um sistema SCADA para a gestão de energia em edifícios inteligentes. O objetivo deste projeto trata-se da descrição da implementação de um controlador de modelo preditivo (MPC- *Model Predictive Controller*) no nível superior da plataforma SCADA existente, com foco na satisfação de preferências de diferentes utilizadores [20].

Com a evolução da integração de sistemas de controlo nas áreas industriais, a implementação destes sistemas espalhou-se para diferentes setores. Na década de 1980 é desenvolvido o primeiro sistema de controlo digital para aplicação em edifícios no qual são controlados equipamentos de iluminação, de circulação de ar, temperaturas ou tarefas de segurança. Estes sistemas designam-se como sistemas de automação de edifícios (BAS- *Building Automation Systems*) e atualmente encontram-se amplamente implementados em casas, edifícios residenciais e complexos industriais com o principal objetivo de melhorar a interação entre os dispositivos implementados e os habitantes.

A implementação de sistemas SCADA tem vindo a evoluir com os desenvolvimentos verificados nos sistemas de comunicação, podendo ser designados como integradores de BAS, como representado na Figura 11. Neste artigo é desenvolvida e testada uma estrutura de controlo composta por dois níveis: o sistema SCADA designado como nível operacional e um nível interativo com a função de otimização das referências de controlo preferenciais restringido pela minimização dos consumos energéticos.

Figura 11- Representação de um sistema SCADA como integrador de BAS.

A estrutura do sistema SCADA apresentado no artigo tem uma estrutura típica, sendo apresentado o exemplo de uma sala de conferências onde os residentes conseguem demonstrar as suas preferências relativas à temperatura e luminosidade da sala através de painéis de interface distribuídos. Os painéis estão conectados a uma MTU, via Ethernet, que tendo em conta os dados recebidos ajusta os três atuadores do sistema: o sistema HVAC, precianas ajustáveis e a iluminação elétrica interior.

O sistema designado como nível interativo integra o sistema SCADA com o software Matlab através de um protocolo de comunicação de plataforma aberta (OPC- *Open Platform Communication*) de forma a implementar um algoritmo que permita determinar um controlo preditivo, ou seja, um modelo de controlo

capaz de satisfazer as limitações dinâmicas do processo. Neste nível foi implementado um controlador preditivo com capacidade para gerir o controlo de múltiplas variáveis, capaz de ter em consideração as limitações dos atuadores e que permite restringir o funcionamento das operações.

Sendo que este controlador não comunica diretamente com o sistema SCADA, o canal de comunicação foi realizado através do software Matlab. Para testar o funcionamento do sistema de dois níveis foi inicialmente realizada uma simulação no Matlab e posteriormente realizada uma simulação experimental.

Para as simulações foram definidos os seguintes parâmetros de teste:

- intervalo da simulação de 1 hora;
- temperaturas de referência geradas aleatoriamente entre os 20ºC e os 30ºC a cada 10 minutos;
- valores de luminosidade de referência gerados aleatoriamente de 0% a 100% a cada 10 minutos;
- temperaturas exteriores a 24ºC;
- luminosidade exterior correspondente a um céu limpo, equivalente a 100 %.

Na Figura 12 estão apresentados os resultados obtidos para a simulação realizada. No primeiro gráfico, identificado como a), está apresentada a relação entre a resposta dos atuadores de temperatura à alteração da referência padrão, onde se verifica uma resposta satisfatória sendo que a variação de temperatura é quase instantânea. No segundo gráfico, identificado como b), está apresentada a relação entre a resposta dos atuadores de luminosidade à alteração da referência padrão, sendo esta também satisfatória uma vez que o comando para atuação é instantâneo e a variação até ao valor pretendido é curto. Nos dois últimos gráficos estão apresentadas as percentagens de utilizações de luz natural e de luz elétrica, identificados como c) e d) respetivamente, verificando-se uma muito maior utilização da luz natural de forma a reduzir consumos energéticos, tal como pretendido.

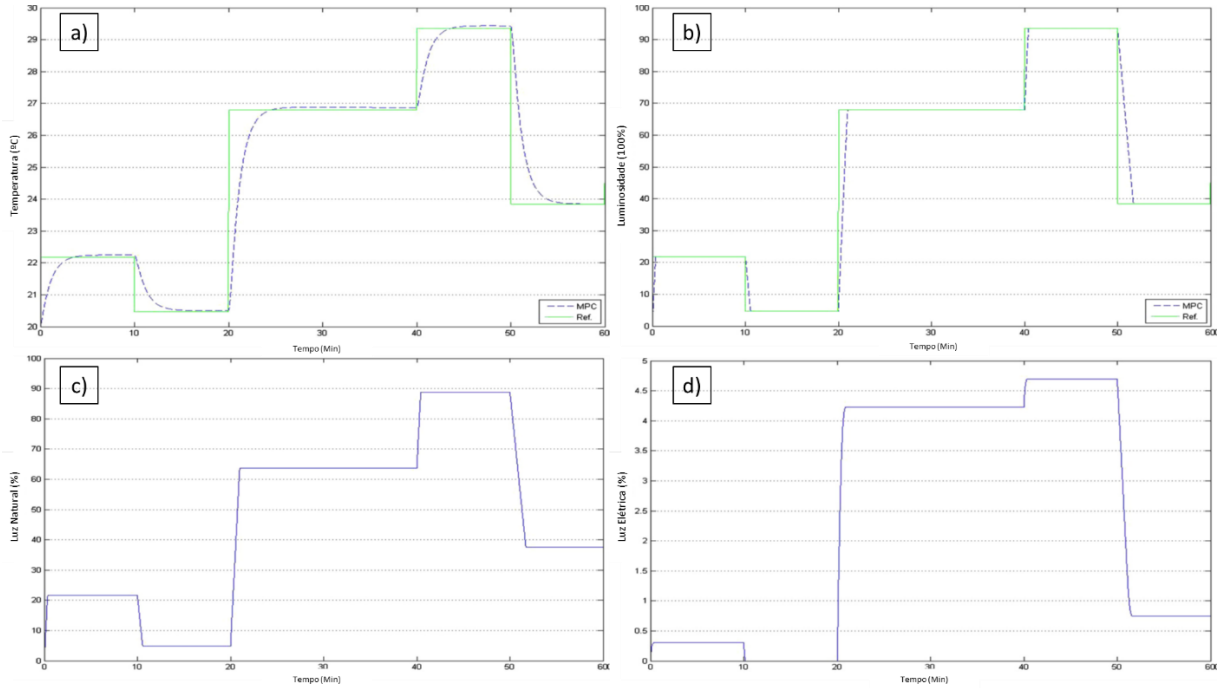

Figura 12- Resultados da simulação em Matlab, relação da resposta dos atuadores para a temperatura (a), para a luminosidade (b), para a utilização de luz natural (c) e para utilização de luz elétrica (d).

Após se ter verificado pelo ensaio de simulação que a comunicação entre os diferentes níveis e *softwares* é viável, realizou-se um ensaio experimental com dispositivos dispostos como apresentado na Figura 13. Neste ensaio foram utilizados:

- 2 HMI em comunicação com os controladores via *Profibus*;
- 1 controlador designado como PLC1 conectado via Ethernet ao servidor SCADA;
- 1 controlador designado como PLC2, a realizar as funções de MTU, conectado via Ethernet ao servidor SCADA.

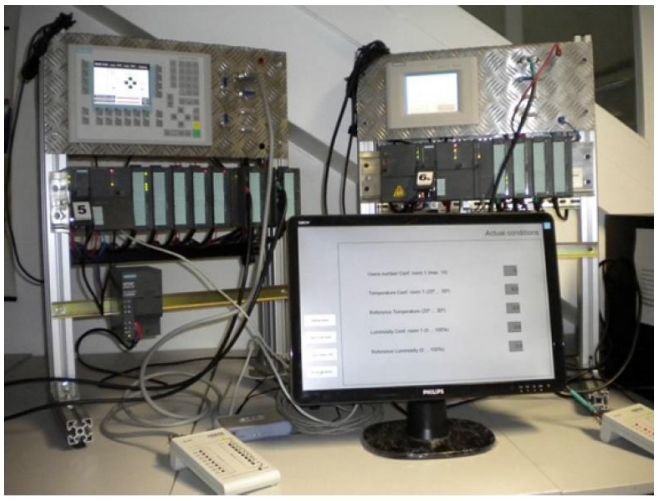

Figura 13- *Setup* utilizado para realização dos ensaios experimentais.

Sendo que para o ensaio realizado não existem atuadores a desempenhar as funções pretendidas de controlo HVAC, luminosidade natural ou intensidade de iluminação artificial, as respostas dos mesmos foram simuladas em Matlab. Sendo que para o ensaio apenas existem 2 HMI físicos e para o ensaio definiram-se 10 utilizadores, as referências padrões referentes aos restantes 8 utilizadores foram inseridas diretamente na interface gráfica do sistema SCADA. O ensaio teve a duração de 1 hora com as seguintes ações a serem realizadas:

- 0 min- início da experiência onde 9 utilizadores entram dentro da sala e escolhem as suas preferências;
- 5 min- utilizador Nº 6 entra na sala e define as suas preferências;
- 15 min- utilizadores Nº 1 e Nº 10 alteram as suas preferências;
- 25 min- utilizadores Nº3, Nº 4, Nº 7 e Nº 9 alteram as suas preferências;
- 40 min- utilizador Nº 2 ausenta-se da sala e utilizadores Nº 1, Nº 4, Nº 6, Nº 8 e Nº 9 alteram as suas preferências;
- 45 min- utilizador Nº 10 ausenta-se da sala e utilizadores Nº 4 e Nº 5 alteram as suas preferências;
- 50 min- utilizadores Nº1, Nº 4 e Nº 5 ausentam-se da sala e utilizadores Nº 6 e Nº 7 alteram as suas preferências;
- 55 min- todos os restantes utilizadores ausentam-se da sala;
- 60 min- fim do ensaio, todos os valores de referência retornam aos valores padrão: temperatura a 21 º C e luminosidade a 5 %.

Os resultados obtidos deste ensaio encontram-se apresentados graficamente na Figura 14 e na Figura 15, onde estão representadas a relação entre a variação dos valores de referência de temperatura e de luminosidade respetivamente. Como se pode verificar na Figura 14, nos primeiros minutos do ensaio

a referência padrão apresenta uma alta variação estando o CPU1 a definir a mesma. Após estes valores estabilizarem verifica-se uma excelente resposta por parte dos atuadores, verificando-se uma quase imediata resposta nas variações das referências. O mesmo se verifica na Figura 15 para a resposta dos atuadores de luminosidade, sendo que para esta variável a resposta é mais linear e imediata.

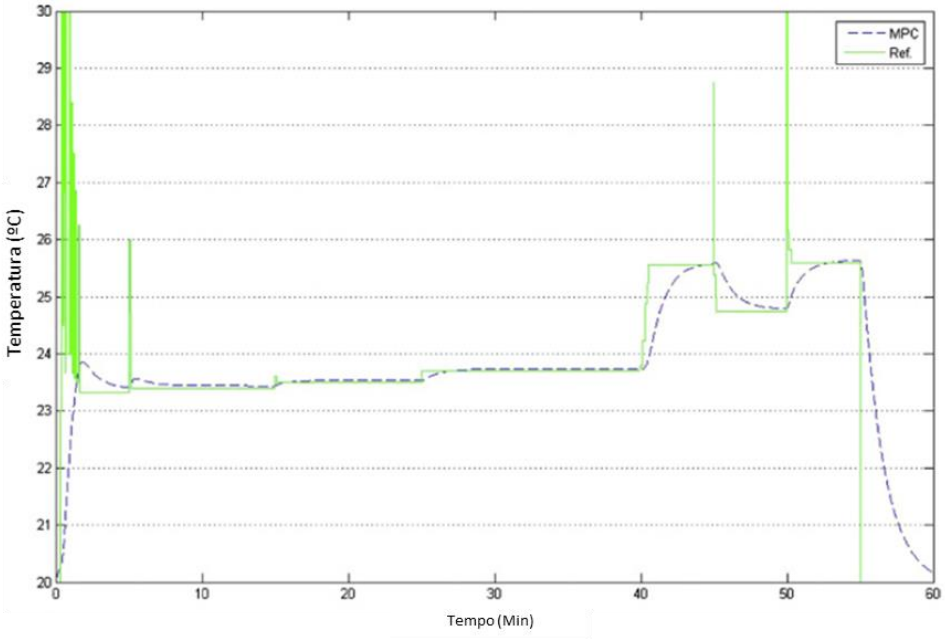

Figura 14- Resultados experimentais da resposta do controlador para as referências de temperatura.

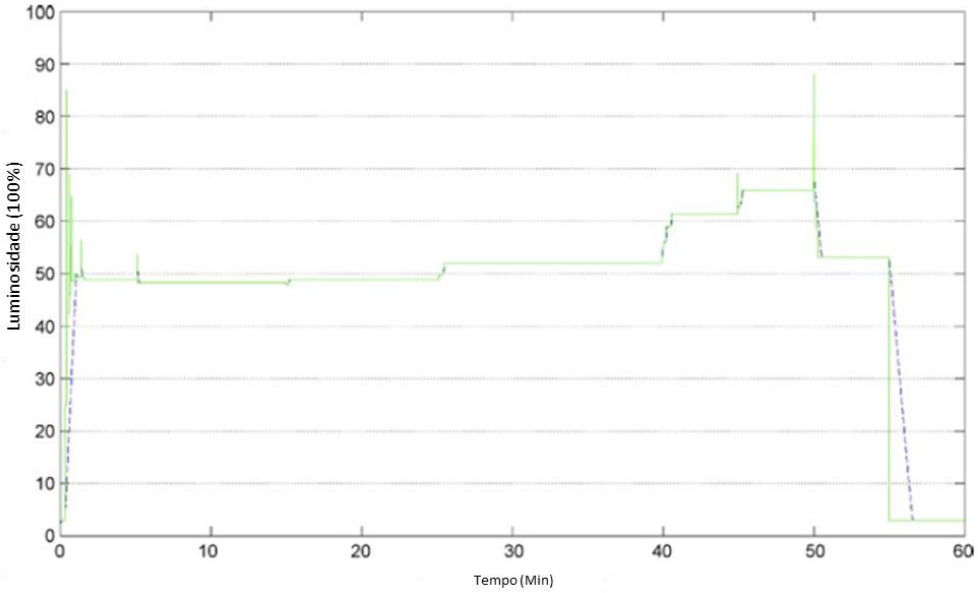

Figura 15- Resultados experimentais da resposta do controlador para as referências de luminosidade.

Tendo em conta o sistema implementado, os dados recolhidos e os resultados obtidos o projeto reportado neste artigo foi considerado como bem-sucedido uma vez que se conseguiu desenvolver uma plataforma de controlo operacional através da utilização de um sistema SCADA. Como se verificou nos ensaios simulados e nos ensaios experimentais, a implementação do sistema desenvolvido permite

otimizar a resposta dos atuadores de forma a satisfazer a resposta às preferências de múltiplos residentes. Esta resposta está ainda constrangida pela programação que prioriza a diminuição dos consumos energéticos, como pretendido.

2.4.3. Sistema SCADA de baixo custo parra implementação numa micro-rede

Em setembro de 2019, Vargas-Salgado, C.; Aguila-Leon, J.; Chinas-Palacios, C. & Hurtado-Perez, E., escreveram um artigo de publicação no jornal *Heliyon* onde foi descrito o desenvolvimento de um sistema SCADA de baixo custo para a gestão da produção energética numa micro-rede de energia renovável híbrida. Este projeto foi desenvolvido no âmbito de fornecer ao Laboratório de Energias Renováveis da Universidade Politécnica de Valência um sistema de supervisão, controlo e aquisição de dados que seja econômico [21].

Com o aumento da procura de energia nos últimos anos, as redes de fornecimento de energia têm vindo a evoluir e a incorporar diversas fontes de produção de energia renovável nos seus sistemas. Um dos métodos aplicados foi a implementação de sistemas de micro-redes, ou seja, sistemas integrados de múltiplas fontes de energia renovável e armazenamento energético que podem apresentar duas topologias: centralizados ou descentralizados. Num sistema de micro-rede típico, a gestão de dados de campo é geralmente realizada através de PLC e aplicações dedicadas, mas sendo que existe ainda falta de estandardização nesta área existem diversas características a ter em consideração na fase de implementação.

Este projeto foi realizado com o âmbito de desenvolver dispositivos em Arduino que permitem processar os dados de campo, integrados com um computador de placa Raspberry-PI que transmite os dados para uma base de dados local e uma base de dados remota, a MySQL Web-DB. Esta base de dados está interligada a uma interface SCADA na internet. Na Figura 16 está apresentada a arquitetura do sistema a ser desenvolvido. A nível de campo a rede é constituída por um sistema de painéis fotovoltaicos, uma turbina eólica, uma central de gasificação de biomassa, um banco de baterias e um sistema de armazenamento de energia. Os dados de campo são recolhidos digitalmente através de sensores e medidores de potência para obter os valores elétricos como potência, corrente, frequência, fatores de potência e geração e consumo de energia integrados com os dispositivos Arduíno, tal como sinais meteorológicos.

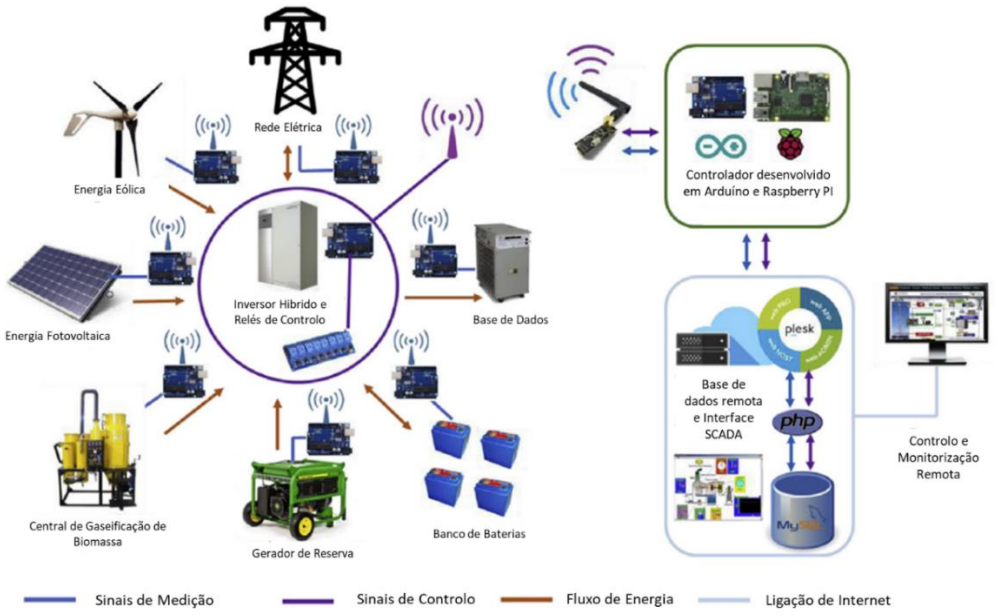

Figura 16- Arquitetura do sistema da micro-rede (adaptado de [21]).

Na Figura 17 está apresentada a estrutura de comunicação de dados do sistema. Os sinais recolhidos do campo pelos dispositivos Arduíno são transmitidos por um transmissor de radiofrequência e utilizando um protocolo de comunicação de Interface Periférica em Série (SPI- *Serial Peripheral Interface)*. Os dados são tratados pelo recetor Arduíno e pela placa Raspberry PI, que posteriormente os envia para a base de dados local e para uma base de dados remota, a MySQL. Com a integração do servidor web PLESK os utilizadores podem interagir com a interface do sistema SCADA utilizando linguagens de programação como HTML5, Javascript ou PHP.

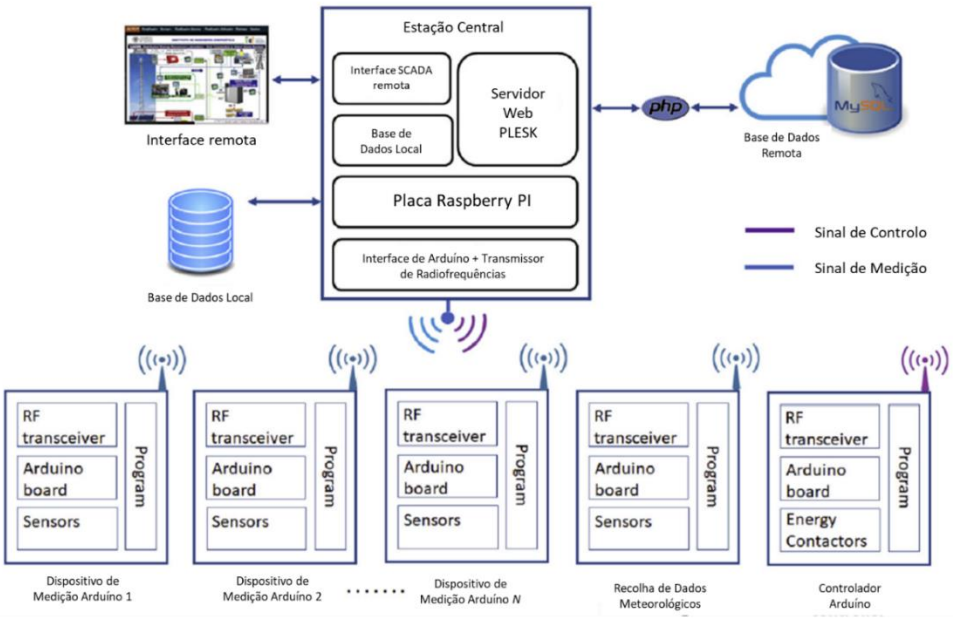

Figura 17- Estrutura de comunicação da micro-rede (adaptado de [21]).

Para testar o sistema desenvolvido foi realizado um teste em junho de 2018, e os resultados do mesmo encontram-se apresentados na Figura 18. Durante o ensaio ocorreram flutuações na necessidade de fornecimento de energia entre os 800 W e 3.97 kW que foram fornecidas pelo sistema de painéis fotovoltaicos, a rede de energia e pelo banco de baterias. Nesta representação, os valores positivos tratam-se da necessidade de energia do sistema e os valores negativos o fornecimento da mesma. Como se verifica, inicialmente o fornecimento de energia do sistema foi alimentado pelo banco de bateria e em seguida pela rede elétrica. Apenas no final do ensaio é que a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos foi utilizada.

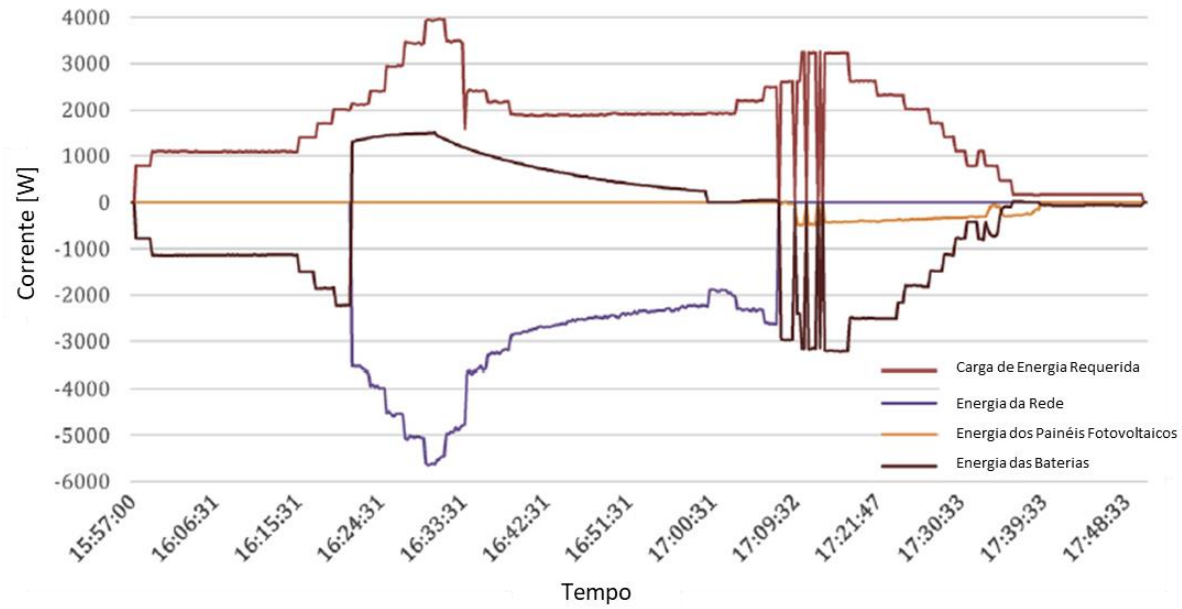

Figura 18- Dados do teste do sistema SCADA da micro-rede.

Também foram realizados testes de maior duração, onde os resultados gráficos se encontram apresentados na Figura 19 e na Figura 20, referentes a um período de 1 dia e de 1 semana respetivamente. Nestes testes foram registados os dados da energia gerada pelo sistema fotovoltaicos e pelo sistema eólico comparativamente à energia requerida à micro-rede para alimentação de luzes, computadores dos pesquisadores e dos dispositivos do sistema SCADA. Os dados obtidos são suficientes para comparar os valores recolhidos pelos dispositivos Arduino e um medidor de potência Siemens Sentron PAC3200.

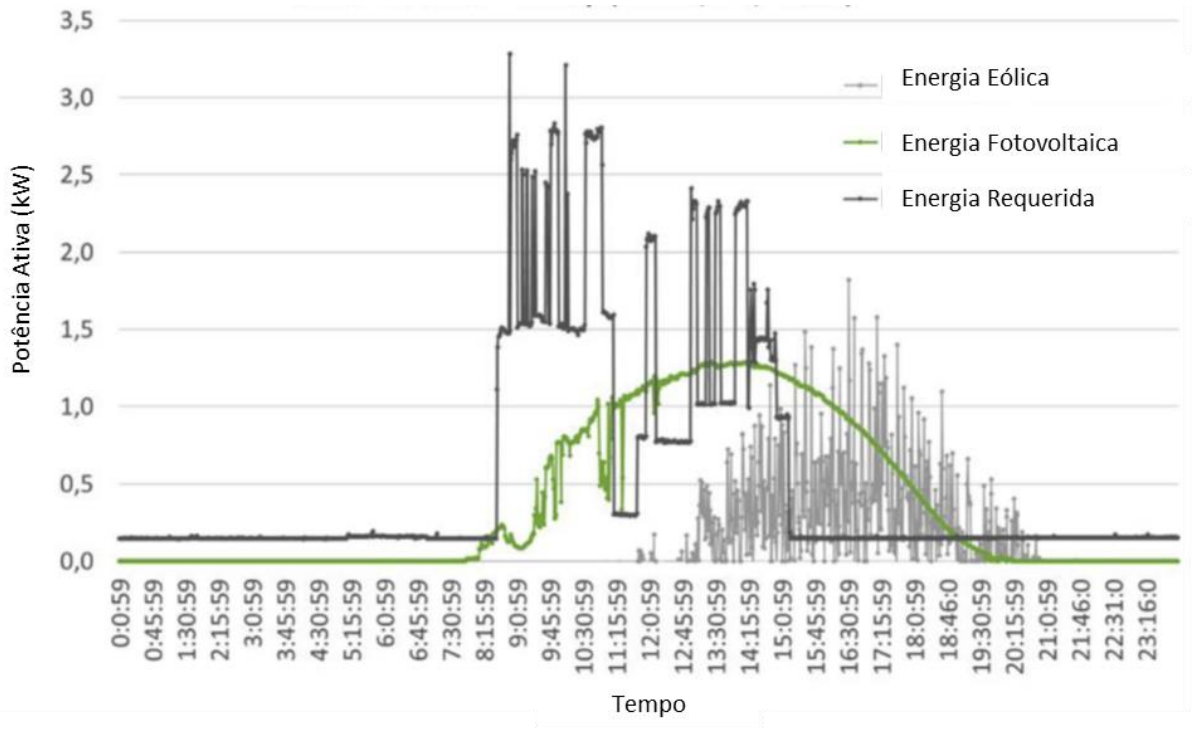

Figura 19- Dados do teste da micro-rede de duração de 1 dia.

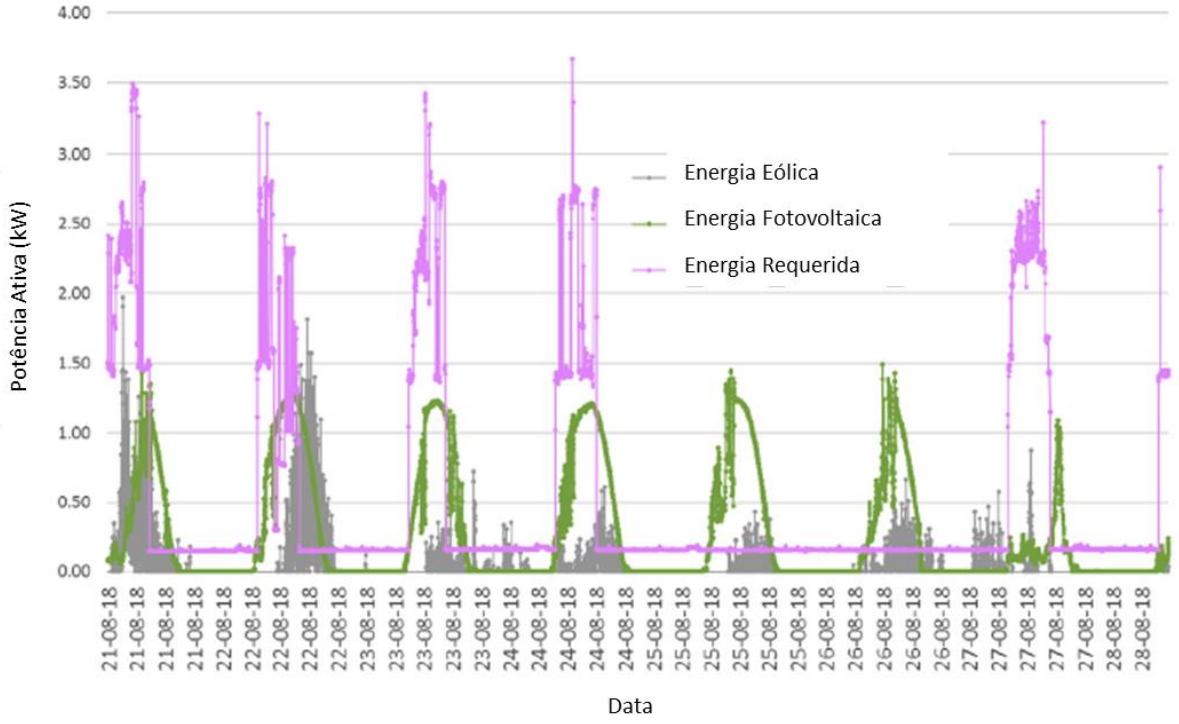

Figura 20- Dados do teste da micro-rede de duração de 1 semana.

Para comparar os dispositivos de medição Arduino com os medidores de potência de referência foi calculado o desvio padrão médio entre a diferença dos valores obtidos de cada dispositivo para a potência ativa, a potência, a intensidade e a frequência da rede AC. Foi também testada a diferença de valores para a micro-rede ligada à rede e separada da mesma. Para esta comparação foram tidas 6 506 medidas como amostra e os resultados encontram-se apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados do desvio padrão da diferença entre dispositivos Arduino e Sentron PAC3200.

Variável	Teste com rede de energia	Teste sem rede de energia
Potência Ativa	2,720	2,268
Potência Rede AC	1,734	1,121
Intensidade Rede AC	0,068	0,107
Frequência Rede AC	0,058	0,079

Para os autores os valores obtidos são aceitáveis pelo que é possível afirmar que os dispositivos de medição Arduino se tratam de uma alternativa económica ao medidor de potência de referência. Após avaliados os custos do sistema o mesmo apresenta um valor de implementação de 1 315,00 €, um valor de aproximadamente 14% do custo de implementação espectável de um sistema SCADA chave na mão.

Sendo que o principal objetivo dos autores se tratava da implementação de um sistema SCADA económico na micro-rede do Laboratório de Energias Renováveis da Universidade Politécnica de Valência, o projeto foi concluído com sucesso. O artigo descreve a implementação do sistema, a sua arquitetura e o trabalho realizado nos dispositivos desenvolvidos de forma a reduzir drasticamente os custos de implementação. Após testes e análises de custos o sistema desenvolvido mostra-se uma alternativa viável e económica para a monitorização e aquisição de dados de uma micro-rede.

Capítulo 3

Integração de um sistema de supervisão e monitorização

Neste capítulo é feito um enquadramento do projeto reportado neste relatório, tendo como principal objetivo apresentar de forma coesa os elementos que levaram à implementação do sistema de supervisão na organização. O conteúdo apresentado baseou-se maioritariamente em informação encontrada em artigos de revista, web sites e estudos realizados na área da gestão energética.

De forma a enquadrar a organização é feita uma apresentação da José Maria da Fonseca Vinhos S.A., da história do seu fundador, da sua evolução ao longo dos anos e é dado a conhecer o estado atual da mesma. É também dado a conhecer o âmbito da implementação de um sistema de supervisão nas organizações, o impacto dos mesmos na gestão de consumos energéticos e descrita a decisão estratégica que levou a organização a implementar um sistema de supervisão para a monitorização da energia elétrica.

3.1. Caraterização da organização

A empresa José Maria da Fonseca foi fundada há quase dois séculos, em 1834, onde foi estabelecida com o nome do seu fundador. Trata-se de uma empresa de renome na atividade vinícola e é atualmente o mais antigo produtor de vinhos de mesa e de moscatel de Setúbal em Portugal [22].

Em 1834, José Maria da Fonseca, que pode ser visto no seu retrato na Figura 21, visita uma propriedade na península de Setúbal pertencente à empresa “Contratos dos Tabacos” da qual o seu pai pertencia. José Maria da Fonseca adquire esta propriedade onde fundou assim a empresa de seu nome.

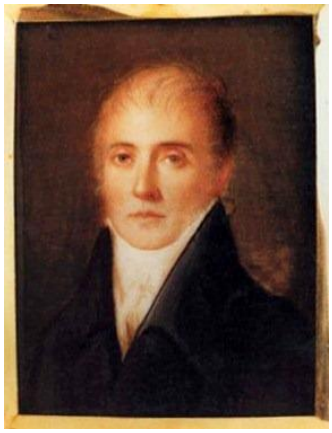

Figura 21- Retrato de José Maria da Fonseca (retirado de [23]).

José Maria da Fonseca mostrou-se revolucionário na indústria vinícola implementando diversas inovações e desenvolvimentos na sua organização, procurando reduzir o trabalho árduo nos trabalhadores e implementando metodologias de trabalho não convencionais. Um destes exemplos trata-se de uma das suas primeiras implementações na qual alterou a organização das suas vinhas para que existisse mais espaço entre fileiras de forma a que a terra passasse a ser lavrada por mulas e que permitiu uma melhor exposição solar. Com esta inovação os trabalhadores que lavravam os campos foram substituídos por animais em 1840 ao que produtores de vinhos internacionais intitularam de “revolução nos campos”.

Ao longo da sua administração, José Maria da Fonseca procurou sempre gerir a sua empresa de forma visionária impulsionando a mecanização de trabalhos, introduzindo o uso de rótulos e tornando-se na primeira empresa vinícola a comercializar vinho tinto em Portugal. Em 1850 é criado o vinho Periquita, vinho este conhecido como o primeiro tinto a ser engarrafado nacionalmente. Graças às suas implementações e desenvolvimentos na indústria vinícola, José Maria da Fonseca ficou notoriamente conhecido e o seu nome tornou-se valorizado tanto no âmbito empresarial como político, tendo recebido honras por parte do rei D. Pedro V [23].

Após o falecimento de José Maria da Fonseca, em 1884, termina o primeiro de quatro ciclos da história da empresa. Após a sua morte, a empresa vira o seu foco para o mercado estrangeiro. Procura-se então criar uma expansão no território do Brasil, sendo que no final da década de 1920 estes esforços foram abandonados devida à recessão da época, na qual a empresa se viu com enormes dificuldades financeiras.

De forma a reerguer a empresa, segue-se o ciclo do Rosé, marcado pelas implementações do enólogo António Porto Soares Franco que cria os rosés Faísca em 1937 e Lancers em 1944. Estes vinhos tornam-se grandes sucessos internamente e internacionalmente, sendo o Lancers conhecido na América através de Henry Behar.

Em 1985 inicia-se o quarto e atual ciclo, denominado como ciclo dos mercados estratégicos. Neste período a empresa manteve uma mentalidade de crescimento, expansão e investimento nas suas operações. Mantendo a gestão da empresa nas gerações seguintes da família Soares Franco, neste período foi adquirida a aquisição de vinhas e procurado modernizar o processo de vinificação, estágio e envelhecimento dos vinhos. De forma a apresentar resposta às crescentes exigências do mercado foi desenvolvido e implementado um centro de vinificação que permite vinificar 6,5 milhões de litros de vinhos, um dos mais modernos centros de vinificação na Europa.

Atualmente a José Maria da Fonseca mantém-se um dos nomes de maior reconhecimento no mercado vinícola nacional e internacional, procurando manter as filosofias de desenvolvimento e inovação passadas de geração em geração. É possível encontrar produtos desta marca em mais de 70 países diferentes, apresentando mais de 30 marcas que procuram representar as principais regiões vitivinícolas nacionais [24].

3.2. **Âmbito da implementação de um sistema de supervisão e monitorização**

Atualmente um dos tópicos mais relevantes na indústria trata-se da disponibilidade e fiabilidade das informações, tendo em conta os desenvolvimentos tecnológicos que se verificam com a evolução da indústria 4.0. É fulcral para a otimização de uma organização garantir a recolha dos dados de campo relevantes para a correta análise e tomada de decisão.

Para a otimização destas tarefas devem ser implementados sistemas de monitorização e controlo dos processos, permitindo obter dados viáveis e permitir o armazenamento dos mesmos. Com isto é possível analisar o atual estado do sistema e proceder a alterações ao mesmo quando necessárias, tanto automáticas como por via do utilizador [25].

Com a implementação de um sistema de supervisão os principais objetivos que podem ser implementados tratam-se da aquisição de dados, visualização de dados e processamento de alarmes. A aquisição de dados pode ser definida como o processo de recolha dos valores de campo para a central de controlo. A visualização de dados passa pela apresentação dos dados recolhidos nos HMI de forma ordenada e organizada para uma direta análise do utilizador, geralmente apresentando uma representação do estado atual do sistema. O processamento de alarmes permite informar os utilizadores de situações que necessitem de atenção humana, podendo alertar o utilizador de ocorrências no processo a ser monitorizado ou no próprio sistema de supervisão [26].

Através das análises e da organização dos dados recolhidos pelo sistema de supervisão é possível a tomada de decisões para controlar e reduzir custos operacionais de forma direta e instantânea. Através da recolha de dados é possível criar métricas e definir objetivos baseados em indicadores chave de desempenho, indicadores que podem ser utilizados para comparar o desempenho do sistema, identificar problemas e permitir também desenvolver e avaliar melhorias implementadas [27].

Comparativamente com os sistemas tradicionais de recolha de dados de campo diretamente para um painel, os sistemas SCADA tornam-se mais complexos, necessitam de diferentes aptidões para operar, tal como analistas e programadores, e o utilizador final está limitado às informações disponíveis no HMI. No entanto as implementações destes sistemas apresentam diversas vantagens que mitigam estes temas.

Existe uma elevada quantidade e tipos de dados disponível para armazenamento nos controladores que podem ser visualizados pelo utilizador da forma mais adequada e direta. Esta visualização pode ser realizada no local ou remotamente, sendo possível integrar milhares de recetores de sinais de campo. Aplicando protocolos de comunicação adequados é também possível ao controlador apresentar o estado de dispositivos eletrónicos inteligentes (IED- *Intelligent Electronic Devices*), permitindo assim ao utilizador um maior controlo sobre todo o sistema implementado [2].

3.3. **Monitorização do consumo de energia elétrica**

3.3.1. Enquadramento

Os consumos energéticos tratam-se de um tema crítico para qualquer sistema organizacional e são geralmente um dos principais custos das empresas. Deste modo é importante que as organizações realizem uma gestão dos gastos associados aos consumos energéticos ao longo de toda a cadeia de valor. Para além dos custos económicos associados, é também importante que as organizações avaliem o impacto ambiental e social dos seus consumos energéticos e como os mesmos afetam elementos externos à organização, como as alterações climáticas.

A nível organizacional, cada empresa deve gerir os métodos e recursos associados aos consumos energéticos da sua atividade e tentar otimizá-los. Estas otimizações podem rapidamente tornar-se em benefícios para a organização maximizando a eficiência das fontes de energia e dos equipamentos que necessitam de energia, reduzindo desta forma o consumo energético e os custos associados. Desta forma as organizações criam contributos positivos para o objetivo global de redução dos recursos energéticos e na mitigação dos efeitos ambientais associados [28].

De acordo com a Eurostat, no ano de 2018 na união europeia a produção total de energia elétrica foi de 2 806 Terawatt hora (TW h), onde se verificou uma ligeira redução referente ao ano anterior, como se pode verificar na Figura 22 onde estão representadas as produções anuais desde 1995 [29].

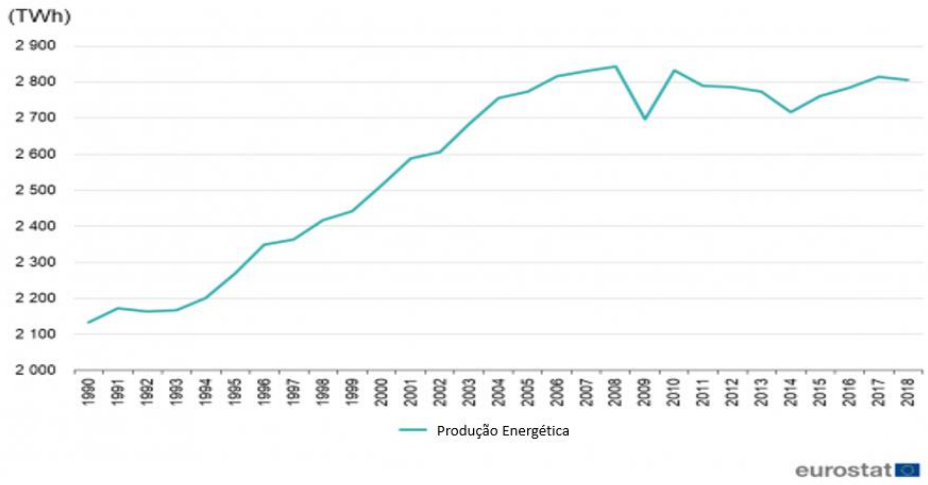

Figura 22- Produção de energia elétrica na união europeia, no período de 1995 a 2018 (adaptado de [29]).

Em Portugal, de acordo com a ADENE, no ano de 2018 o nível de dependência energética foi de 75,9%, menos de 1.8 % face ao ano anterior. Comparando com os restantes países da união europeia, Portugal

foi o 7º país com a maior dependência energética estando 19.9% acima da média, 55.7%.

Das empresas que se encontram registadas no Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), 33% tratavam-se de empresas que pertenciam aos setores de atividade na indústria alimentar, fabricação de têxteis e fabricação de artigos de borracha e de matérias plásticas. No setor industrial, referente aos planos de racionalização de consumos energéticos aprovados em 2018, a energia elétrica trata-se do principal consumo de energia primária, como se pode verificar na Figura 23, representando um total de 57.9%.

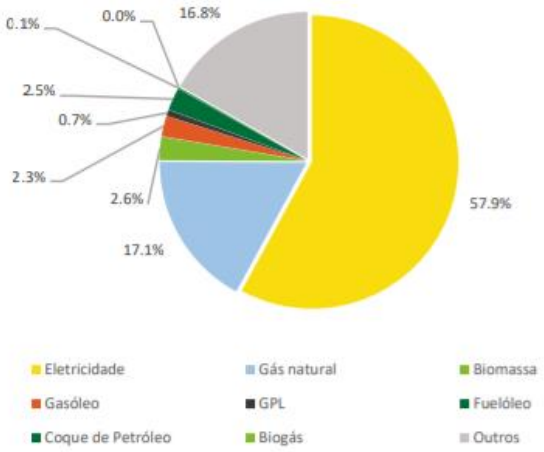

Figura 23- Distribuição do consumo de energia primária na indústria, de acordo com Adene.

De forma a relacionar-se os diferentes tipos de energia consumidos por um pais, região ou organização é utilizada uma escala de referência baseada na combustão de uma tonelada de petróleo, designada como Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP). Para as principais fontes de energia na indústria alimentar estão apresentadas na Tabela 2 as conversões para TEP de acordo com o Despacho n.º 17313/2008, de 26 de junho de 2020.

Tabela 2- Conversão das principais fontes de energia na indústria alimentar para TEP, retirado de [30]

Forma de Energia	Unidade	Conversão para TEP
Elétrica	kW h	0.000215
Fuelóleo	Tonelada	0.984
Gás Natural	Tonelada	1.077

Tendo como objetivo a otimização e redução dos principais consumos energéticos de uma organização, inicialmente é necessário criar uma metodologia de gestão energética. Para tal é necessário realizar uma análise dos consumos energéticos e definir objetivos de redução baseados no histórico e nas otimizações futuras.

A unidade de medida do consumo de energia elétrica é o quilowatt-hora (kW h) e o mesmo é definido pela potência elétrica gasta num período de tempo, como apresentado na equação (1):

$$Energia = Potência \times Tempo \quad (1)$$

A potência elétrica é definida como a taxa de energia consumida num período de tempo e é representada por P. A unidade de medida internacional desta unidade é o Watt (W) mas é geralmente utilizado o quilowatt (kW) abordando o tema de consumos energéticos. A potência elétrica pode ser calculada através da intensidade de corrente, expressa em amperes (A) e da diferença de potencial, expressa em volts (V), variando a metodologia aplicada com o circuito existente: corrente contínua, corrente alternada monofásica ou corrente alternada trifásica [31].

Para circuitos de corrente contínua a potência ativa, em W, é o produto da intensidade pela diferença de potencial, como apresentado na equação (2):

$$P_{DC} = I \times V \quad (2)$$

Para circuitos de corrente alternada monofásica a potência ativa, em W, é o produto do fator de potência (cos(φ)) pela intensidade e pela diferença de potencial, como apresentado na equação (3):

$$P_{ACM} = \cos(\varphi) \times I \times V \quad (3)$$

Para circuitos de corrente alternada trifásicos a potência ativa, em W, é o produto da raiz quadrada de 3, pelo fator de potência, pela intensidade e pela diferença de potencial, como apresentado na equação (4):

$$P_{ACT} = \sqrt{3} \times \cos(\varphi) \times I \times V \quad (4)$$

3.3.2. Objetivos da implementação do sistema SCADA na José Maria da Fonseca

A monitorização e recolha de dados de campo permite identificar oportunidades de melhoria e permite uma tomada de decisões estratégicas mais direta nas organizações. Existindo uma recolha de dados em tempo real e armazenamento automático numa base de dados é possível estabelecer padrões e realizar análises de funcionamento dos diferentes sistemas a serem monitorizados de forma mais explicita e precisa.

De forma a manter a competitividade e integrar o atual paradigma da indústria 4.0, na José Maria da Fonseca iniciou-se uma etapa de foco na digitalização dos processos produtivos e dos sistemas operacionais. Este foco tem como principal objetivo a integração dos diferentes ativos da organização, implementação de alterações em tempo real dos sistemas e otimização dos diversos recursos e consumos de forma a aumentar o valor acrescentado do produto final.

Como primeiros passos desta integração tem-se como objetivo a supervisão e monitorização dos produtos engarrafados e dos principais recursos necessários para a produção vinícola, sendo estes a energia elétrica, a água, o azoto e o ar comprimido. Para os diferentes sistemas de supervisão varia a metodologia implementada para a recolha de dados sendo que cada processo necessita de equipamentos ou instrumentos adequados, no entanto, o tratamento de dados e armazenamento dos mesmos é semelhante.

Para o sistema de supervisão e monitorização dos consumos de energia elétrica os principais objetivos passam pela recolha e registo dos dados de consumo das diferentes áreas, criação de novas métricas para o consumo energético e implementação de alertas e avisos de limites de consumo automáticos.

Com a monitorização e registo dos dados de consumo pretende-se identificar e analisar os períodos de maior necessidade energética para cada área procurando analisar e identificar possíveis alterações operacionais. Tendo estes dados é possível estabelecer um comportamento padrão e identificar situações que possam necessitar de análise.

Com a criação de novas métricas em tempo real é possível verificar o impacto que alterações nos sistemas possam causar, identificar desvios aos valores padrão de funcionamento e quantificar os impactos das alterações e melhorias implementadas. Estas métricas permitem de forma direta obter uma análise dos consumos elétricos e dos custos associados.

Com o envio automatizado de alertas e avisos de limites de consumo pretende-se ter uma maior gestão sobre os equipamentos críticos da organização. Este sistema de informação permite que os responsáveis de área tenham um maior controlo sobre a utilização de equipamentos de alto consumo e que sejam avisados automaticamente acerca dos consumos mensais comparativamente a um limite estabelecido.

Na organização decidiu-se implementar um sistema SCADA desenvolvido internamente sendo desta forma possível obter um sistema ajustado às necessidades da organização, flexível e sem custos de

licenças periódicas. Desenvolvendo e implementado este sistema internamente, alocando as horas de instalação e programação a este projeto e com a utilização de controladores com tecnologias de uso gratuito, para o custo do projeto apenas são tidos em conta os custos dos dispositivos e materiais utilizados. Por estes motivos se decidiu desenvolver o sistema dentro da organização ao invés de integrar um sistema modular do tipo chave na mão com diversos custos de implementação, diferentes licenças para diferentes módulos e dependência da entidade instaladora para alterações de futuras necessidades.

3.3.3. Metodologia existente

Antes da implementação do sistema de supervisão e monitorização de energia na José Maria da Fonseca a gestão dos consumos de energia elétricos era feita registando semanalmente os valores de consumo de energia dos analisadores das diferentes áreas. Este registo é da responsabilidade de um técnico da equipa de manutenção que se desloca ao local de cada analisador, regista o valor apresentado no painel e posteriormente insere estes valores num ficheiro Excel.

Na Tabela 3 estão apresentados os diferentes analisadores implementados na organização. Nesta tabela estão apresentadas as designações de cada analisador para identificação da área ou equipamento a ser monitorizado. Descrimina-se também o tipo de analisador atualmente instalado sendo os analisadores discretos os que necessitam de ser substituídos no futuro para que seja permitida uma comunicação com o sistema de supervisão via *Ethernet/IP*. Na tabela está também apresentada a localização geral de cada analisador dentro do espaço da organização, estando na Figura 24 apresentada a vista aérea da José Maria da Fonseca e as respetivas localizações.

Tabela 3- Listagem de Analisadores de Energia JMF.

Nº	**Nome**	**Tipo**	**Localização**
1	Compressor_2	*Ethernet/IP*	RAC
2	Vieira Inox	*Ethernet/IP*	RAC
3	Linha_1_1	*Ethernet/IP*	ENG
4	Chillers CEN	*Ethernet/IP*	CEN
5	ETAR	*Ethernet/IP*	CEN
6	Edifício A	Discreto	PT Edifício A
7	Escritórios 1	Discreto	PT Edifício A
8	Escritórios 2	Discreto	PT Edifício A
9	Refeitório	Discreto	PT Edifício A
10	Linha N.º 1 (*Maspack*)	Discreto	ENG
11	Linha N.º 2	Discreto	ENG

Tabela 3- Listagem de Analisadores de Energia JMF.

(Continuação)

Nº	Nome	Tipo	Localização
12	Linha N.º 3	Discreto	ENG
13	Compressor Ar 1	Discreto	RAC
14	Escritórios UDV - Contador 1	Discreto	Escr. Alugados
15	Escritórios UDV - Contador 2	Discreto	Escr. Alugados
16	T1 + T2 (CEN)	Discreto	CEN
17	Compressor Ar 3 Alugado (vindima)	Discreto	CEN
18	Chiller Alugado (vindima)	Discreto	CEN
19	Dessulfitador	Discreto	PAL
20	Eletrodiálise	Discreto	PAL
21	Armazém Expedição	Discreto	JMD

Figura 24- Vista aérea da José Maria da Fonseca e identificação das diferentes áreas (adaptado de Google).

Através dos registos semanais é realizado um relatório mensal onde são apresentados os valores de energia consumida, em kW h, dos diferentes analisadores. Estes consumos são feitos comparando a diferença dos valores registados da energia consumida no final do mês atual com o valor do mês anterior. Desta forma é estimada a distribuição média dos consumos das diferentes áreas ao longo do mês, sendo assim distribuídos os custos associados a estes consumos pelos diferentes departamentos. Esta metodologia não é completamente fiável, sendo que os custos de energia variam consoante os períodos do dia e a distribuição dos custos é feita a partir de uma média mensal.

Através desta gestão é impossível determinar com certeza os desvios ao normal funcionamento dos equipamentos ou áreas, sendo que não existem ferramentas de gestão para relacionar precisamente o consumo de energia com as atividades de operação. Caso exista alguma situação que necessite de ser analisada e monitorizada instantaneamente é necessário que alguém se desloque ao analisador pretendido e registe os dados manualmente para uma posterior análise. Com este método de gestão é também impossível obter dados em períodos não laborais, sendo que não é viável o deslocamento às instalações apenas para a realização da recolha de dados.

Capítulo 4
Implementação do projeto

Neste capítulo é apresentada a fase de implementação do sistema SCADA desenvolvido na organização, tendo como principal objetivo apresentar de forma sucinta e lógica a estrutura do sistema de supervisão e os estudos realizados para a validação da mesma.

Inicialmente é representada a estrutura da rede industrial implementada na organização, sendo introduzido o conceito de rede industrial, o protocolo de comunicação utilizado e as componentes instaladas. Em seguida é apresentada a implementação inicial deste sistema, apresentando os passos tomados, os HMI desenvolvidos e o sistema de armazenamento em servidor utilizado. Para finalizar são analisados os resultados obtidos tendo em consideração os objetivos da implementação deste sistema.

4.1. **Arquitetura da rede industrial**

4.1.1. Protocolo de Comunicação- Ethernet/IP

A *Ethernet/IP* trata-se de um protocolo de aplicações por níveis para comunicação via Ethernet com vista na implementação em ambiente industrial desenvolvido pela *Rockwell Automation*. Este protocolo tem como base o modelo TCP/IP e utiliza as metodologias tradicionais relativas a *hardware* e *software* desenvolvidas para a Ethernet de forma a definir uma estrutura para as tarefas de configurar, aceder e controlar dispositivos de automação industrial.

Este protocolo classifica nodos de Ethernet por tipos de dispositivos pré-definidos com comportamentos específicos. A configuração dos tipos de dispositivos e o protocolo de nível de aplicação da *Ethernet/IP* baseia-se no protocolo industrial comum (CIP- *Common Industrial Protocol*) [32].

De forma a garantir que dois dispositivos comuniquem de forma eficiente a nível de aplicações, é necessário que os *softwares* de aplicação em ambos os dispositivos sejam compatíveis. Ambas as aplicações devem ter capacidade de interpretação dos atributos e serviços fornecidos pelo outro dispositivo e devem também utilizar um sistema de comunicação comum para transmissão de pacotes de dados acima do nível de serviço. A *Ethernet/IP* é capaz de garantir esta compatibilidade aplicando o CIP nos níveis de aplicação [33].

No nível de serviço, para além da aplicação do protocolo TCP, a *Ethernet/IP* utiliza em simultâneo o protocolo de datagramas do utilizador (UDP- *User Datagram Protocol*). Este protocolo distingue-se por não apresentar orientação de conceção, isto é, não necessita que uma ligação tenha sido estabelecida entre dois dispositivos antes da transmissão dos dados. É deste modo definido como um protocolo “não

fiável", ao contrário do protocolo TCP, sendo que se um erro for detetado no pacote de dados este é apenas ignorado [12].

A *Ethernet/IP* utiliza dois tipos de mensagens para transmissão de dados nos níveis de serviços: mensagens explicitas e mensagens implícitas. Uma representação do modo de comunicação das mesmas está apresentada na Figura 25.

As mensagens explicitas são também designadas como mensagens não conectadas e utilizam o protocolo TCP entre dois dispositivos com o modelo pedido/resposta. O cliente solicita informação ao servidor enviando um pacote de dados com toda a informação que o servidor necessita para identificar a resposta adequada. A resposta por sua vez apresenta também toda a informação que o cliente necessita para descodificar o pacote recebido. Isto é ideal para mensagens não críticas de tempo, como por exemplo envio de dados para um HMI ou parametrização e configuração de dispositivos.

As mensagens implícitas são também designadas como mensagens conectadas e utilizam o protocolo UDP entre dois dispositivos de tipo I/O. Um dispositivo I/P *Scanner* fornece mensagens solicitadas por outro dispositivo I/O recetor. Ambos os dispositivos são configurados previamente e os dados são constantemente trocados periodicamente em segundo plano num espaço de tempo definido pelo utilizador. As mensagens explicitas também permitem realizar esta troca de dados periódica, mas as mensagens têm sempre que ser encapsuladas. No caso das mensagens implícitas a informação é sempre apresentada no dispositivo cliente como se os dados estivessem a ser tratados pelo mesmo. Isto é ideal para mensagens críticas de tempo como a monitorização da velocidade de um variador [34].

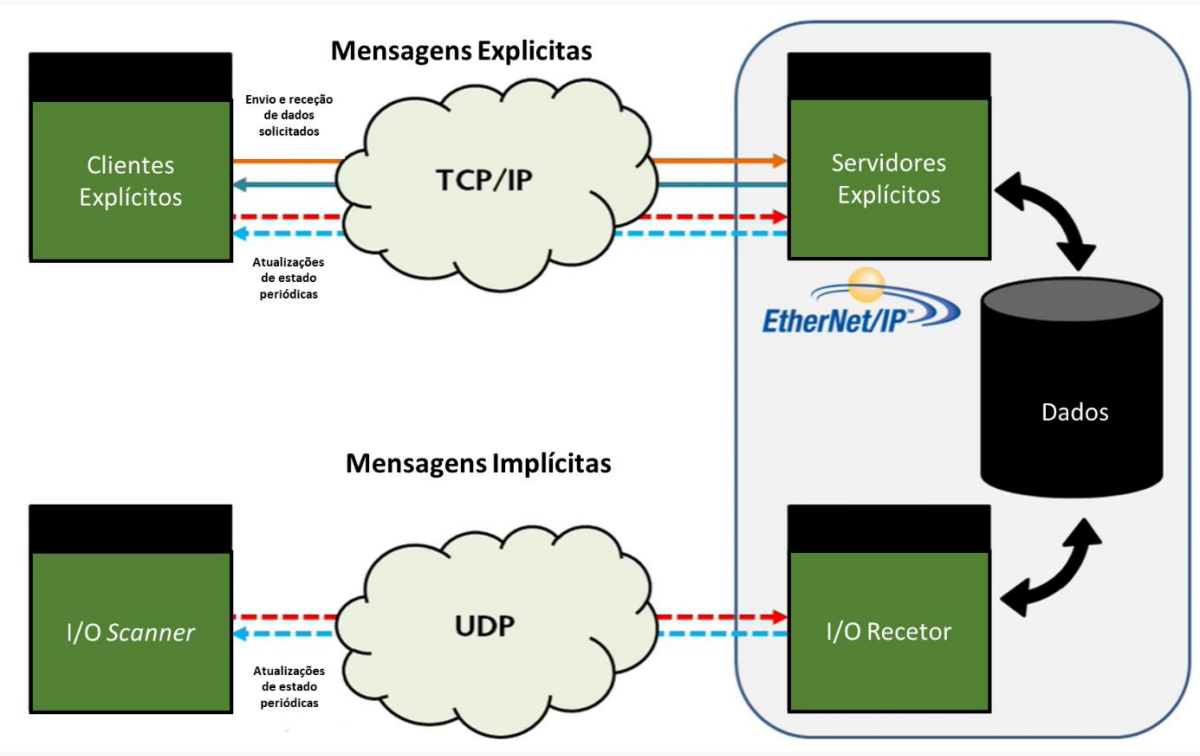

Figura 25- Representação de comunicações por mensagens implicitas e explicitas (Adaptado de [35]).

4.1.2. Componentes e Estrutura Utilizada

Na implementação do sistema de SCADA nas instalações da José Maria da Fonseca definiu-se que a topologia da rede industrial mais adequada seria a topologia em estrela. Foi definida esta topologia uma vez que esta estrutura permite implementar diversos analisadores de energia no campo que comunicam por *Ethernet/IP* com o controlador *Master* e a sua disposição encontra-se representada na Figura 26.

Os dados são enviados pelos analisadores de campo para um *Switch* com gestão via cabos de rede UTP 6, sendo que no caso dos analisadores que não se encontram no edifício principal, é necessária realizar uma ponte de dados via transmissão rádio. Após receção dos pacotes de dados do *Switch*, o controlador *Master* converte os sinais analógicos nos valores pretendidos e fornece os mesmos ao controlador *PLCNext* da *Phoenix Contact*. A função deste controlador é gerar os HMI e enviar os dados para o servidor da *Proficloud*. Foi escolhido este controlador para estas funções uma vez que estas opções apresentam custos reduzidos comparativamente às soluções de outros fornecedores como *Allen-Bradley* ou *Siemens*. Para acesso de dispositivos externos à rede instalou-se um router industrial conectado ao *Switch* com gestão que cria uma *gateway* IoT através de servidores externos.

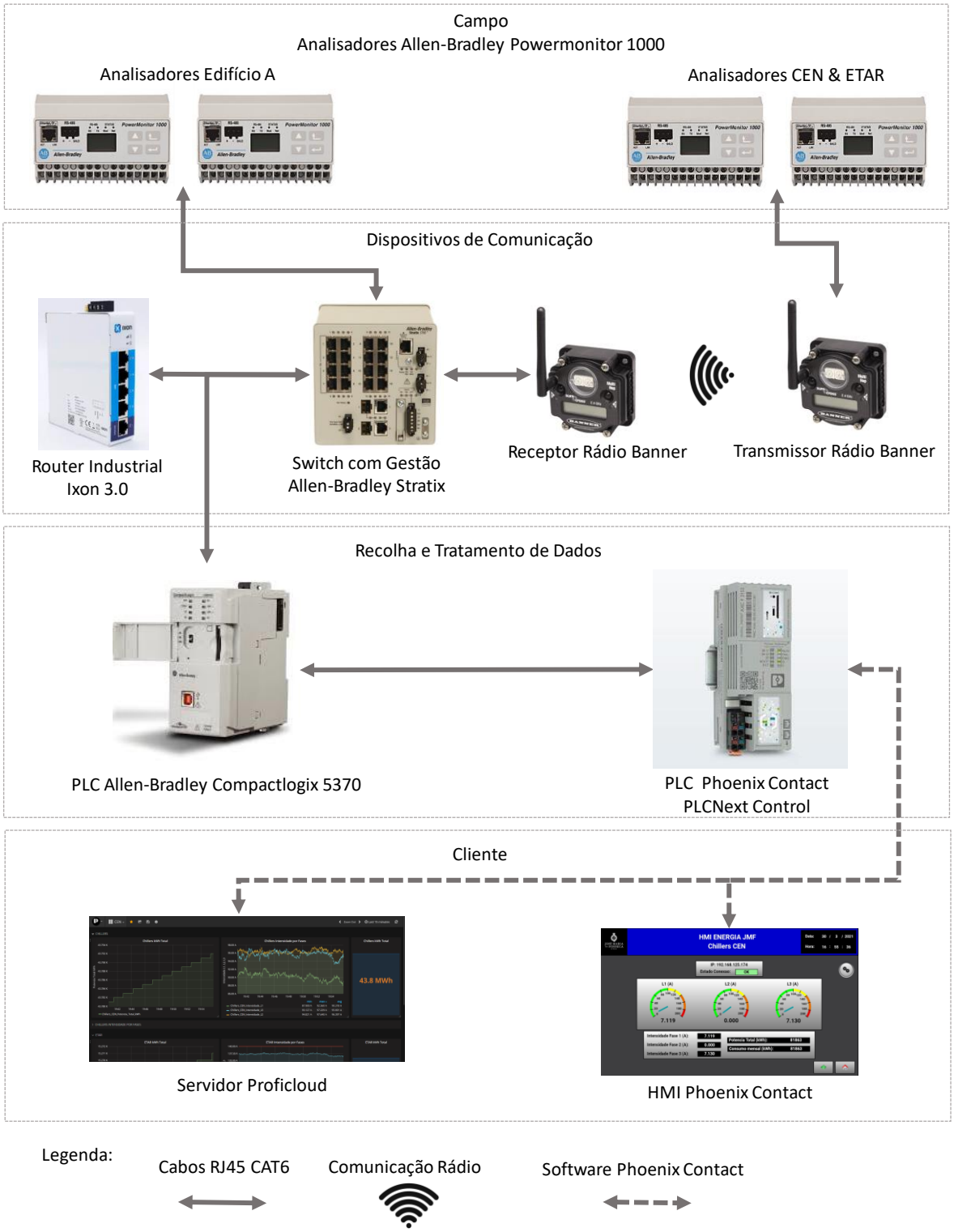

Figura 26- Esquema da rede de comunicação industrial para tratamento de dados de energia.

Allen-Bradley Powermonitor 1000

Para a recolha de dados de campo foram escolhidos os analisadores de modelo *Powermonitor* 1000 do fornecedor Allen-Bradley, apresentado na Figura 27. Foram escolhidos estes dispositivos uma vez que apresentam o protocolo de comunicação *Ethernet/IP* e apresentam uma parametrização facilitada sendo que se tratam de dispositivos do mesmo fornecedor que o controlador *Master*.

Este dispositivo permite monitorizar a energia consumida medindo a corrente e intensidade de um circuito elétrico. Convertendo instantaneamente os valores de corrente e intensidade do circuito em valores digitais o analisador permite recolher os dados de intensidade, tensão e consumos energéticos.

Figura 27- Analisador energético *Powermonitor* 1000 (propriedade de Allen-Bradley).

Rádios Banner Sure Cross MultiHop

Sendo que a comunicação a grandes distâncias seria pouco fiável e difícil de implementar com a utilização de cabos de rede, para os analisadores que não se encontram no edifício principal da José Maria da Fonseca foram implementados rádios de transmissão de modelo *Sure Cross MultiHop* do fornecedor Banner, apresentado na Figura 28. Foram implementados estes dispositivos uma vez que se tratam de rádios de transmissão para fins industriais que permitem comunicar utilizando *Ethernet/IP*.

Este dispositivo apresenta uma alta fiabilidade na partilha de dados sem fios em instalações industriais, a altas distâncias ou em ambientes severos. Uma rede de comunicação pode ser estabelecida em múltiplos quilómetros quadrados apresentando uma velocidade de comunicação de 300 kbps. A topologia destes dispositivos pode também ser configurada, podendo estabelecer-se uma topologia em anel ou em estrela, sendo a última a aplicada neste projeto.

Figura 28- Rádio Sure Cross MultiHop (propriedade de Banner).

Switch com gestão Allen-Bradley Stratix

De forma a reduzir o tráfego na rede industrial foi implementado um dispositivo *switch* com gestão do fornecedor Allen-Bradley e modelo Stratix, como apresentado na Figura 29. Este dispositivo fornece uma infraestrutura segura para a rede industrial. Diversos dispositivos de rede podem ser conectados a este *switch,* tal como servidores ou *routers,* e também dispositivos industriais que comuniquem por Ethernet, tal como PLC, HMI, *drives,* sensores ou dispositivos I/O.

Este dispositivo permite reduzir o tráfego da rede industrial uma vez que, ao contrário dos *switch* padrão, a cada entrada tem que ser definido qual o dispositivo a conectar e qual o tipo de conexão a estabelecer. Esta parametrização permite ao *switch* determinar como os dados são rececionados e enviados.

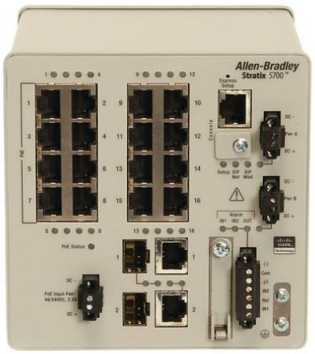

Figura 29- Switch com gestão Stratix (propriedade de Allen-Bradley).

Router Industrial Ixon 3.0

De forma a que dispositivos externos possam integrar a rede industrial foi implementado um *router* industrial do fornecedor Ixon, e modelo do router 3.0, como apresentado na Figura 30. Este dispositivo funciona como uma rede virtual privada (VPN- *Virtual Private Network*) industrial ou uma *gateway* IoT e permite aceder remotamente a qualquer controlador, HMI, robô ou rede na qual seja implementado.

Este dispositivo permite aceder de forma remota à rede industrial criada na José Maria da Fonseca sem ser necessário criar uma LAN virtual (VLAN- *Virtual Local Area Network*) nos servidores internos. Esta ligação é feita acedendo aos servidores Ixon *Cloud* a partir de qualquer computador compatível ou instalando a aplicação Ixon *Connect* que permite aceder à rede industrial a partir de qualquer *smartphone* ou *tablet* compatível.

Figura 30- Router industrial Ixon 3.0 (propriedade de Ixon).

PLC Allen-Bradley CompactLogix 5370

Para as tarefas de servidor central da rede industrial deste sistema de monitorização foi utilizado um PLC do fornecedor Allen-Bradley e modelo CompactLogix 5370, apresentado na Figura 31. Foi utilizado um controlador Allen-Bradley devido à interface intuitiva dos softwares de programação desta marca comparativamente a outros fornecedores e foi utilizado este modelo devido à possibilidade de emparelhar até 40 nodos, assegurando assim o emparelhamento de futuros dispositivos na rede industrial.

Estes dispositivos oferecem as mais recentes soluções de controlo, comunicação e gestão de elementos I/O estabelecendo as comunicações com os restantes dispositivos por *Ethernet/IP* e têm como principal função a recolha e transformação dos dados recebidos pelos analisadores e disponibilização dos mesmos para dispositivos de fornecedores diferentes.

Figura 31- PLC CompactLogix 5370 (propriedade de Allen-Bradley).

PLC Phoenix Contact *PLCNext Control*

Para a criação dos HMI pretendidos e utilização da aplicação *Proficloud* os dados recolhidos pelo controlador *Master* têm que ser transferidos para um conjunto de controladores que utilizem a tecnologia PLCNext do fornecedor Phoenix Contact. Estes controladores são do modelo *PLCNext Control*, apresentado na Figura 32. Utilizando este controlador é possível criar projetos de automação numa plataforma aberta sem limites de sistemas proprietários.

Estes dispositivos foram implementados uma vez que permitem estabelecer uma ligação via *Ethernet/IP* com o controlador *Master* até 254 bit's por unidade, permitem criar HMI sem custos adicionais e transferir dados para o servidor *Proficloud* da Phoenix Contact. Para cada grupo de analisadores foi implementado um destes controladores totalizando 3 destes dispositivos na fase inicial deste projeto.

Figura 32- PLC *PLCNext Control* (propriedade de Phoenix Contact).

4.2. **Integração inicial**

Através dos registos existentes foram identificados os equipamentos e zonas críticas para monitorização. Como tal, a implementação inicial passou por instalar analisadores com as seguintes designações:

- Compressor 2
- Refrigerador Vieira Inox
- Linha 1_1
- ETAR
- *Chillers* CEN

Na fase inicial foi possível implementar imediatamente os analisadores referentes aos equipamentos e zonas do edifício A. Estes tratam-se do compressor 2, do refrigerador Vieira Inox e da linha 1_1 e foram

substituídos os analisadores anteriores no dia 3 de dezembro de 2020.

Devido à necessidade de implementar um sistema de transmissão de dados a longas distâncias os analisadores referentes à estação de tratamento de águas residuais (ETAR) e aos *chillers* CEN foram instalados após a implementação dos rádios de transmissão Banner no dia 27 de janeiro de 2021.

4.2.1. Human Machine Interface (HMI)

Os HMI da rede industrial implementada na José Maria da Fonseca podem ser acedidos a qualquer dispositivo que se conecte à mesma e no caso do sistema de supervisão de energia os mesmos estão divididos da seguinte forma:

- rede Edifício A
- rede CEN

Na Figura 33 encontra-se apresentado a página principal do HMI da rede do edifício A, na qual encontra-se uma representação dos estados dos diferentes analisadores implementados atualmente, os analisadores a implementar e possíveis reservas para futuras necessidades. Está também representado o controlador *master* da Allen-Bradley e o controlador de apoio da Phoenix Contact.

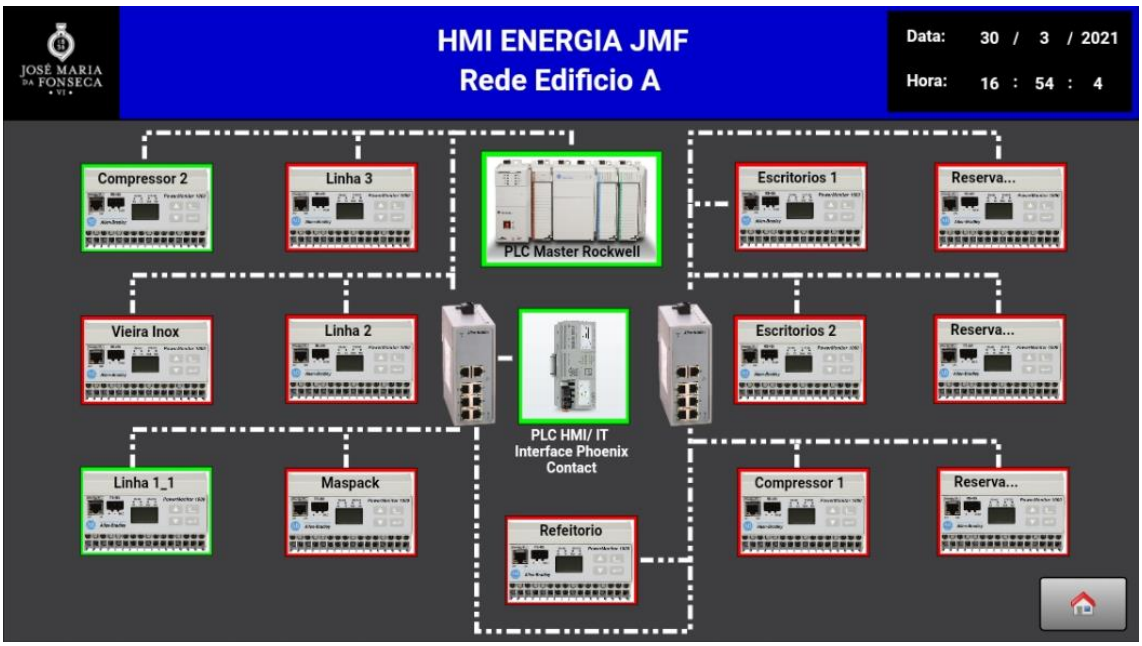

Figura 33- Página principal do HMI energia JMF rede edifício A.

Na Figura 34 encontra-se apresentada a página principal do HMI da rede CEN. Tal como no HMI referente ao edifício A também está representado o estado dos analisadores implementados, do controlador *Master* e dos controladores de apoio Phoenix Contact. Sendo que para a rede CEN não

existem planos de serem necessários implementar novos analisadores num futuro próximo não foram adicionadas reservas.

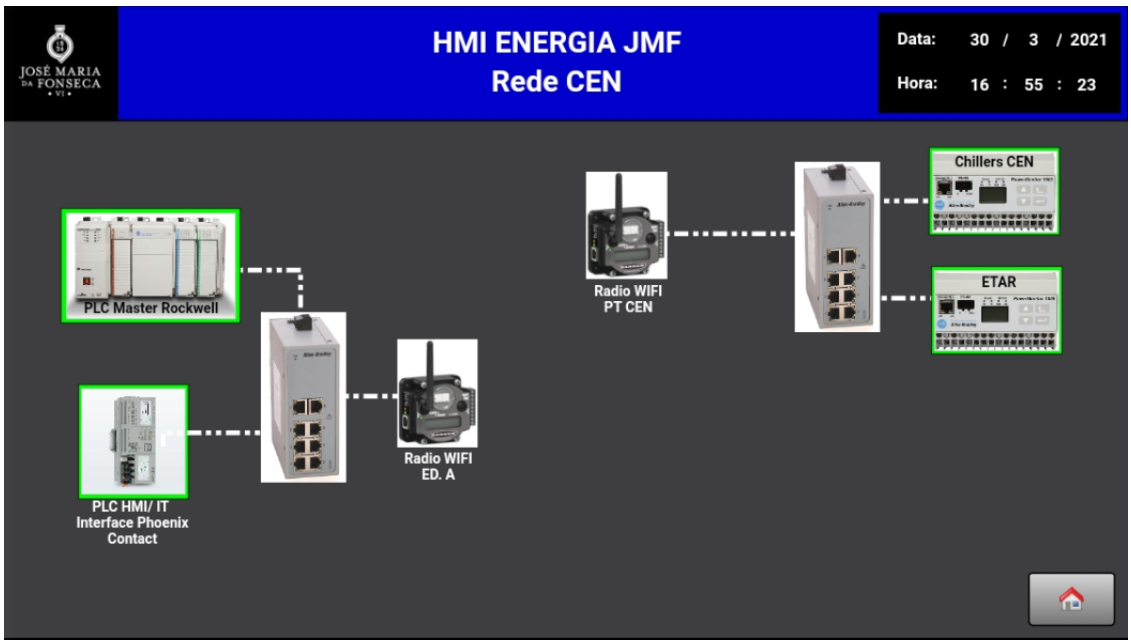

Figura 34- Página principal do HMI energia JMF rede CEN.

Ao selecionar um analisador é-se redirecionado para a página referente a esse dispositivo. A estrutura das páginas dos diferentes analisadores foi normalizada, e na Figura 35 encontra-se o exemplo da página referente ao analisador dos *Chillers* do CEN. Nesta página é possível verificar o estado de conexão do analisador, uma representação gráfica e tabular das intensidades das diferentes fases da corrente, o valor da energia do analisador desde a sua instalação e o consumo de energia mensal referente ao mês atual.

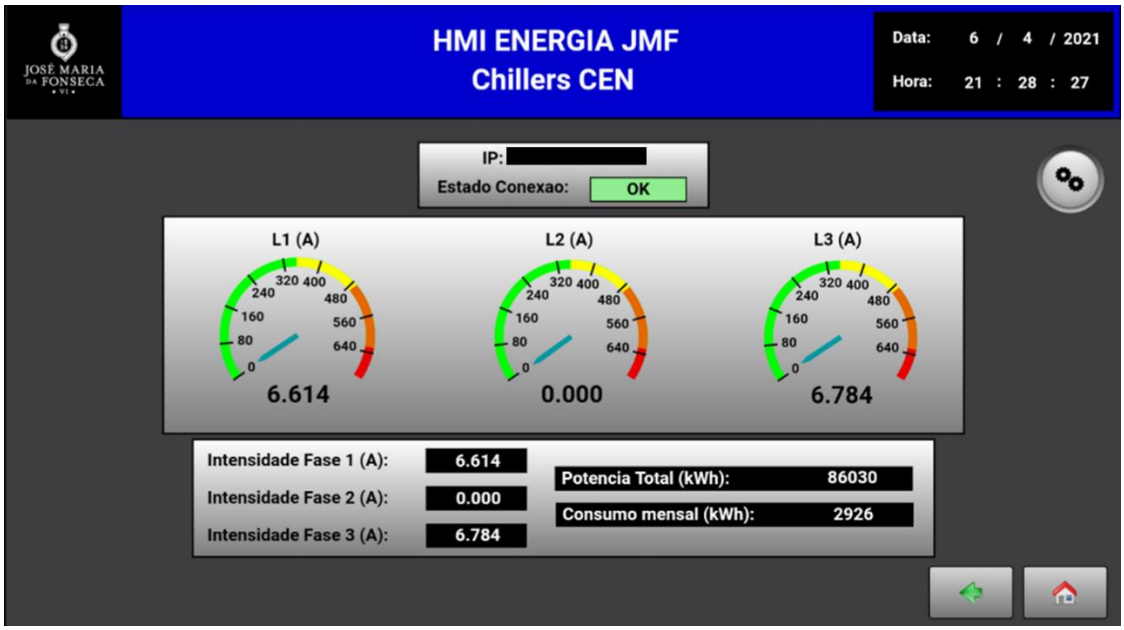

Figura 35- Página do HMI referente ao analisador dos *Chillers* do CEN.

Uma das funcionalidades do controlador da Phoenix Contact é a possibilidade de enviar emails para diferentes destinatários. Esta função foi aplicada no sistema programando o controlador para enviar diferentes tipos de alarmes como quando o equipamento entra em arranque ou repouso ou quando o mesmo atinge um determinado consumo mensal.

Na Figura 36 está apresentada a página referente à gestão dos alarmes de indicação de arranque e repouso dos equipamentos. É possível definir o valor de intensidade, em amperes, para o qual o equipamento se encontra em arranque. De forma a evitar o envio de emails caso exista algum pico de intensidade, apenas é gerado um alerta se o valor de intensidade for superior ao definido após um período de tempo ajustável. A mesma lógica se aplica ao alerta de encerramento do equipamento

definindo o valor máximo de intensidade em repouso.

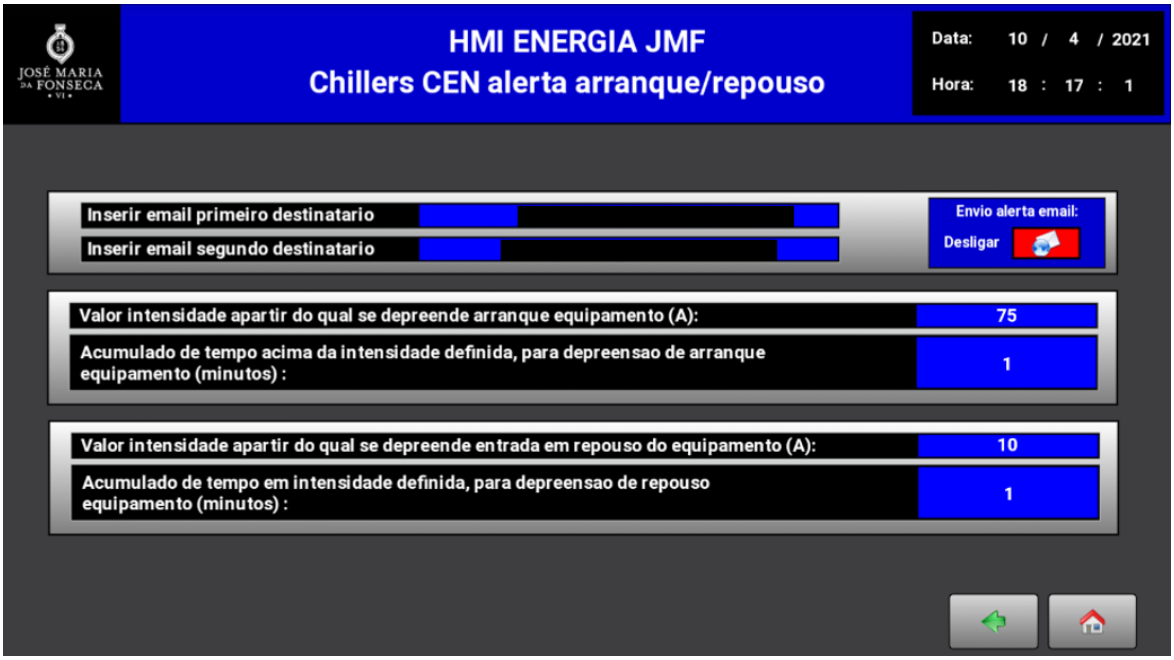

Figura 36- Página de opções de arranque e repouso dos *chillers* do CEN.

Na Figura 37 está apresentada a página referente às opções de gestão dos alarmes dos consumos mensais. É possível definir um valor de consumo de energia mensal, em kW h, como o objetivo máximo para o analisador. A partir deste valor pode ser configurado, em percentagem, quando será gerado um email de alerta. Após atingir esses valores é gerado o email de alerta e também quando for atingido o valor de consumo máximo.

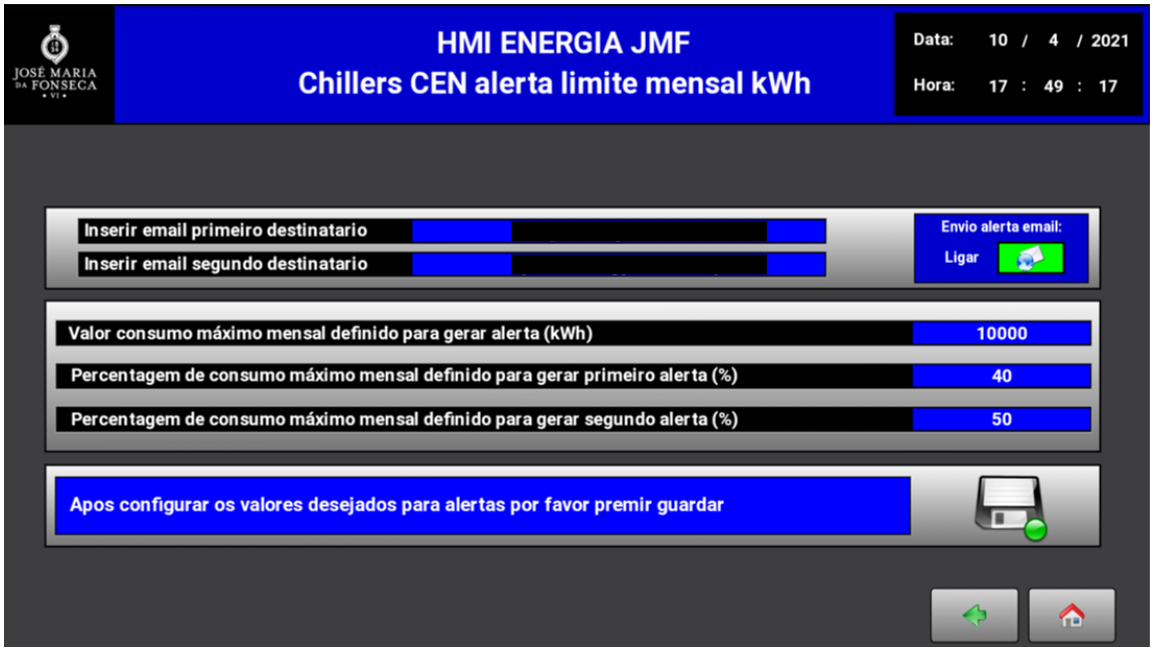

Figura 37- Página de opções de alertas mensais dos *chillers* do CEN.

4.2.2. Servidor Proficloud

Os servidores *Proficloud* permitem que os dispositivos da Phoenix Contact se conectem remotamente entre si desde que exista uma ligação segura à Internet. A partir desta função é possível aceder ao servidor a partir de qualquer dispositivo que tenha uma conexão à Internet e aceder aos painéis de controlo personalizáveis. Os dados são enviados do controlador da Phoenix Contact para o servidor onde ficam armazenados e podem ser utilizados para criar painéis de controlo personalizáveis.

Na Figura 38 está apresentado um exemplo de um painel de controlo normalizado para os diferentes analisadores utilizados na rede implementada. O analisador apresentado é referente ao equipamento Compressor 2 do edifício A. Os indicadores são semelhantes aos apresentados no HMI, no entanto no painel de controlo conseguimos verificar o histórico da energia em kW h e o histórico das intensidades por fases em A. No painel de controlo é possível definir o período temporal pretendido sendo possível analisar os dados desde a ligação do analisador à rede.

Figura 38- Painel de controlo do analisador do compressor 2 do edifício A no período de 1 de abril a 10 de abril de 2021.

O primeiro gráfico do painel de controlo representa um histograma da energia do analisador em questão. Este indicador apresenta a quantidade de energia consumida, em kW h, sendo assim um valor incremental. Decidiu-se apresentar este histograma de forma a ser possível comparar os consumos entre diferentes períodos de tempo.

O gráfico central da primeira linha representa um histograma das intensidades das diferentes fases utilizadas. Este indicador apresenta o valor instantâneo da corrente consumida, em A. Decidiu-se apresentar este histograma de forma a ser possível visualizar de forma direta os períodos de maior consumo energético. Comparando este gráfico com o histograma de energia é possível verificar a

relação entre os dois indicadores, por exemplo, nos picos de maior intensidade das correntes a energia consumida incrementa mais rapidamente do que nos períodos de menor intensidade.

Decidiu-se também apresentar no painel de controlo uma representação direta da última instância dos dados recolhidos. Por exemplo, no painel de controlo demonstrado em cima o valor de 71,3 MW h apresentado no último indicador da primeira linha representa o valor da energia no dia 10 de abril às 23:59. De igual modo, os valores das diferentes fases apresentados na segunda linha indicam os últimos dados das diferentes intensidades de corrente.

4.3. **Análise de resultados**

Como referido anteriormente, acedendo ao servidor *Proficloud* é possível exportar os dados armazenados. Os dados apresentados podem ser agrupados por diferentes funções e períodos temporais, por exemplo, na Figura 39 a) estão apresentados os valores de Intensidade por Fases do compressor 2 agrupados pelo valor médio de cada hora e na Figura 39 b) os mesmos dados agrupados pelo máximo de cada segundo. Esta possibilidade permite representar no painel de controlo os dados armazenados no servidor da forma mais lógica consoante o tipo de dados.

Figura 39- Comparação entre diferentes agrupamentos de dados do analisador do compressor 2 do edifício A no período de 1 de abril a 10 de abril de 2021.

Os dados apresentados em cada gráfico podem ser exportados para um ficheiro .CSV, podendo deste modo ser analisados os dados diários referentes à energia de cada analisador. Sendo que estes dados são de valor incremental, foram retirados os valores máximos para cada dia desde a instalação dos analisadores até ao dia 1 de abril de 2021. Como demonstrado na Figura 40, os dados são exportados para um ficheiro .CSV onde na primeira coluna é apresentado o nome da variável, na segunda coluna o período temporal e na terceira o valor da variável.

	A	B	C	D	E
1	Series	Time	Value		
2	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	03/12/2020 16:06	947		
3	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	04/12/2020 00:00	952		
4	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	05/12/2020 11:10	1019		
5	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	06/12/2020 00:00	1028		
6	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	07/12/2020 00:00	1852		
7	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	08/12/2020 00:00	1860		
8	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	09/12/2020 00:00	2922		
9	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	10/12/2020 00:00	4014		
10	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	11/12/2020 00:00	4216		
11	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	12/12/2020 00:00	4223		
12	Compressor_2_Potencia_Total_kWh	13/12/2020 00:00	4229		

Figura 40- Exemplo de dados exportados para ficheiro .CSV.

Trabalhando os dados em folhas de cálculo do Excel é possível criar automaticamente o consumo diário para cada registo, fazendo a diferença do valor da energia registada com o valor do dia anterior. No Anexo I encontra-se apresentado um exemplo deste método.

Nas instalações da organização as áreas da produção de vinho, engarrafamento e infraestruturas associadas têm um período de funcionamento normal de 2ª a 5ª feira tendo existido uma paragem da produção de 24 de dezembro de 2020 a 4 de janeiro de 2021.

Na Figura 41 está apresentado graficamente o consumo diário do equipamento Compressor 2, o principal fornecedor de ar comprimido das instalações. Como se pode verificar é apresentado de forma clara o consumo diário deste equipamento, sendo desta forma possível identificar os picos de consumo e os dias de funcionamento e encerramento do mesmo.

Um contratempo identificado e corrigido imediatamente tratou-se de uma falha de comunicação da rede industrial que ocorreu no dia 31 de janeiro de 2021 originada no MTU do sistema. Esta ocorrência impediu o registo de dados nesse dia para todos os analisadores da rede. Outra situação anómala ocorreu no dia 22 de março de 2021 onde a partir das 12:46 o servidor *Proficloud* parou de registar dados. Esta situação durou até às 6:54 do dia seguinte sem ter sido realizada nenhuma alteração interna, o que pressupõe que a causa do problema esteja no servidor externo. Esta situação verifica-se graficamente com o pico de consumo no dia 23 de março.

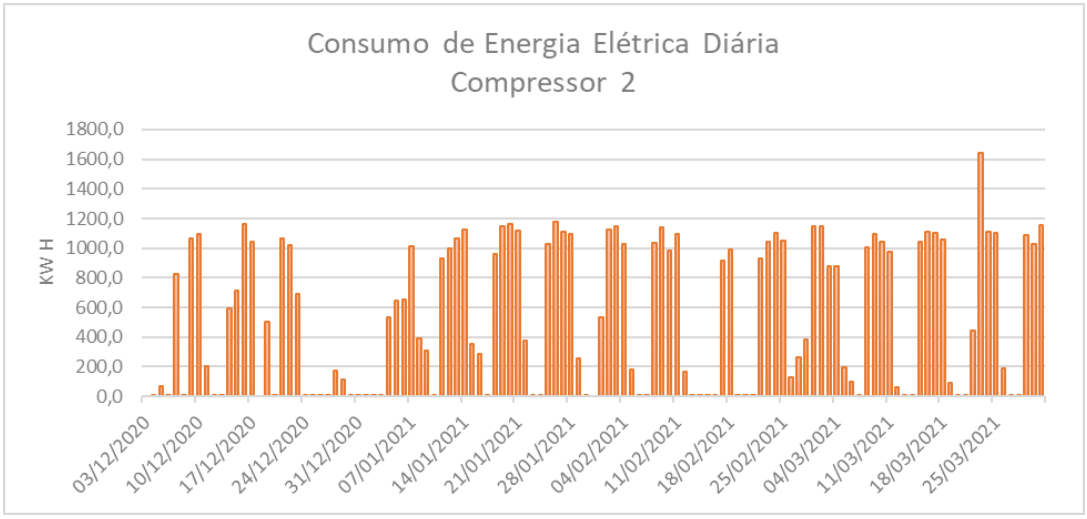

Figura 41- Consumo de energia elétrica diária do compressor 2, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 3 de dezembro de 2020 a 31 de março de 2021.

Sendo que os dados registados pelo processo manual são realizados com uma periodicidade de uma semana, para se obter um valor comparável para o consumo de energia elétrica diária foi calculado o consumo diário médio para os anos de 2019 e 202 utilizando a equação (5) numa folha de cálculo do Excel. No Anexo II encontra-se apresentado um exemplo deste método.

$$Consumo\ diário\ médio = \frac{Valor\ do\ Registo - Valor\ do\ Registo\ Anterior}{Nº\ de\ Dias\ entre\ Regisos} \quad (5)$$

Após determinado um valor médio para os consumos entre registos comparou-se os valores diários registados pelos analisadores com os períodos homólogos dos anos anteriores. Na Figura 42 encontra-se apresentada a comparação entre os consumos diários médios de cada mês entre os anos de 2019, 2020 e 2021. Para validação dos dados do analisador do compressor 2 verificou-se que os valores de consumo diário eram aproximados dos valores dos anos anteriores, como se pode verificar pelo consumo do mês de dezembro de 2020 e pelos meses de janeiro e fevereiro de 2021. Sendo que em março de 2020 a empresa verificou uma quebra de produção devido à pandemia causada pela CoViD-19, o valor de março de 2021 deve ser comparado apenas com o ano de 2019. À semelhança dos meses anteriores os dados obtidos estão dentro do expectável.

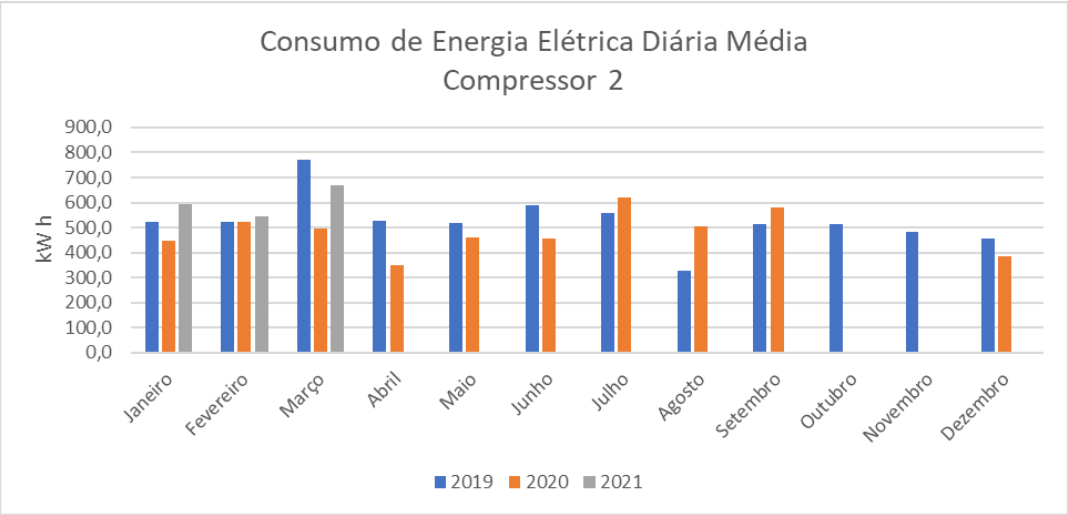

Figura 42- Consumo de energia elétrica diária média para o compressor 2 entre os anos de 2019, 2020 e 2021.

A mesma metodologia foi utilizada para os restantes analisadores. Na Figura 43 encontra-se apresentado graficamente o consumo de energia elétrica diário da Linha Nº1, onde se verificou um consumo nulo no período de 19 a 28 de fevereiro. Isto deveu-se a um erro na configuração do analisador, o que resultou que neste período não existiu o registo de dados.

Na Figura 44 encontra-se apresentada a comparação dos consumos de energia elétrica desta linha para os anos de 2019, 2020 e 2021. À semelhança do verificado no compressor 2, para os períodos homólogos os dados registados estão dentro do expectável.

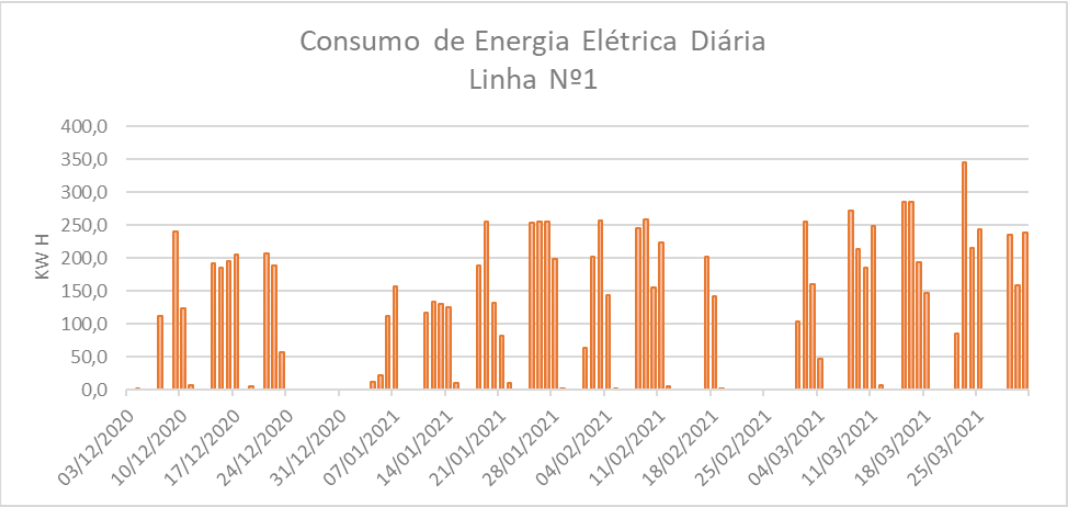

Figura 43- Consumo de energia elétrica diária da Linha Nº1, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 3 de dezembro de 2020 a 31 de março de 2021.

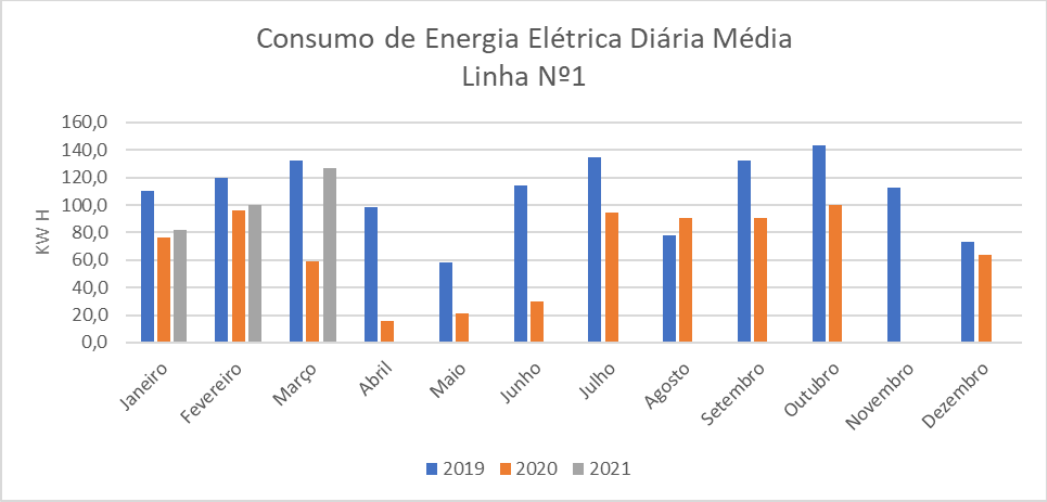

Figura 44- Consumo de energia elétrica diária média para a Linha Nº1 entre os anos de 2019, 2020 e 2021.

Os dados referentes ao consumo de energia elétrica registados pelo analisador dos *Chillers* CEN estão representados na Figura 45. Na instalação deste analisador e do analisador referente à ETAR ocorreu um erro de montagem do transformador de corrente o que resultou em dados iniciais fora do valor expectável. A situação foi normalizada a 27 de janeiro de 2021. A partir de 23 de março de 2021 verifica-se uma diminuição drástica nos valores de consumos registados devido a uma alteração de operação do sistema de refrigeração desta área que será abordada no próximo capítulo.

Na Figura 46 encontra-se apresentada a comparação dos consumos de energia elétrica destes equipamentos para os anos de 2019, 2020 e 2021. Comparando com os períodos homólogos verifica-se uma discrepância para os valores de janeiro causada pelo erro de instalação descrito anteriormente. Para os meses de fevereiro e março de 2021 os valores encontram-se dentro do expectável.

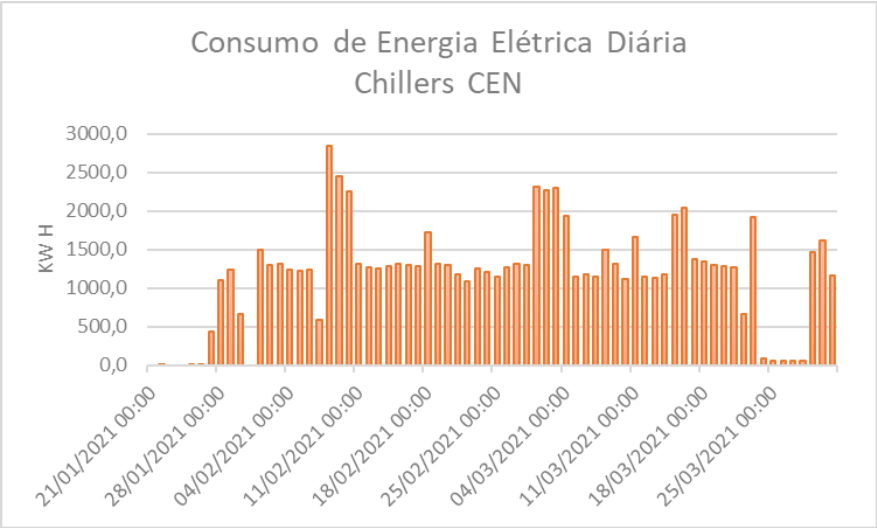

Figura 45- Consumo de energia elétrica diária dos *Chillers* CEN, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 21 de janeiro a 31 de março de 2021.

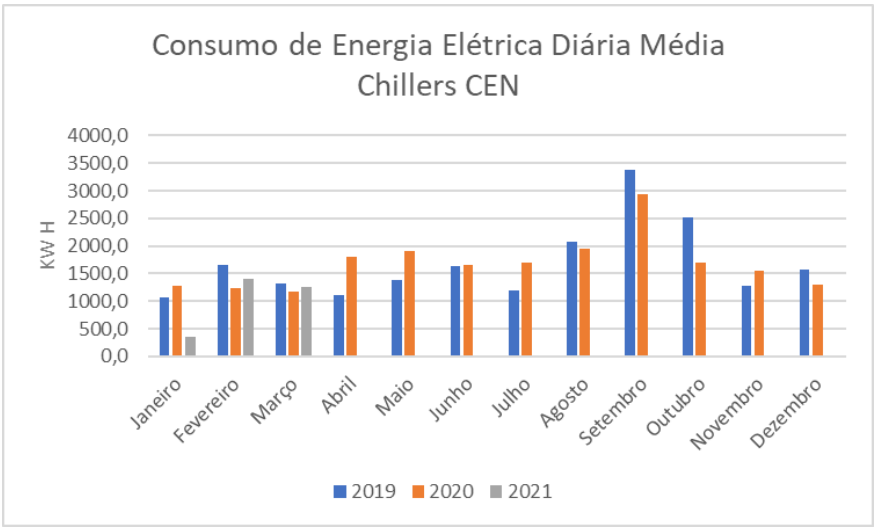

Figura 46- Consumo de energia elétrica diária média para os *Chillers* CEN entre os anos de 2019, 2020 e 2021.

Na Figura 47 encontram-se representados os dados referentes ao consumo de energia elétrica retirados do analisador da ETAR, onde se verifica uma anomalia dos dados registados no período inicial como referido anteriormente. Uma vez que a estação se encontra operacional 24 horas todos os dias denota-se um consumo de energia estável ao longo do período de análise.

Na Figura 48 encontra-se representada a comparação dos consumos de energia elétrica desta estação para os anos de 2019, 2020 e 2021 onde, à semelhança dos dados retirados do analisador dos *Chillers* CEN, o mês de janeiro de 2021 apresenta valores de consumos muito baixos referente aos anos anteriores devido ao erro de instalação. Para os meses de fevereiro e de março os valores são inferiores

aos registados nos anos anteriores, mas os mesmos encontram-se dentro do expectável, sendo que foi implementado um plano de redução energética nesta instalação.

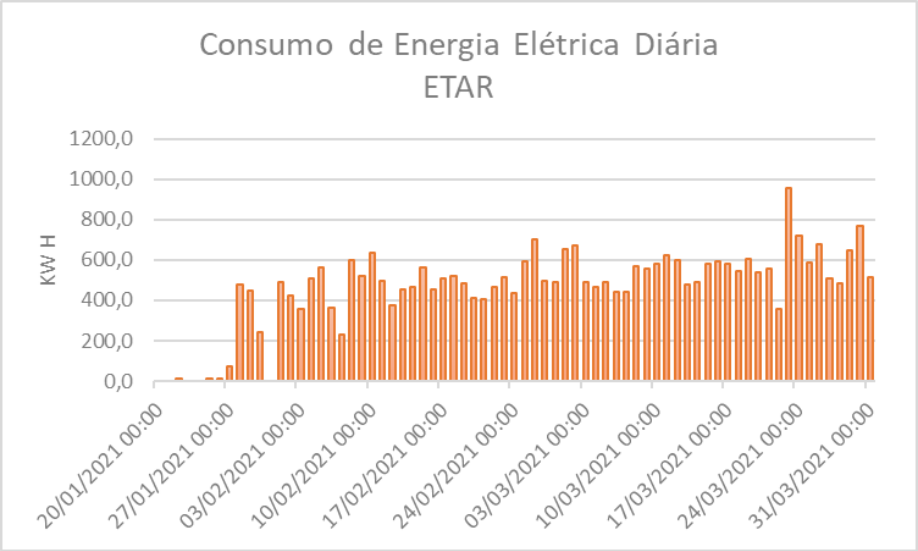

Figura 47- Consumo de energia elétrica diária da ETAR, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 21 de janeiro a 31 de março de 2021.

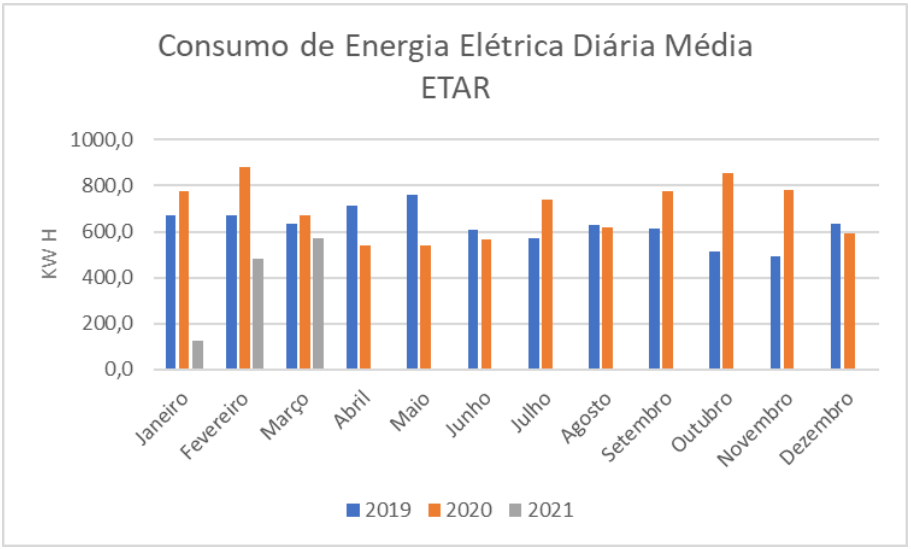

Figura 48- Consumo de energia elétrica diária média da ETAR entre os anos de 2019, 2020 e 2021.

Ao contrário dos restantes analisadores, para o equipamento Vieira Inox não se pode comparar dados com os anos anteriores, sendo que se verificou que os dados retirados manualmente do analisador instalado em janeiro de 2020 não eram fiáveis. Desta forma para a instalação deste analisador apenas foi tido em conta a análise do consumo de energia elétrica diária dos dados retirados do servidor

Proficloud. Na Figura 49 encontra-se representada a primeira análise dos dados retirados para o consumo de energia elétrica deste equipamento, onde denota-se uma discrepância dos valores registados inicialmente. Esta discrepância deve-se a um erro de parametrização inicial do analisador, não tendo sido colocada a relação de transformação correta na fase de instalação. Sendo que este equipamento não é utilizado todos os dias, esta anomalia apenas foi detetada e corrigida no dia 12 de janeiro de 2021.

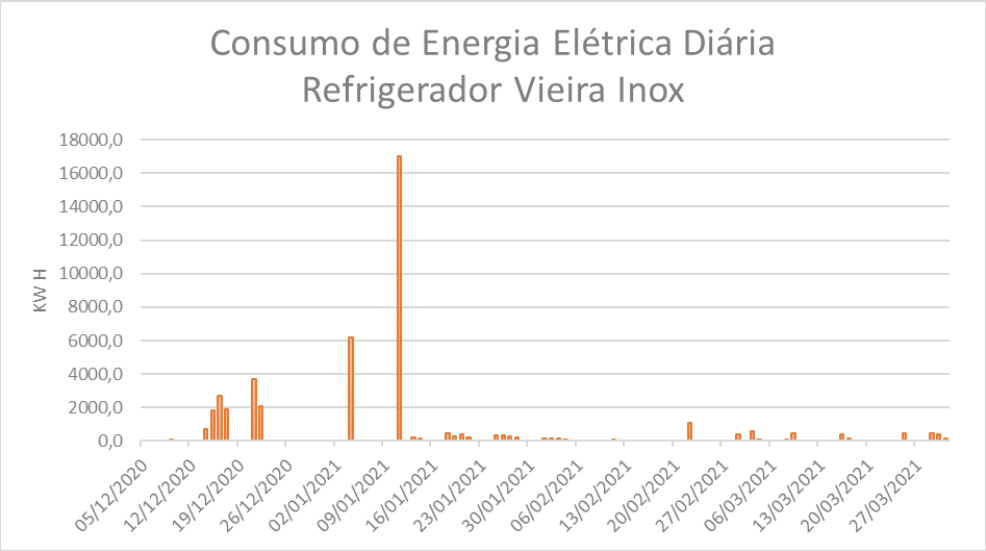

Figura 49- Consumo de energia elétrica diária do refrigerador Vieira Inox, dados retirados do servidor *Proficloud* referentes ao período de 3 de dezembro de 2020 a 31 de março de 2021.

Na Figura 50 estão apresentados os dados reais para o consumo de energia elétrica retirados do analisador do refrigerador Vieira Inox onde se verifica um consumo pouco estável do equipamento. Sendo que este equipamento apenas é utilizado caso seja necessário diminuir a temperatura do produto antes do mesmo ser enviado para a linha de produção, verifica-se um padrão irregular nos consumos de energia elétrica diários.

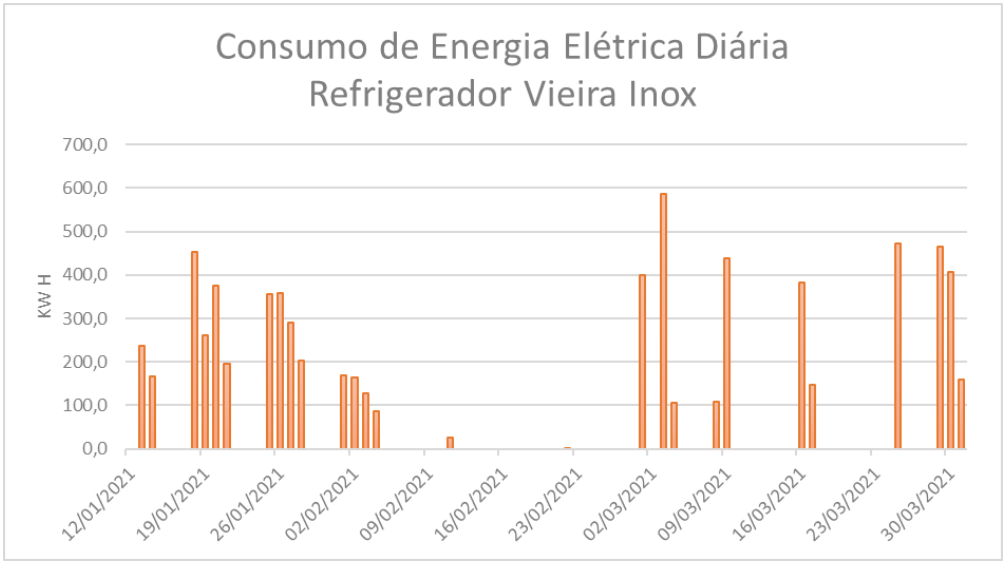

Figura 50- Consumo de energia elétrica diária do refrigerador Vieira Inox, dados retirados do servidor Proficloud referentes ao período de 12 de janeiro a 31 de março de 2021.

Tendo estas análises em consideração, a implementação do sistema SCADA desenvolvido internamente na organização foi tomada como bem-sucedida mesmo tendo em conta os contratempos identificados. O desenvolvimento interno deste sistema permitiu melhorar a recolha dos dados de campo para os consumos energéticos, desenvolver a rede industrial da organização enquadrando-a assim no paradigma da Indústria 4.0 e desenvolver a programação e integração dos dispositivos de campo para com o MTU e os servidores. As ferramentas desenvolvidas neste sistema foram também aplicadas ao sistema SCADA desenvolvido em paralelo com foco na supervisão da produção de produto engarrafado.

Capítulo 5
Melhorias nos consumos energéticos

Neste capítulo é apresentada a principal melhoria obtida a curto prazo após a implementação do sistema de supervisão, tendo o mesmo o objetivo de encadear de forma lógica a análise inicial realizada, as alterações ao processo implementadas e a comparação entre as reduções energéticas verificadas com os períodos homólogos dos anos anteriores.

5.1. **Análise de funcionamento dos *Chillers* CEN**

Com a implementação dos analisadores de energia e do sistema de supervisão instalado tornou-se possível recolher dados de campo que auxiliam a compreensão do funcionamento dos sistemas implementados na organização e a tomada de decisão estratégica da empresa. Desta forma o primeiro foco após a instalação do sistema de supervisão passou por analisar o consumo energético do principal consumidor elétrico da organização, os *Chillers* CEN e procurar soluções para a redução do consumo energético.

5.1.1. Descrição do sistema

Na organização da José Maria da Fonseca Vinhos S.A., o CEN trata-se da área onde os processos de transformação do vinho são realizados, desde o esmagamento da matéria-prima (engaço) até à fermentação, podendo nalguns casos ser realizada a dessulfitação do mesmo. Nesta área existem diversas cubas e diversos equipamentos que necessitam de refrigeração fornecida por 5 Chillers de condensação a ar, instalados em 1999. Na Tabela 4 estão apresentadas as principais características destes equipamentos como a sua marca e modelo, a sua potência de arrefecimento e elétrica.

Tabela 4- Caracterização dos *Chillers* CEN.

Identificação	Marca	Modelo	Potencia de Arrefecimento [kW]	Potência Elétrica [kW]
***Chiller* Nº1**	Trane	ERTAA 430	930	4 x 113
***Chiller* Nº2**	Trane	ERTAB 217	567	2 x 131
***Chiller* Nº3**	Trane	ERTAB 217	567	2 x 131
***Chiller* Nº4**	Trane	ERTAB 212	330	2 x 76
***Chiller* Nº5**	Trane	ERTAB 212	330	2 x 76

Existem dois circuitos de refrigeração alimentados por este conjunto de equipamentos: o circuito dos vinhos brancos e o circuito dos vinhos tintos. O circuito dos vinhos brancos é constituído atualmente pelo *chiller* Nº 1, sendo que os *chillers* Nº 2 e Nº 3 se encontram desabilitados, e o mesmo atinge uma temperatura de processo de -2 ºC. O circuito dos vinhos tintos é constituído pelos *chillers* Nº 4 e Nº 5 e os mesmos atingem uma temperatura de processo de 7 ºC.

O funcionamento dos *chillers* é controlado através de um sistema SCADA que controla o processo de transformação de vinho nesta área. No painel do sistema SCADA é possível controlar os *chillers* e também as bombas de circulação dos sistemas, alterando o estado destes equipamentos entre desligado, ligado ou automático. Este circuito de refrigeração foi inicialmente instalado para refrigerar as cubas de transformação de vinho. Ao circuito de refrigeração descrito foi posteriormente integrado o circuito de refrigeração do dessulfitador, equipamento que necessita também de um circuito de refrigeração a -2 ºC e outro circuito a 7 ºC.

5.1.2. Análise dos dados de campo

Através do servidor *Proficloud* retiraram-se os dados das variáveis referentes às intensidades de cada uma das fases elétricas registadas pelo analisador, agrupando os mesmos pela média de períodos de 5 minutos, estando uma amostra destes dados apresentada no Anexo III. Na Figura 51 estão apresentados os dados retirados para um período de 2 semanas, de 8 a 22 de fevereiro de 2021, agrupados pela média diária. Neste período verificam-se picos de consumo nos dias 8, 9, 10 e 18 de fevereiro causados pela utilização do equipamento de dessulfitação de vinho.

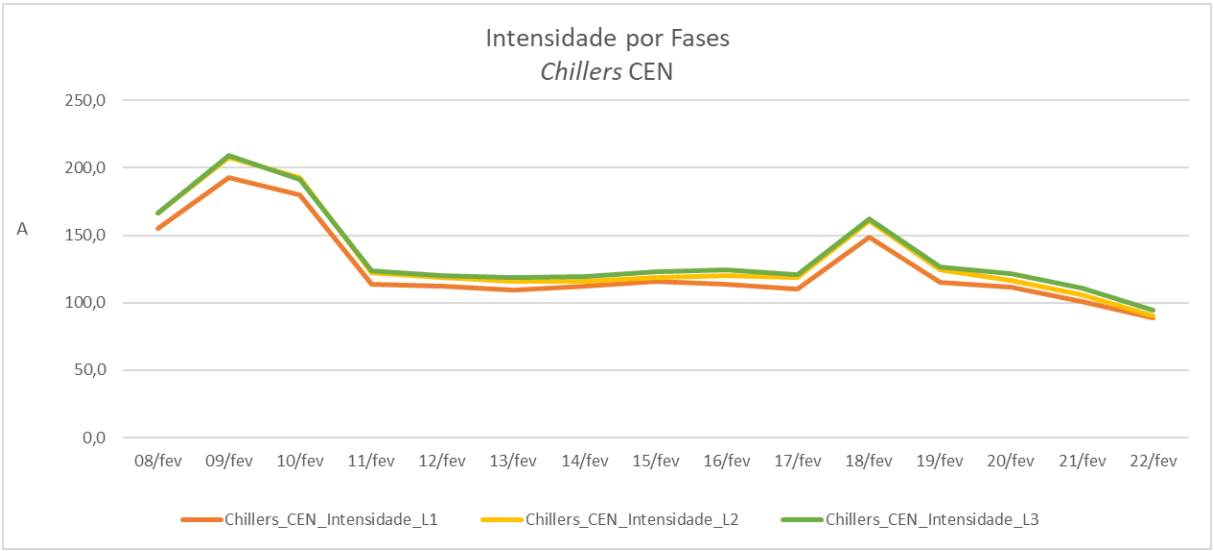

Figura 51- Intensidade diária média das fases dos *Chillers* CEN, período de 8 a 22 de fevereiro de 2021.

Os dados recolhidos foram analisados e divididos em dois estados: dessulfitador operacional e dessulfitador inoperacional. Para cada estado foram verificadas as intensidades médias e o seu pico

máximo. Na Tabela 5 está apresentada a análise para o estado em que o dessulfitador se encontra operacional, verificando-se um consumo médio de intensidades entre os 283,8 e os 306 amperes com um pico máximo de 428,5 amperes. Na Tabela 6 está apresentada a análise para o estado em que o dessulfitador se encontra inoperacional, verificando-se um consumo médio de intensidades entre os 109,4 e os 118,5 amperes e um pico máximo de 152,3 amperes. Verifica-se deste modo que mesmo quando o dessulfitador se encontra inoperacional existe um consumo energético elevado, mantendo-se os *Chillers* operacionais.

Tabela 5- Análise dos dados de intensidade para o período do dessulfitador operacional de 8 a 22 de fevereiro.

	Fase 1	**Fase 2**	**Fase 3**
Média Intensidade	283,8 A	306,0 A	303,2 A
Pico Máximo	399,0 A	429,1 A	428,5 A

Tabela 6- Análise dos dados de intensidade para o período do dessulfitador inoperacional de 8 a 22 de fevereiro.

	Fase 1	**Fase 2**	**Fase 3**
Média Intensidade	109,4 A	115,1 A	118,5 A
Pico Máximo	141,8 A	151,6 A	152,3 A

Acedendo ao painel de controlo do servidor *Proficloud* referente ao analisador dos *Chillers* CEN para uma análise da energia consumida e associando a mesma ao estado do dessulfitador obtêm-se os dados registados na

Tabela 7. Aqui foram comparados por dia os períodos em que o dessulfitador se encontra operacional ou inoperacional e determinados os consumos energéticos associados a cada um dos estados do equipamento.

Como se encontra indicado no final da tabela, para o período de 14 dias em análise registou-se que o equipamento se encontrou operacional um total de 39 horas e inoperacional um total de 321 horas, cerca de 89% do tempo. Também como se encontra indicado na tabela, para o período em análise consumiu-se um total de 5950 kW h quando o dessulfitador se encontra operacional e um total de 16241 kW h estando o mesmo inoperacional, equivalente a 73% da energia consumida neste período. Fazendo uma relação entre o consumo inoperacional com os respetivos períodos verifica-se uma média de 50,6 kW h consumidos a cada hora que o circuito de refrigeração não é solicitado.

Tabela 7- Comparação dos consumos elétricos para o dessulfitador operacional e inoperacional, no periodo de 8 a 22 de fevereiro de 2021.

Dia	Duração Operacional (H)	Duração Inoperacional (H)	Consumo Operacional (kW h)	Consumo Inoperacional (kW h)
8	10:00	14:00	1630	310
9	10:00	14:00	1830	640
10	9:30	14:30	1570	690
11	0:00	24:00	0	1320
12	0:00	24:00	0	1272
13	0:00	24:00	0	1258
14	0:00	24:00	0	1277
15	0:00	24:00	0	1314
16	0:00	24:00	0	1304
17	0:00	24:00	0	1280
18	9:30	14:30	920	720
19	0:00	24:00	0	1310
20	0:00	24:00	0	1288
21	0:00	24:00	0	1172
22	0:00	24:00	0	1086
Total	39:00	321:00	5950	16241

5.1.3. Implementação de medidas de redução de consumo

Após a análise dos dados de campo recolhidos identificou-se que os *Chillers* se encontravam constantemente a refrigerar os seus circuitos, mesmo quando não existia necessidade por parte do processo. Verificou-se que esta situação ocorria de forma a existir um constante fornecimento de refrigeração quando necessário e que nunca tinha sido criado um procedimento para encerramento e arranque destes equipamentos.

Desta forma, a partir do dia 23 de março de 2021, as bombas de recirculação de ambos os circuitos de refrigeração começaram a ser encerradas quando não existia a necessidade por parte do processo. Numa fase inicial este procedimento foi feito pela equipa de manutenção para definir o procedimento de arranque e encerramento destes equipamentos. Posteriormente foi criada uma instrução de trabalho com o procedimento definido e dada a formação aos operadores da área para realizarem o arranque e encerramento quando fosse necessário ao processo.

5.1.4. Verificação do consumo energético após implementação de melhoria

Após a implementação do procedimento de encerramento e arranque dos equipamentos analisaram-se novamente os dados retirados do servidor Proficloud, comparando as intensidades e os consumos

com os valores registados anteriormente. Na Figura 52 estão apresentados os dados retirados para um período de 2 semanas, de 20 de março a 2 de abril de 2021, agrupados pela média diária. Neste período distingue-se a implementação do procedimento descrito anteriormente sendo possível observar um decréscimo no consumo médio da intensidade das fases após o dia 23 de março. Torna-se também possível identificar facilmente os dias de necessidade de refrigeração nos circuitos, verificando-se um aumento de intensidade das fases abrupto nos dias 29, 30 e 31 de março, dias em que o dessulfitador se encontrou operacional.

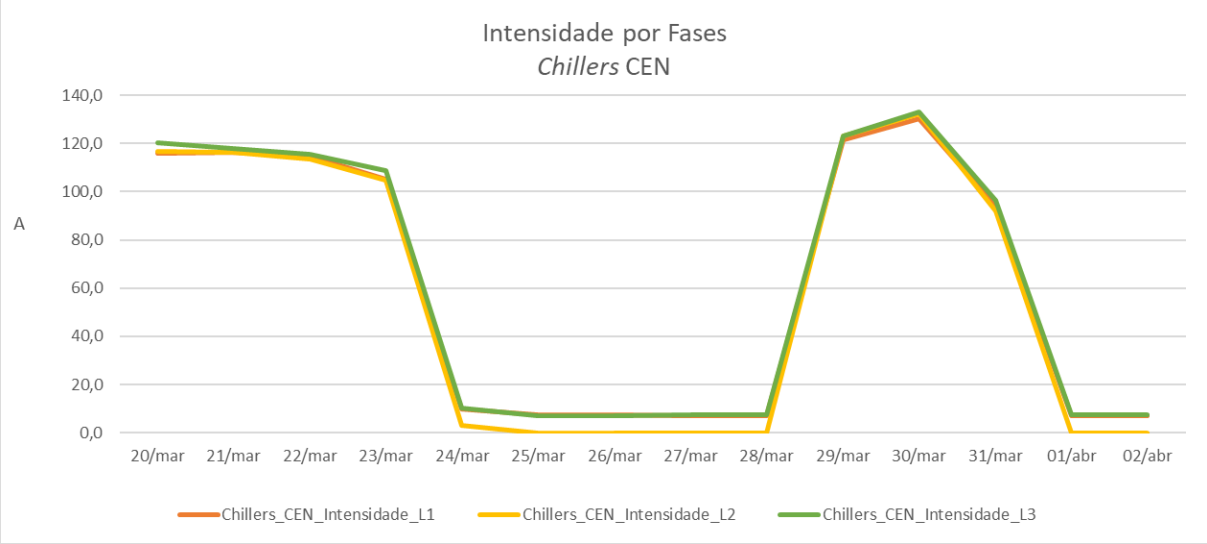

Figura 52- Intensidade diária média das fases dos Chillers CEN, período de 20 de março a 2 de abril de 2021.

Foram novamente analisados os dados de consumo energético quando o equipamento dessulfitador se encontra inoperacional, estando os mesmos apresentados na Tabela 8. Sendo que os *Chillers* não se encontram operacionais neste período verifica-se que as médias de intensidade das fases diminuíram substancialmente estando estes valores entre os 0,33 A e os 7,55 A. Notou-se, no entanto, um aumento nos valores dos picos de intensidade máximos sendo que uma das fases atingiu um valor de 309,7 A. Verificaram-se que estes picos não apresentam um padrão prolongado aparentando serem derivados de alterações de frequência da rede de energia elétrica e deste modo não apresentam relevância para o estudo.

Tabela 8- Análise dos dados de intensidade para o período do dessulfitador inoperacional de 24 de março a 2 de abril.

	Fase 1	**Fase 2**	**Fase 3**
Média Intensidade	7,39 A	0,33 A	7,55 A
Pico Máximo	291,3 A	309,7 A	306,5 A

De forma a comparar o novo padrão de consumo energético foram retirados do servidor *Proficloud* os

dados da energia para o período de 24 de março a 7 de abril e foram agrupados como se encontram apresentados na Tabela 9. À semelhança do registado anteriormente, o período em que o dessulfitador se encontra inoperacional é bastante superior ao período inoperacional, cerca de 84 % do tempo. Identifica-se também que ocorreu uma diminuição substancial no consumo energético do estado inoperacional, sendo que foram consumidos 870 kW h durante o período de 302 horas. Este consumo equivale a uma média de 2,9 kW h consumidos a cada hora, uma redução de cerca 94% ao valor anterior.

Tabela 9- Comparação dos consumos elétricos para o dessulfitador operacional e inoperacional, no período de 24 de março a 7 de abril de 2021

Dia	Duração Operacional	Duração Inoperacional	Consumo Operacional (kW h)	Consumo Inoperacional (kW h)
24/mar	0:00	24:00	0	90
25/mar	0:00	24:00	0	60
26/mar	0:00	24:00	0	60
27/mar	0:00	24:00	0	50
28/mar	0:00	24:00	0	60
29/mar	10:00	14:00	1410	60
30/mar	10:00	14:00	1550	60
31/mar	9:00	15:00	1140	30
01/abr	0:00	24:00	0	60
02/abr	0:00	24:00	0	60
03/abr	0:00	24:00	0	50
04/abr	0:00	24:00	0	60
05/abr	9:00	15:00	1410	80
06/abr	10:00	14:00	1460	30
07/abr	10:00	14:00	1290	60
Total	58:00	302:00	8260	870

Estes valores têm vindo a ser analisados após a implementação do novo procedimento e nos meses seguintes foi possível verificar uma redução no consumo energético destes equipamentos. Na Figura 21Figura 53 está apresentado graficamente a comparação mensal do consumo de energia ativa total nos últimos anos para os equipamentos *Chillers* CEN. Como se pode verificar após esta melhoria nota-se uma diminuição substancial nos valores do consumo energético, sendo que para os meses de abril, maio e junho os consumos reduziram-se em 66,0 %, 66,5% e 63,1 % respetivamente.

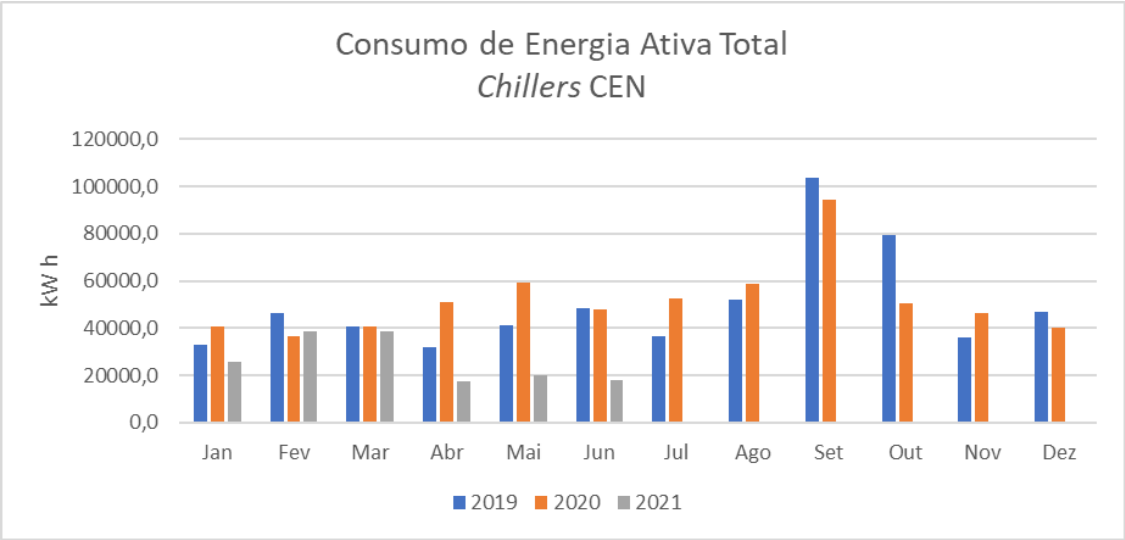

Figura 53- Consumo da energia total ativa para dos equipamentos *Chillers* CEN para os anos de 2019, 2020 e 2021.

Capítulo 6

Conclusões e proposta de trabalho futuro

Tendo este relatório o âmbito de apresentar de forma concisa e lógica a abordagem tomada para a implementação de um sistema de supervisão na gestão de consumos de energia elétrica numa organização da indústria vinícola são neste capítulo apresentadas as principais conclusões tiradas.

São abordados os diferentes objetivos apresentados inicialmente e as principais conclusões que se retiram após a implementação bem-sucedida do sistema de supervisão. São também abordadas possíveis abordagens que podem ser tomadas para o desenvolvimento de novos projetos com base no sistema implementado.

6.1. Conclusões

Como referido os sistemas de supervisão permitem às organizações tomar decisões estratégicas através de dados retirados automaticamente do campo, otimizando assim a utilização dos recursos inerentes a tarefas de valor não agregado. As utilizações destes sistemas com foco na gestão de consumos de energia elétrica permitem às organizações avaliar o impacto energético dos seus ativos, sendo possível avaliar os consumos elétricos dos mesmos.

Indo ao encontro do apresentado na revisão bibliográfica, o sistema de supervisão implementado na José Maria da Fonseca Vinhos S.A. deve ser considerado como um caso de sucesso. Embora a implementação do sistema tenha sido realizada internamente pela equipa de manutenção da organização, a estrutura de *hardware* e tipologia do mesmo assemelham-se a um sistema SCADA tradicional. O desenvolvimento deste sistema permitiu evoluir a rede industrial da organização, permitindo à mesma enquadrar-se nos paradigmas da Indústria 4.0 e do IIoT.

A implementação de um sistema cujos componentes utilizam como protocolo de comunicação a *Ethernet/IP* permitiu desenvolver o mesmo sem se verificar a necessidade de integrar dispositivos com protocolos de comunicação aberta. Na fase de implementação destaca-se a interação entre o PLC *Master* da *Allen Bradley* e o PLC da *Phoenix Contact*, estando o MTU a recolher e transformar os dados recolhidos pelos dispositivos de campo.

É importante referir que durante a fase de implementação do projeto descrito neste relatório não foram necessárias a aquisição de licenças periódicas para apresentação dos HMI ou para apresentação dos painéis de controlo do servidor *Proficloud* estando estas funcionalidades disponíveis através da programação do *PLCNext Control*. No entanto, a utilização do servidor *Proficloud* foi parada em

setembro de 2021, tendo a Phoenix Contact restringido a utilização gratuita do mesmo para 20 variáveis por organização.

Seguindo o objetivo de desenvolver uma ferramenta de apoio à gestão dos consumos elétricos, o sistema desenvolvido deve ser também considerado como bem-sucedido pela redução de consumo verificada no principal consumidor da organização. A implementação desta ferramenta permitiu avaliar os padrões de consumo dos *Chillers* CEN, avaliar os consumos associados à operação do mesmo e determinar de forma precisa os benefícios obtidos com a alteração de operação implementada, tanto os benefícios energéticos como os custos associados.

6.2. **Proposta de trabalho futuro**

De forma a ir de encontro ao paradigma da Indústria 4.0 desenvolvimentos devem ser realizados de forma a digitalizar a recolha de dados de campo e integrar os processos existentes na organização

Como referido no Capítulo 4 o desenvolvimento deste sistema foi realizado em paralelo com o desenvolvimento de um sistema de supervisão com foco na produção, tendo o mesmo até ao momento sido implementado em duas das 5 linhas de produção da organização.

Após a implementação do sistema descrito neste relatório têm vindo a ser implementados outros sistemas de supervisão para os diferentes recursos utilizados na organização, como a água e o azoto. Nestes sistemas pretende-se implementar uma componente de controlo para além da supervisão, sendo possível fechar circuitos automaticamente quando o processo assim o justificar.

Sendo que para a utilização a longo prazo do servidor *Proficloud* seria necessária a aquisição de licenças de utilização, os dados retirados passaram a ser registados diretamente num ficheiro .CSV desde setembro de 2021. Neste momento procura-se encontrar a forma mais rentável de criar painéis de controlo para os dados recolhidos, estando a ser analisadas aplicações *freeware* como o Grafana ou a criação de um ficheiro dinâmico em Excel com programação em VBA (*Visual Basic for Applications*).

Bibliografia

[1] S. A. Boyer, SCADA. Supervisory Control And Data Acquisition, Estados Unidos da América: ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2004.

[2] D. Bailey e E. Wright, Practical SCADA for Industry, Burlington: IDC Technologies, 2003.

[3] A. Ujvarosi, “Bulletin of the Transilvania University of Braşov,” *Evolution of SCADA Systems,* pp. 65-68, 2016.

[4] L. A. Bryan e E. A. Bryan, Programmable Controllers Theory and Implementation, Estados Unidos da América: Industrial text Company, 1988.

[5] N. C. System, “Technical Information Bulletin 04-1 Supervisory Control and Data Acquisitions (SCADA) Systems,” National Comunications System, Arlington, Estados Unidos da América, 2004.

[6] B. R. Mehta e Y. J. Reddy, Industrial Process Automation Systems, Butterworth-Heinemann: Elsevier Inc., 2015.

[7] C. C. Moraes e P. L. Castrucci, Engenharia de Automação Industrial, Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Cientificos Editora Ltda., 2010.

[8] A. S. Tanenbaum e D. J. Wetherall, Computer Networks, Prentice Hall: Pearson Education, Inc., 2011.

[9] H. A. Whyte, Telecommunications Engineer's Reference Book, Oxford, Inglaterra: Butterworth-Heinemann Ltd, 1993.

[10] E. Tittel e J. M. Stewart, Certified Information Systems Security Professional, California, Estados Unidos da América: SYBEX, 2004.

[11] B. Galloway e G. P. Hancke, “IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS,” *Introduction to Industrial Control Networks,* pp. 860-880, 2013.

[12] G. Clarke e D. Reynders, Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, IEC 60870-5 and Related Systems, Oxford, Inglaterra: IDC Technologies, 2204.

[13] IIT Kharagpur, “Module 8. Industrial Embedded and Communication Systems. Version 2 EE IIT, Kharagpur 1,” DocPlayer, 2021. [Online]. Available: http://docplayer.net/6967465-Module-8-industrial-embedded-and-communication-systems-version-2-ee-iit-kharagpur-1.html. [Acedido em 20 Março 2021].

[14] I. E. Commission, *IEC 61158- Industrial communication networks - Fieldbus specifications,* 2019, pp. 6-7.

[15] L. D. Xu, E. L. Xu e L. Li, “International Journal of Production Research,” *Industry 4.0: state of the art and future trends,* pp. 2941-2962, 9 Março 2018.

[16] V. L. Bittencourt, A. C. Alves e C. P. Leão, “Lean Thinking contributions for Industry 4.0: a Systematic Literature Review,” *IFAC PapersOnLine,* pp. 904-909, 2019.

[17] M. Tabaa, F. Monteiro, H. Bensag e A. Dandachee, “Green Industrial Internet of Things from a smart industry perspectives,” *Energy Reports,* pp. 430-446, 5 Agosto 2020.

[18] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag e M. Gidlund, “Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities and Directions,” *IEEE Transactions on industrial informatics,* pp. 4724-4734, Novembro 2018.

[19] R. M. A. C. Marinho, “Gestão de Energia Elétrica no Polo III da Universidade de Coimbra,” Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

[20] J. Figueiredo e J. S. Costa, “A SCADA system for energy management in intelligent buildings,” *Energy and Buildings,* pp. 85-98, 24 1 2012.

[21] C. Vargas-Salgado, J. Aguila-Leon, C. Chinas-Palacios e E. Hurtado-Perez, “Heliyon,” *Low-cost web-based Supervisory COntrol and Data Acquisition system for a miicrogrid testbeed: A case study in design and implementation for academic and research applications,* pp. 1-11, 11 Setembro 2019.

[22] “José Maria da Fonseca- História,” José Maria da Fonseca, [Online]. Available: https://www.jmf.pt/index.php?id=90. [Acedido em 17 Abril 2021].

[23] J. A. Leite, “José Maria da Fonseca,” Restos de Coleção, 28 Setembro 2012. [Online]. Available: https://restosdecoleccao.blogspot.com/search?q=jos%C3%A9+maria+da+fonseca. [Acedido em 2021 Abril 17].

[24] “José Maria da Fonseca- Factos e Numeros,” José Maria da Fonseca, [Online]. Available:

https://www.jmf.pt/index.php?id=91. [Acedido em 17 Abril 2021].

[25] A. D. d. C. Pinheiro, “Sistema de Automação e Gestão Visual da Fábrica,” Universidade de Aveiro, Aveiro, 2016.

[26] G. G. D. Veiga, “Estudo e Implementação Piloto de um Sistema SCADA na Swedwood Portugal,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2011.

[27] D. J. S. Faria, “Estudo da Supervisão, Automação e Controlo de um Sistema de Utilidades,” Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2015.

[28] I. O. f. Standardization, “Win the energy challenge with ISO 50001,” International Organisation for Standardization, Suiça, 2011.

[29] Eurostat, “Electricity production, consumption and market overview,” Eurostat, 17 Setêmbro 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_production,_consumption_and_market_overview. [Acedido em 6 Maio 2021].

[30] ADENE, “Conversor SGCIE,” ADENE, 2021. [Online]. Available: https://www.sgcie.pt/conversor-sgcie/. [Acedido em 10 Maio 2021].

[31] “How to convert amps to kilowatts,” RapidTables, [Online]. Available: https://www.rapidtables.com/convert/electric/Amp_to_kW.html. [Acedido em 16 Setembro 2021].

[32] J. Rinaldi, “Real Time Automation,” *An Overview of EtherNet/IP- An application layer protocol for industrial automation,* pp. 1-8, 2003.

[33] P. Brooks, “EtherNet/IP: Industrial Protocol White Paper,” Institute of Electrical and Electronic Engineers, Nova Iorque, Estados Unidos da América, 2001.

[34] I. ODVA, “Network Infrastructure for Ethernet/IP: Introduction and Considerations,” Open DeviceNet Vendor Association, Inc., Ann Arbor, EUA, 2007.

[35] AutomationDirect.com, “Productivity Series - EtherNet/IP - Overview,” Youtube, 13 Agosto 2014. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=qqtmmN6pnzk. [Acedido em 28 Março 2021].

Anexo I

Exemplo de Dados Retirados do Servidor *Proficloud*

No Anexo I encontra-se apresentada um modelo das tabelas retiradas do servidor *Proficloud*, onde é criado um ficheiro .CSV com as 3 primeiras colunas: Série; Data e Valor. Numa folha de cálculos do Excel é calculado o consumo diário para cada dia, fazendo a diferença dos dados da coluna Valor dessa linha com a linha anterior. Esta amostra apresenta o período de 3 a 30 de dezembro de 2020.

Série	Data	Valor (kW h)	Consumo diário (kW h)
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	03/12/2020	947	
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	04/12/2020	952	5,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	05/12/2020	1019	67,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	06/12/2020	1028	9,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	07/12/2020	1852	824,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	08/12/2020	1860	8,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	09/12/2020	2922	1062,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	10/12/2020	4014	1092,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	11/12/2020	4216	202,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	12/12/2020	4223	7,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	13/12/2020	4229	6,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	14/12/2020	4821	592,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	15/12/2020	5533	712,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	16/12/2020	6698	1165,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	17/12/2020	7742	1044,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	19/12/2020	8247	505,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	20/12/2020	8255	8,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	21/12/2020	9320	1065,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	22/12/2020	10342	1022,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	23/12/2020	11035	693,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	24/12/2020	11044	9,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	25/12/2020	11052	8,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	26/12/2020	11060	8,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	27/12/2020	11069	9,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	28/12/2020	11239	170,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	29/12/2020	11353	114,0
Compressor_2_Potencia_Total_kWh	30/12/2020	11362	9,0

Anexo II

Exemplo de Dados Trabalhados pelos Registos Manuais

No Anexo II encontra-se apresentada um modelo das tabelas utilizadas para analisar os dados de contagens dos consumos energéticos registados manualmente, tendo os dados sido trabalhados numa folha de cálculo do Excel. Os dados registados foram agrupados nas duas primeiras colunas: Data e energia. Na terceira coluna é apresentado a diferença entre a energia desse registo e do anterior. O valor de consumo diário médio é obtido dividindo o valor de consumo entre registos dessa linha com a diferença de dias entre registos. Esta amostra apresenta o período de 6 de janeiro a 8 de junho de 2020.

Data	Energia (kW h)	Consumo entre registos (kW h)	Consumo diário médio (kW h)
06/01/2020	281302	1011,4	168,57
13/01/2020	283499	2197,0	313,86
20/01/2020	287294	3795,0	542,14
27/01/2020	291151	3857,0	551,00
31/01/2020	293822	2671,4	667,86
03/02/2020	295826	2003,6	667,86
10/02/2020	299604	3778,0	539,71
17/02/2020	303521	3917,0	559,57
26/02/2020	308350	4829,0	536,56
29/02/2020	309307	957,0	319,00
02/03/2020	309945	638,0	319,00
09/03/2020	313749	3804,0	543,43
16/03/2020	317876	4127,0	589,57
23/03/2020	322006	4130,0	590,00
30/03/2020	325886	3880,0	554,29
31/03/2020	326259	372,6	372,57
27/04/2020	336318	10059,4	372,57
30/04/2020	337302	984,4	328,14
04/05/2020	338615	1312,6	328,14
11/05/2020	341338	2723,0	389,00
18/05/2020	345630	4292,0	613,14
25/05/2020	348607	2977,0	425,29
31/05/2020	351939	3331,7	555,29
01/06/2020	352494	555,3	555,29
08/06/2020	355549	3055,0	436,43

Anexo III

Dados de Intensidade de Fases Retirados do Servidor *Proficloud*

No Anexo III encontra-se apresentado um exemplo dos dados retirados do servidor *Proficloud* para as séries das 3 fases de intensidade de corrente dos *Chillers* CEN. Os dados foram agrupados em espaços temporais de 5 minutos. Na primeira coluna é apresentada a série correspondente dessa linha, na segunda coluna o período de tempo respetivo e na terceira coluna o valor da variável em amperes. Esta amostra apresenta um período temporal de 40 minutos do dia 27 de janeiro de 2021

Série	Data	Valor (A)
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:05	79,1
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:05	79,4
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:05	82,5
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:10	127,9
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:10	128,6
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:10	130,7
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:15	113,8
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:15	114,7
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:15	117,1
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:20	71,4
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:20	68,7
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:20	72,7
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:25	43,9
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:25	39,2
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:25	44,3
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:30	43,9
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:30	39,2
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:30	44,4
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:35	43,9
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:35	39,2
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:35	44,2
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:40	59,4
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:40	55,5
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:40	60,0
Chillers_CEN_Intensidade_L1	27/01/2021 15:45	155,9
Chillers_CEN_Intensidade_L2	27/01/2021 15:45	157,2
Chillers_CEN_Intensidade_L3	27/01/2021 15:45	158,5