



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Engenharia

Controlo e Monitorização de Postos de Carregamento Solar para *E-bikes*

Carlos José Oliveira Inácio

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor José Álvaro Nunes Pombo
Coorientador: Prof. Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano

Covilhã, janeiro de 2020

Agradecimentos

Apesar de toda a dedicação, esforço e trabalho realizado para tornar possível o desenvolvimento desta dissertação, esta contou com importantes apoios e incentivos de várias pessoas que sem as quais não seria tornado uma realidade. Por isso, quero deixar aqui o meu profundo agradecimento a todos os que acreditaram em mim e me apoiaram:

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Prof. Doutor José Álvaro Nunes Pombo por todo o apoio, dedicação e disponibilidade demonstradas no decorrer da realização da dissertação com todo o conhecimento, sugestões e esclarecimento de dúvidas.

Ao Prof. Doutor Sílvio José Pinto Simões Mariano por toda a ajuda, conhecimento e disponibilidade prestada ao longo de todo o percurso académico.

À Prof. Doutora Maria do Rosário Calado por estar sempre disposta ajudar em qualquer questão sobre o projeto e por me ter dado a oportunidade de conseguir uma bolsa de investigação científica no âmbito do projeto *URBAN AIR*.

Gostaria também de agradecer a oportunidade de poder frequentar o laboratório de *Power Systems* da Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior e por todos os equipamentos disponibilizados que permitiram a vertente prática dos trabalhos realizados.

À minha família por todo o amor, suporte e compreensão que sempre me deram ao longo de todo o meu percurso escolar e académico e por me terem proporcionado todas as condições necessárias para que terminasse cada etapa com sucesso.

Aos amigos e em especial à Mariana Madeira, que de uma maneira ou de outra, sempre me apoiaram e incentivaram em todos os desafios.

Por fim, gostaria de agradecer a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para que esta dissertação pudesse ser possível.

Resumo

Atualmente a maior parte dos veículos utilizados no transporte público e privado utilizam motores de combustão interna, dependentes do uso do petróleo e dos seus derivados. Devido aos problemas relacionados com a finitude deste recurso natural, à poluição atmosférica e ao aquecimento global, os países tiveram de adotar políticas de desenvolvimento sustentável, através do incentivo às energias renováveis e à mobilidade elétrica urbana.

Neste novo paradigma da mobilidade sustentável, as bicicletas surgiram como uma alternativa altamente viável para maior parte dos percursos diários, combinando as necessidades de transporte eficiente com a inexistência de emissões de gases de efeito de estufa (GEE) ou outros poluentes. A bicicleta tem vindo a deixar de ser reconhecida não apenas como um instrumento lúdico, mas também como um meio de transporte urbano promotor de saúde.

Para melhorar o desempenho e diminuir o esforço físico do uso da bicicleta tradicional em condições mais adversas como, por exemplo, nas subidas a opção recai nas bicicletas elétricas (*e-bikes*), pois este tipo de veículo permite aos utilizadores a realização dos percursos diários de forma mais rápida e cómoda.

O principal objetivo desta dissertação visa o estudo, desenvolvimento e teste de um sistema de controlo e monitorização de postos de carregamento solar para *e-bikes*, através da produção e armazenamento de energia elétrica com ligação à rede elétrica. Desta forma, é possível promover a utilização deste meio de transporte por parte das comunidades universitárias e tirar partido das suas potencialidades.

Para a gestão e identificação dos potenciais utilizadores foi implementada uma solução global de comunicação sem fios, através de radiofrequência, com a utilização de componentes da família SIMATIC da Siemens. Foi detalhado todo o *hardware* utilizado, características e desenvolvimento do *software* implementado para controlar o sistema. De forma a interagir com o sistema, utilizou-se uma interface homem-máquina.

A aplicação desenvolvida nesta dissertação servirá de apoio ao projeto “*URBAN_AIR - Melhoria do Ambiente Urbano e Redução da Poluição do ar através de soluções de Mobilidade Sustentável nas Cidades de Portugal e Espanha*”. Inicialmente foram implementados quatro postos de carregamento que permitiram abranger os diversos espaços da Universidade da Beira Interior.

Palavras-chave

Mobilidade Sustentável; *E-bikes*; Postos de Carregamento Solar; PLC; RFID; HMI.

Abstract

Nowadays almost every vehicle used for public and private transport use internal combustion engines, dependent on the use of petroleum and their derivatives. Due to the problems related to the finiteness of this natural resource, atmospheric pollution and global warming, countries had to adopt sustainable development policies, through encouragement of renewable energies and urban mobility.

In this new paradigm of sustainable mobility, bicycles have emerged as highly viable alternative for most daily routes, combining efficient transport with the absence of greenhouse gases emissions or other pollutants. The bicycle has ceased to be recognized not only as a recreational tool, but also as a health-promoting means of transport.

To improve performance and reduce the physical effort of using the traditional bicycle in more adverse conditions such as, for example, on the climbs the option falls on the electric bicycles (e-bikes), because this type of vehicle allows users to travel more quickly and comfortably in daily routes.

The main objective of this dissertation aims to study, develop and test a control and monitoring system for solar charging stations for e-bikes, through the production and storage of electricity with connection to the power grid. Thus, it is possible to promote the use of this means of transport by university communities and take advantage of its potential.

To manage and identify potential users, a global wireless communication solution was implemented, using radio frequency, with the use of components from the SIMATIC family from Siemens. All the hardware used, characteristics and software development implemented to control the system were detailed. In order to interact with the system, a human-machine interface was used.

The application developed in this dissertation will support the project “*URBAN_AIR - Melhoria do Ambiente Urbano e Redução da Poluição do ar através de soluções de Mobilidade Sustentável nas Cidades de Portugal e Espanha.*” Initially, four solar charging stations were implemented to cover the various spaces of the University of Beira Interior.

Keywords

Sustainable Mobility; E-bikes; Solar Charging Stations; PLC; RFID; HMI.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas.....	xiii
Nomenclatura	xv
Capítulo 1 Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Bicicletas Elétricas	5
1.3. Objetivos e contribuição da dissertação	9
1.4. Organização da dissertação	10
Capítulo 2 Estado da Arte	13
2.1. Postos fotovoltaicos para carregamento de <i>E-bikes</i>	13
Capítulo 3 Posto de Carregamento Solar para <i>E-bikes</i>	21
3.1. Visão geral da Arquitetura	21
3.1.1. Unidade de interligação com a rede elétrica.....	22
3.1.2. Unidade de produção de energia.....	23
3.1.3. Unidade de armazenamento de energia	26
3.1.4. Unidade de controlo	28
3.2. Localização dos Postos de Carregamento	31
Capítulo 4 Análise do Sistema	35
4.1. Sistema de Controlo e Monitorização	35
4.2. Circuito de Controlo.....	36
4.3. Circuito de Potência	41
4.4. Interface Homem-Máquina	42
4.5. Esquemas elétricos do Controlador de Carregamento.....	43
Capítulo 5 Programação do Controlador Lógico Programável	45
5.1. Ferramenta computacional	45
5.2. <i>Software</i> desenvolvido.....	53
5.3. Consola HMI	60
Capítulo 6 Conclusões	65
6.1. Conclusões gerais.....	65
Referências Bibliográficas	68

Lista de Figuras

FIGURA 1.1 - CONTRIBUIÇÕES DOS SETORES PARA AS EMISSÕES DE CO ₂ EM PORTUGAL NO ANO 2017 [3].	2
FIGURA 1.2 - EVOLUÇÃO DO PARQUE GLOBAL DE VE NO PERÍODO DE 2013 A 2018 (ADAPTADO DE [8]).	4
FIGURA 1.3 - (A) REPRESENTAÇÃO DE UMA PEDELEC E (B) DE UMA E-BIKE EXCLUSIVAMENTE ELÉTRICA.	5
FIGURA 1.4 - POTÊNCIAS INTERVENIENTES NUMA PEDELEC EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE (ADAPTADO DE [12]).	6
FIGURA 1.5 - PROJEÇÕES DO MERCADO DAS E-BIKES NO MERCADO TOTAL DE BICLETAS POR PAÍS NO PERÍODO 2016 A 2025 [15].	7
FIGURA 1.6 - DISTRIBUIÇÃO DAS VENDAS DE PEDELECS NA EUROPA EM 2016 (ADAPTADO DE [11]).	7
FIGURA 1.7 - (A) E-BIKES UTILIZADAS PARA O PROJETO URBAN AIR COM CONFIGURAÇÃO FRONTAL E (B) MONITOR NO GUIADOR PARA OBTENÇÃO DE INFORMAÇÕES.	8
FIGURA 1.8 - VISÃO GERAL DOS POSTOS DE CARREGAMENTO SOLAR PARA E-BIKES IMPLEMENTADOS NA UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR.	10
FIGURA 2.1 - SOLAR CYCLE STATION INSTALADA EM SHIGA, NO JAPÃO [21].	14
FIGURA 2.2 - POSTO DE CARREGAMENTO SOLAR SUNPOD CYCLO [22].	15
FIGURA 2.3 - ZED DOCK/ SOLAR TREE [23].	15
FIGURA 2.4 - SOLAR MOBILITY HUB NA CIDADE DE EINDHOVEN [24].	16
FIGURA 2.5 - (A) CARREGADOR WIRELESS CRIADO PELA EMPRESA DAYMAK (B) MONIOTOR TOTALMENTE INTEGRADO NA E-BIKE PARA INFORMAÇÕES DE PORCENTAGEM DE BATERIA [25].	17
FIGURA 2.6 - POSTO DE CARREGAMENTO SOLAR E-MOVE [26].	17
FIGURA 2.7 - POSTO DE CARREGAMENTO SOLAR ELECTRIC DRIVE SOLAR KIOSK LOCALIZADO EM AUSTIN [27].	18
FIGURA 2.8 - POSTO DE CARREGAMENTO SOLAR CYCLEUSHARE, O PRIMEIRO SISTEMA DE PARTILHA DE E-BIKES NO EUA [28].	18
FIGURA 2.9 - PROJETO DO POSTO DE CARREGAMENTO SOLAR DESENVOLVIDO NA UNIVERSIDADE DE TECNOLOGIA DE DELFT [29].	19
FIGURA 3.1 - ARQUITETURA GERAL DOS POSTOS DE CARREGAMENTO PARA E-BIKES IMPLEMENTADOS.	22
FIGURA 3.2 - INVERSOR HÍBRIDO UTILIZADO NO PROJETO.	23
FIGURA 3.3 - A) CÉLULA PV; B) MÓDULO PV; C) PAINEL PV.	24
FIGURA 3.4 - PAINEL PV JINKO EAGLE DE 72 CÉLULAS UTILIZADO PARA O PROJETO.	24
FIGURA 3.5 - CURVAS CARATERÍSTICAS I-V E P-V DO PAINEL PV UTILIZADO NO PROJETO (ADAPTADO DE [34]).	26
FIGURA 3.6 - BANCO DE QUATRO BATERIAS DE IÕES-LÍTIO UTILIZADAS PARA O PROJETO.	27
FIGURA 3.7 - CICLO DE FUNCIONAMENTO DE UM PLC [41].	29
FIGURA 3.8 - CONFIGURAÇÃO DO PLC S7-1500 CPU 1512C-1 PN [43].	30
FIGURA 3.9 - POSTO DE CARREGAMENTO LOCALIZADO NA RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA DE SANTO ANTÓNIO.	31
FIGURA 3.10 - POSTO DE CARREGAMENTO LOCALIZADO NA FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE.	31
FIGURA 3.11 - POSTO DE CARREGAMENTO LOCALIZADO NA FACULDADE DE ENGENHARIA.	32
FIGURA 3.12 - PAINÉIS PV INSTALADOS NO TERRAÇO DA FACULDADE DE ENGENHARIA.	32
FIGURA 3.13 - POSTO DE CARREGAMENTO LOCALIZADO NA RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA DO SINEIRO.	33
FIGURA 3.14 - PAINÉIS PV INSTALADOS NO TOPO DA ENTRADA DA RESIDÊNCIA UNIVERSITÁRIA DO SINEIRO.	33
FIGURA 4.1 - REPRESENTAÇÃO DAS PARTES CONSTITUINTES DO SISTEMA DE CONTROLO E MONITORIZAÇÃO DESENVOLVIDO.	35
FIGURA 4.2 - ATRIBUIÇÃO DO IP AOS DIFERENTES DISPOSITIVOS LIGADOS ATRAVÉS DE PROFINET.	37
FIGURA 4.3 - MÓDULO DE COMUNICAÇÃO SIMATIC RF180C (ADAPTADO DE [47]).	37
FIGURA 4.4 - ESQUEMA REPRESENTATIVO DE UM SISTEMA RFID.	38
FIGURA 4.5 - LEITOR RFID RF340R E CARTÃO RFID UTILIZADOS NO PROJETO.	39
FIGURA 4.6 - CIRCUITO DE CONTROLO INSTALADO NO QUADRO ELÉTRICO.	40
FIGURA 4.7 - PONTO DE CARREGAMENTO COM LEITOR RFID NO INTERIOR E LEDS INDICATIVOS DE FUNCIONAMENTO.	40

FIGURA 4.8 - CIRCUITO DE POTÊNCIA INSTALADO NO QUADRO ELÉTRICO.	41
FIGURA 4.9 - QUADRO ELÉTRICO COM INSTALAÇÃO DA CONSOLA HMI NA PORTA FRONTAL.	42
FIGURA 4.10 - ESQUEMA ELÉTRICO DO CIRCUITO DE CONTROLO DO SISTEMA.	43
FIGURA 4.11 - ESQUEMA ELÉTRICO DO CIRCUITO DE POTÊNCIA DO SISTEMA.	44
FIGURA 5.1 - AMBIENTE DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL <i>TIA PORTAL V15.1</i>	45
FIGURA 5.2 - (1) NOME DO BLOCO; (2) BLOCOS; (3) TIPO DE LINGUAGEM DISPONÍVEIS NO <i>TIA PORTAL</i>	46
FIGURA 5.3 - INTERFACE ENTRE O SISTEMA OPERATIVO DE CONTROLADORES E OS DIFERENTES BLOCOS POSSÍVEIS NO <i>TIA PORTAL</i> [58].	47
FIGURA 5.4 - AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO DO <i>TIA PORTAL V15.1</i>	48
FIGURA 5.5 - PROPRIEDADES TCP/IP - CONFIGURAÇÃO DO ENDEREÇO DE IP E MÁSCARA DE SUB-REDE DO COMPUTADOR.	49
FIGURA 5.6 - ADIÇÃO DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO AO PROJETO NO <i>TIA PORTAL</i>	49
FIGURA 5.7 - ATRIBUIÇÃO DO ENDEREÇO DE IP AO PLC E RESTANTES DISPOSITIVOS.	50
FIGURA 5.8 - ATIVAÇÃO DOS <i>BITS</i> DO SISTEMA E RELÓGIO DE MEMÓRIA.	50
FIGURA 5.9 - ATIVAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO <i>WEB SERVER</i>	50
FIGURA 5.10 - BIBLIOTECA <i>SIMATIC IDENT</i>	52
FIGURA 5.11 - FLUXOGRAMA GERAL DO <i>SOFTWARE</i> DESENVOLVIDO PARA O SISTEMA DE CONTROLO E MONITORIZAÇÃO DOS POSTOS DE CARREGAMENTO SOLAR DE <i>E-BIKES</i>	54
FIGURA 5.12 - FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO ESTADO 0.	55
FIGURA 5.13 - FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO ESTADO 1.	56
FIGURA 5.14 - FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO ESTADO 2.	56
FIGURA 5.15 - FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO ESTADO 3.	57
FIGURA 5.16 - FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO ESTADO 4.	58
FIGURA 5.17 - FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO ESTADO 5.	59
FIGURA 5.18 - FLUXOGRAMA DO FUNCIONAMENTO DO ESTADO DE ESCRITA NOS CARTÕES RFID.	60
FIGURA 5.19 - CONSOLA <i>SIMATIC HMI KTP400</i>	61
FIGURA 5.20 - ECRÃ INICIAL E LEGENDA DOS BOTÕES DE NAVEGAÇÃO.	62
FIGURA 5.21 - ECRÃ PARA VISUALIZAÇÃO DOS DADOS QUE SE ENCONTRAM NOS CARTÕES RFID.	63
FIGURA 5.22 - ECRÃ PARA VISUALIZAÇÃO DO ESTADO DOS POSTOS DE CARREGAMENTO.	63
FIGURA 5.23 - ECRÃ PARA ESCRITA DE NOVOS DADOS NOS CARTÕES RFID.	64
FIGURA 5.24 - ECRÃ DE ACESSO ÀS DEFINIÇÕES E INFORMAÇÕES DO <i>SOFTWARE</i>	64

Lista de Tabelas

TABELA 2.1 - RESUMO DOS PROJETOS ABORDADOS NO ESTADO DA ARTE.	20
TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO INVERSOR UTILIZADO NO PROJETO [32].	23
TABELA 3.2 - ESPECIFICAÇÕES DO PAINEL PV UTILIZADO PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA [34].	25
TABELA 5.1 - ÁREAS DE MEMÓRIA NO <i>TIA PORTAL</i>	48
TABELA 5.2 - VARIÁVEIS DE ENTRADA DIGITAIS UTILIZADAS.	51
TABELA 5.3 - VARIÁVEIS DE SAÍDA DIGITAIS UTILIZADAS.	51
TABELA 5.4 - VARIÁVEIS DE CONTROLO UTILIZADAS.	52
TABELA 5.5 - TIPOS DE <i>IDENT BLOCKS</i> NECESSÁRIOS PARA A PROGRAMAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLO.	53
TABELA 5.6 - CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DA CONSOLA HMI KTP 400 [61].	61

Nomenclatura

GEE	<i>Gases de Efeito de Estufa</i>
CO₂	<i>Dióxido de Carbono</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
VE	<i>Veículos Elétricos</i>
EV	<i>Electric Vehicles</i>
PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
PEV	<i>Pure Electric Vehicle</i>
E-Bike	<i>Electric Bicycle</i>
FEDER	<i>Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional</i>
CA	<i>Corrente Alternada</i>
CC	<i>Corrente Contínua</i>
PV	<i>Photovoltaics</i>
EPAC	<i>Electric Power Assisted Cycle</i>
SLA	<i>Sealed Lead Acid</i>
EUA	<i>Estados Unidos da América</i>
CE	<i>Comissão Europeia</i>
EGVI	<i>European Green Vehicle Initiative</i>
IPT	<i>Inductive Power Transfer</i>
I-V	<i>Corrente-Tensão</i>
P-V	<i>Potência-Tensão</i>
ESS	<i>Energy Storage System</i>
MPP	<i>Ponto de Potência Máxima</i>
NiCd	<i>Níquel-Cádmio</i>
NiMH	<i>Níquel-Hidreto metálico</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>

I/O	<i>Input/Output</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
CPU	<i>Central Process Unit</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
PROFIBUS	<i>Process Field Bus</i>
PROFINET	<i>Process Field Net</i>
CBA	<i>Component Based Automation</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
SCL	<i>Structured Control Language</i>
HMI	<i>Human-Machine Interface</i>

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo fornece o enquadramento e motivação que levou à escolha do tema, abordando o contexto do setor dos transportes e os seus impactos ambientais. De seguida, são explicadas as diferenças entre os vários tipos de veículos elétricos e as suas vantagens em relação aos veículos convencionais. É ainda apresentada a evolução do mercado global dos veículos elétricos de duas rodas, nomeadamente das e-bikes. Por fim, são expostos os objetivos da dissertação e uma descrição da estrutura de cada capítulo.

1.1. Enquadramento

A proliferação dos transportes na sociedade atual contribuiu para o desenvolvimento das economias, influenciando o modo de vida das pessoas. No entanto, os motores de combustão interna têm graves impactos ambientais à escala global, devido à emissão de gases de efeito de estufa (GEE) para a atmosfera.

Os GEE são responsáveis pelo aumento da temperatura média do planeta (aquecimento global) que origina consequências diferenciadas e complexas, além de danos irreversíveis para a humanidade. O setor dos transportes é responsável por 14% das emissões totais de GEE a nível global, principalmente de dióxido de carbono (CO_2) [1].

A globalização dos problemas ambientais foi a principal força indutora que obrigou os países a adotarem políticas de desenvolvimento sustentável, através do incentivo à utilização de energias renováveis e à substituição dos veículos de combustão interna. No entanto, a adoção por parte da população a meios de transporte elétricos exige novas infraestruturas e soluções de apoio ao nível do carregamento, bem como novas alternativas para o armazenamento de energia.

Apesar da adoção de muitas políticas de desenvolvimento sustentável, segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), as emissões de GEE aumentaram em média 2.2% ao ano no período entre 2000 e 2010. Esta tendência tem-se mantido nos últimos anos, como por exemplo, em 2018 as emissões subiram 1.7% [1].

Nos últimos vinte anos a taxa de motorização em Portugal disparou a um ritmo exponencial. Portugal comprometeu-se em 2016 a assegurar a neutralidade das suas emissões até ao final de 2050, nomeadamente com a redução de GEE até 90%, traçando uma visão clara relativamente à descarbonização profunda da economia nacional, encontrando-se em desenvolvimento o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 [2].

Em Portugal, o gás com maior representatividade nos GEE é o CO_2 com cerca de 78% do total de emissões nacionais. Segundo Inventário Nacional de Emissões de 2019 (relativo ao ano de

2017), as emissões de GEE representaram um aumento de cerca de 19.5% face a 1990 e um crescimento de 7% relativamente a 2016 [3]. Como se ilustra na Figura 1.1, o setor que mais contribuiu para esse aumento foi o setor da energia com 72.4% das emissões de CO_2 . Dentro deste setor, as fontes com mais impacto de emissões a nível nacional foi o setor da produção e transformação de energia com 29.4% e o setor dos transportes com 24.2%.

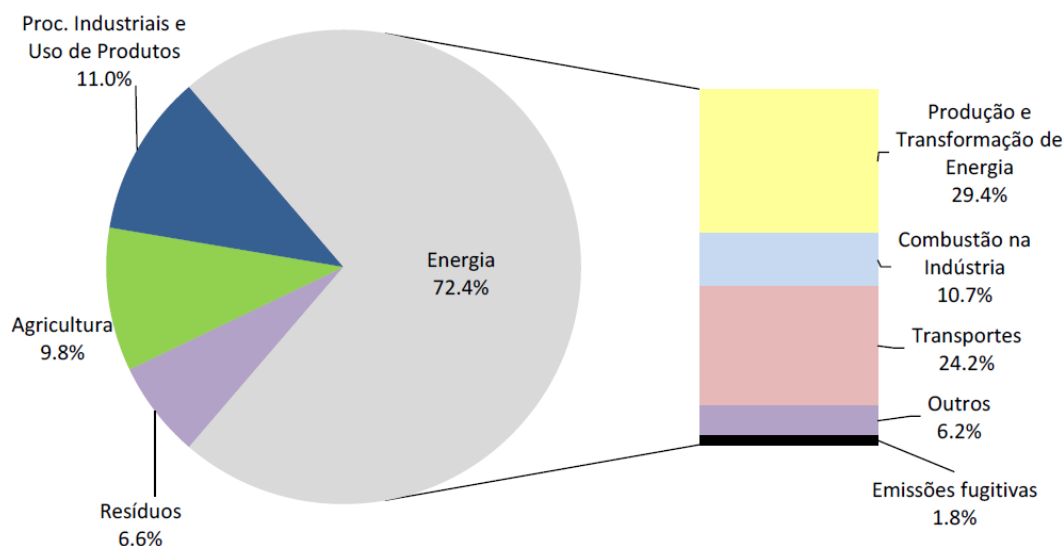


Figura 1.1 - Contribuições dos setores para as emissões de CO_2 em Portugal no ano 2017 [3].

No caso do setor dos transportes, e perante estes dados, existe um interesse crescente na substituição dos veículos convencionais com motor de combustão interna por meios de transporte de mobilidade elétrica, os veículos elétricos (VE). Isto constitui um ponto essencial para o cumprimento das metas estabelecidas pelos vários países a nível mundial. A introdução no mercado de tecnologias como os veículos híbridos ou os elétricos puros (PEV) evidencia um caminho para a progressiva descarbonização/eletrificação deste setor.

No caso dos PEV, a eletricidade é armazenada geralmente numa bateria que fornece a eletricidade necessária ao motor do veículo. Uma vez que utilizam somente eletricidade no seu funcionamento, a capacidade das suas baterias é um fator muito importante, possibilitando atualmente autonomias até cerca de 600 km.

Os VE híbridos combinam a potência de um motor de combustão interna com um sistema de motores elétricos. Separam-se em dois tipos: híbridos não *plug-in* e os híbridos *plug-in* (PHEV).

Os híbridos não *plug-in*, não permitem uma ligação à rede elétrica. Os dois motores são utilizados em diferentes situações de forma a otimizar a eficiência do veículo através da sua combinação. Como o motor de combustão interna é o fator determinante na eficiência geral do veículo, pois é muito menos eficiente que o motor elétrico, nos regimes em que a sua eficiência desce para mínimos (normalmente nos funcionamentos a baixa velocidade), o motor elétrico entra em funcionamento. Assim, o motor elétrico é responsável pelo arranque do veículo e pelo seu funcionamento a baixas velocidades, enquanto que o motor de combustão interna entra em funcionamento em regimes mais próximos do nominal, nas acelerações mais

rápidas e no recarregamento das baterias quando tal é necessário. As baterias destes veículos são carregadas através do motor de combustão interna ou dos seus travões regenerativos [4].

No caso dos PHEV, as baterias proporcionam maior autonomia, permitindo uma maior circulação em modo totalmente elétrico. Neste caso, os veículos têm já tomada de carregamento para as baterias, à semelhança dos PEV [5].

Posto isto, a substituição dos veículos convencionais com motor a combustão interna por VE constitui um ponto essencial para o cumprimento das metas estabelecidas oferecendo vários benefícios económicos para os utilizadores, para o ambiente e para o sistema electroprodutor, como será explicado de seguida:

- **Económicos** - Devido ao preço dos combustíveis fósseis ser mais elevado e instável comparativamente ao preço da eletricidade proporciona um custo de funcionamento dos VE consideravelmente inferior, representando uma clara vantagem económica para os utilizadores. Para além disto, a mobilidade elétrica aumenta a segurança energética dos países ao reduzir a dependência de combustíveis à base de petróleo no setor dos transportes permitindo uma redução na importação desse recurso.
- **Ambientais** - As emissões associadas aos VE serão tanto menores quanto maior for a fração de energia renovável utilizada para o seu carregamento, i.e., quando o carregamento é efetuado exclusivamente através de energias renováveis, as emissões de um VE são consideradas nulas. Contudo, o sistema elétrico de que provem a energia para o carregamento dos VE pode ser fortemente baseado em fontes de energia fóssil e ser muito pouco eficiente, e neste caso podem não existir vantagens ambiental [4], [6].
- **Sistema electroprodutor** - Os VE poderão ser vistos do ponto de vista da rede elétrica como cargas despacháveis e até mesmo unidades de armazenamento, o que possibilita uma oportunidade de estabilização da rede e um aumento da sua flexibilidade, aproximando o perfil de consumo ao de produção [7].

Enquanto que em alguns países a transição para a mobilidade elétrica ainda está numa fase inicial, em vários dos maiores mercados de automóveis do mundo, a frota de VE está a expandir-se muito rapidamente. O custo das baterias e dos VE está a decrescer e o número de infraestruturas para o seu carregamento está a aumentar cada vez mais.

Em 2018, o parque global de automóveis elétricos (PHEV e PEV) atingiu os 5.1 milhões, um aumento de 2 milhões face ao ano anterior, como é possível observar na Figura 1.2. A China continua a ser o maior mercado de VE, representando 2.3 milhões de VE (quase o dobro do parque automóvel existente em 2017). A Europa representa 24% do parque automóvel elétrico global (1.2 milhões) e os Estados Unidos da América com 22%, cerca de 1.1 milhões [8].

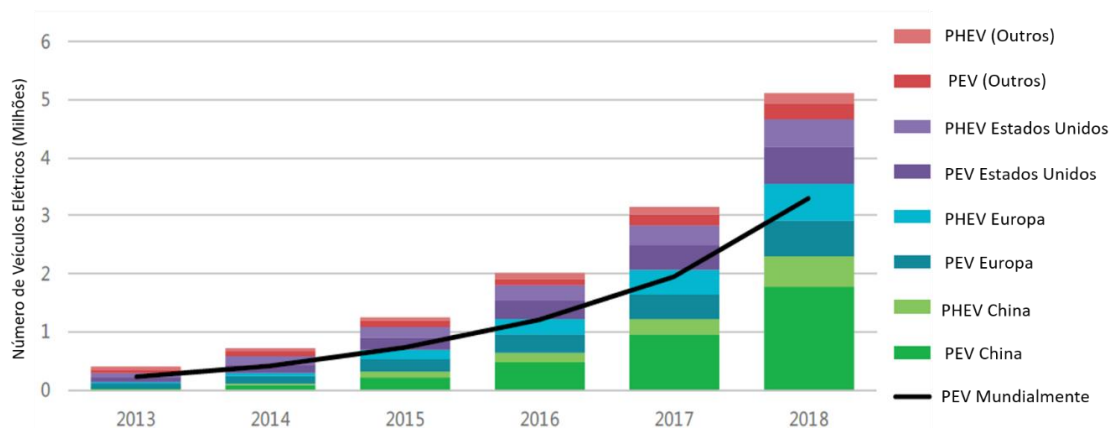


Figura 1.2 - Evolução do parque global de VE no período de 2013 a 2018 (Adaptado de [8]).

O conceito de mobilidade sustentável surgiu na década de 1970, no entanto foi nos anos de 1990 que obteve a sua maior projeção. É definido como a capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, aceder, comunicar, transacionar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos, hoje e no futuro [9]. Tem como principal objetivo a redução dos impactos ambientais e sociais na mobilidade motorizada existente, priorizando os modos de transporte coletivo, a pé e de bicicleta, em relação ao automóvel e promovendo o reordenamento dos espaços e das atividades urbanas, de forma a reduzir a necessidade de deslocamento e os seus custos.

A definição de sustentabilidade tem vindo a ser genericamente aceite como a capacidade que temos de satisfazer as necessidades atuais sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Com base nestes pressupostos, em todo o sistema social em que assenta a vida moderna, será de todo impensável que a mobilidade não seja um dos aspetos chave na obtenção de resultados válidos para garantir o equilíbrio desejado [10].

Neste novo paradigma da mobilidade inserem-se as bicicletas. As bicicletas, que eram vistas apenas como instrumento lúdico, começaram a surgir como uma forma de deslocação para os percursos do dia-a-dia. Os incentivos governamentais na construção de ciclovias, em serviços de partilha de bicicletas (*bikesharing*) e em novas regulamentações do código da estrada beneficiam os ciclistas e têm atraído cada vez mais pessoas a usarem a bicicleta na sua rotina diária.

A bicicleta é considerada um dos veículos mais ecológicos e o facto de não ser necessário a detenção de registo de propriedade, seguro ou licença de condução, torna as bicicletas um veículo muito acessível na ótica dos utilizadores. Pedalar constitui um modo saudável, limpo e económico de mobilidade que traz muitas outras vantagens e que deve ser cada vez mais adotado pelas pessoas, sobretudo pela população mais jovem nas suas deslocações diárias.

Os maiores inconvenientes surgem em situações em que existem subidas mais difíceis que leva à exaustão dos utilizadores e que desmotiva a utilização das bicicletas em percursos diários. Assim, as bicicletas ou *scooters* elétricas têm emergido como uma nova forma de mobilidade sustentável em contexto urbano, apresentando um grande potencial de crescimento no futuro, com todas as vantagens a elas associadas, como será abordado na seção seguinte.

1.2. Bicicletas Elétricas

É cada vez mais comum a utilização de bicicletas como meio de transporte para as deslocações do dia-a-dia. A partir da década de 1990, através da intensificação da utilização de bicicletas por parte da população e com a aposta no seu desenvolvimento por parte de empresas e universidades, proporcionaram-se condições para o desenvolvimento de motores, sensores e baterias, que permitiram que se evoluísse no contexto das *e-bikes*.

Na literatura, o termo *e-bike* (*Electric Bicycle*) refere-se a um veículo de duas rodas equipado com um motor elétrico que é alimentado por uma bateria e um controlador que ativa e regula a potência que se aplica ao motor. O seu carregamento pode ser realizado, removendo, ou não, a bateria da *e-bike*, ligando-a a uma tomada ou a um posto público de carregamento elétrico apropriado para o efeito.

As *e-bikes* começaram a sua comercialização no Japão no início da década de 1980, contudo a tecnologia e os custos associados limitaram a sua procura até ao início do ano 2000, quando se tornou imperativo encontrar novas alternativas de mobilidade. Atualmente, as *e-bikes* já representam uma grande percentagem no número de bicicletas vendidas em todo o mundo e é o VE mais vendido, com cerca de 35 milhões de unidades vendidas até 2016. Na Alemanha, um dos maiores mercados de bicicletas da Europa, as *e-bikes* representavam 20% de todas as bicicletas vendidas em 2017 [11].

As *e-bikes* abrangem dois tipos de configuração: aquelas que são idênticas a uma bicicleta convencional e as que se assemelham a uma *scooter*. Dentro da primeira configuração existem as *e-bikes* que se deslocam exclusivamente a eletricidade (através de um acelerador de mão), cujo motor funciona mesmo que o ciclista não pedale, e as bicicletas com pedais eletricamente assistidos, designadas de *Pedelecs* ou *EPAC* [12].

As *pedelecs* têm um motor que apenas funciona quando o ciclista pedala, i.e., apenas serve de assistência ao utilizador e não de uma substituição total ao ato de pedalar. Esta assistência reduz o esforço necessário sendo bastante vantajoso, como por exemplo, em situações de subida, deslocações contra o vento ou no transporte de bens [13]. As *e-bikes* que se deslocam apenas com recurso ao motor elétrico normalmente têm motores mais potentes que as *pedelecs* e estes são acionados com recurso a um acelerador de mão, tais como os motociclos. A Figura 1.3 mostra as diferenças nos dois tipos de *e-bikes* existentes.

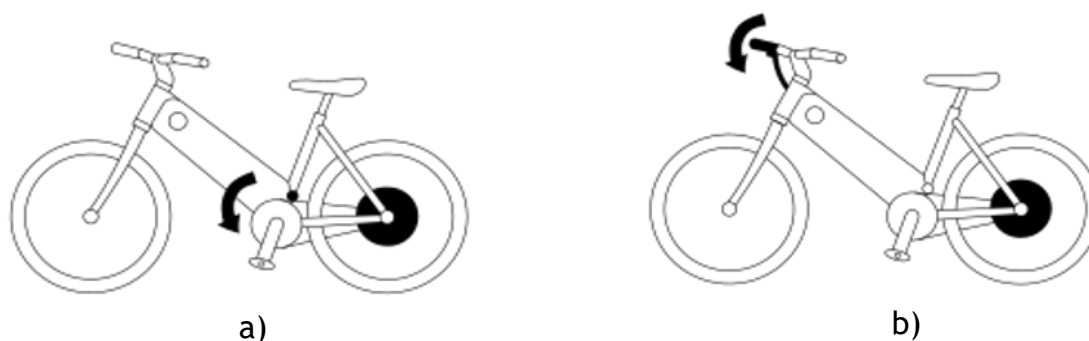


Figura 1.3 - (a) Representação de uma *pedelec* e (b) de uma *e-bike* exclusivamente elétrica.

As *e-bikes* utilizadas no projeto desta dissertação têm em consideração as normas aplicadas às bicicletas elétricas em Portugal. Segundo o artigo 112º do código da estrada, as *e-bikes* são veículos de tração humana que estão equipadas com um motor elétrico que serve como auxiliar de potência. Esta ajuda só é permitida após o arranque com recurso exclusivo à propulsão humana. A potência máxima que pode debitar é de 250W e a sua alimentação terá de ser reduzida linearmente com o aumento da velocidade e desligada quando a velocidade atingir os 25 km/h ou se o ciclista parar de pedalar, como é possível observar na Figura 1.4 [14].



Figura 1.4 - Potências intervenientes numa *Pedelec* em função da velocidade (Adaptado de [12]).

Até 2025, as projeções para o mercado das *e-bikes* que incorporam baterias seladas de ácido-chumbo (SLA - *Sealed Lead Acid*) apontam para um decréscimo médio anual de menos 4.7%, enquanto que para as de iões-Lítio, apontam para um crescimento médio anual de 11.4% [15]. Assim, é possível constatar que o mercado das *e-bikes* está a progredir no sentido crescente da utilização de baterias de iões-Lítio. Esta dominância advém do grande investimento nesta tecnologia e devido às suas vantagens face às baterias SLA [16], [17].

Na China, aponta-se para o declínio das vendas de *e-bikes* devido à saturação do mercado e à proibição do seu uso em grandes áreas das principais cidades como Pequim, Shenzhen, Xangai e Guangzhou. No entanto, espera-se que o mercado das *e-bikes* com baterias de iões-Lítio cresça consideravelmente na próxima década, devido ao forte investimento do governo na tecnologia e na redução de custos deste tipo de baterias [15].

No geral, o mercado mundial de *e-bikes* deverá ter uma taxa de crescimento médio anual de 0.4% ao longo do período de 2016 a 2025. Este crescimento lento deve-se principalmente ao declínio antecipado na China das vendas unitárias médias anuais de menos 0.8% [15]. A Europa continua a alcançar um crescimento constante e significativo nas vendas de *e-bikes*, em grande parte na Alemanha. No que diz respeito aos EUA existe ainda um forte potencial no seu extenso mercado (cerca de 16 milhões de bicicletas por ano), prevendo-se que a partição das *e-bikes* no mercado total de bicicletas aumente de 0.8% para 2.4% em 2025.

No entanto, excluindo a China, o mercado global de *e-bikes* deverá alcançar um forte crescimento, passando de 3.3 milhões de vendas em 2016 para quase 6.8 milhões em 2025, com uma taxa de crescimento médio anual de 8.2%. Espera-se que a maior parte desse crescimento ocorra na Europa Ocidental e noutros mercados da Ásia-Pacífico, como o Japão e o Vietname [15]. O gráfico da Figura 1.5 mostra essas projeções dos principais mercados de *e-bikes* no panorama do mercado total de bicicletas até 2025.

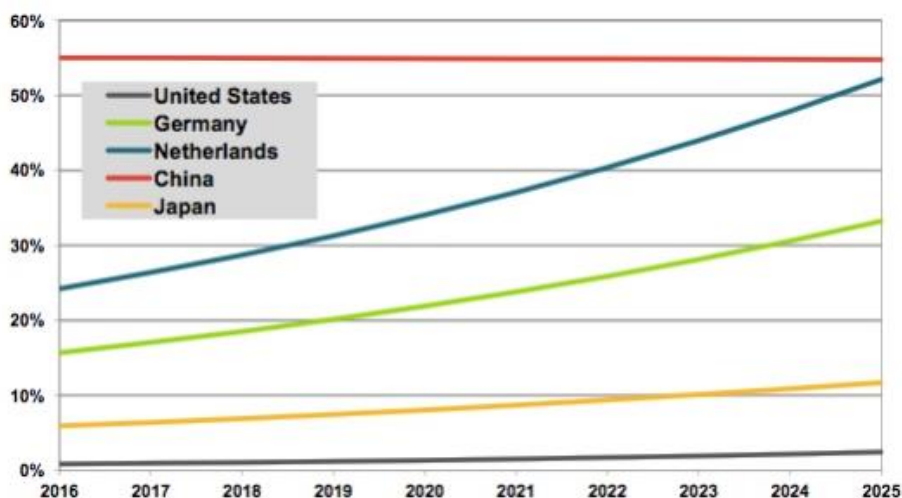


Figura 1.5 - Projeções do mercado das *e-bikes* no mercado total de bicicletas por país no período 2016 a 2025 [15].

No que se refere apenas à venda de *pedelecs* no mercado Europeu, também aqui se verificou uma grande evolução entre 2009 e 2016. A Alemanha foi o país europeu que registou um maior número de vendas de *pedelecs* em 2016, representando um aumento de 13% em comparação com 2015 [11]. A distribuição das vendas de *pedelecs* em 2016 pelos países europeus é apresentada no gráfico da Figura 1.6.

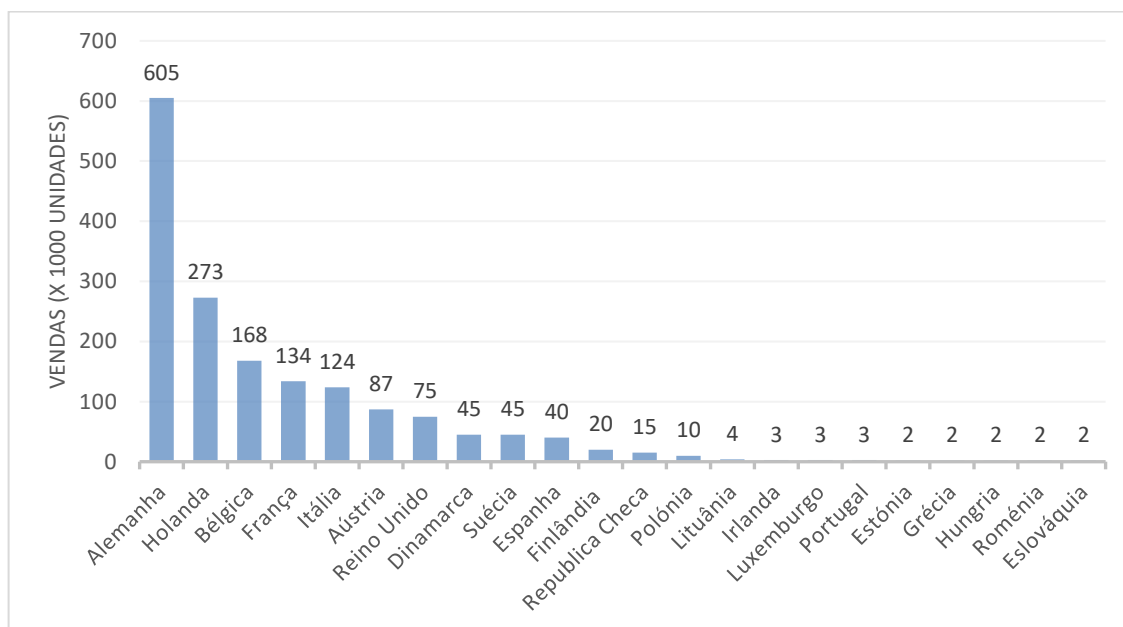


Figura 1.6 - Distribuição das vendas de *pedelecs* na Europa em 2016 (Adaptado de [11]).

A Comissão Europeia (CE), juntamente com parceiros da *European Green Vehicle Initiative* (EGVI), estabeleceram uma meta específica para os próximos anos: melhorar em 50% a eficiência do sistema de transmissão de energia entre 2010 e 2030, incluindo: mais 80% de

eficiência energética para veículos urbanos e mais 40% de eficiência energética no transporte de cargas de longa distância; 5 milhões de VE e híbridos na União Europeia até 2020; a vida útil das baterias e a sua densidade de energia duplicar e reduzir o seu custo em 30% até 2020 em comparação com a tecnologia de íões-Lítio de 2009 [18].

Com isto, é possível concluir que o uso de *e-bikes* traz vantagens a nível individual e social, nomeadamente [19]:

- É o meio de transporte mais eficiente em termos energéticos e mais sustentável, integrando o exercício físico nas rotinas diárias dos utilizadores;
- Tem o potencial de substituir viagens de carro para curtas e médias distâncias;
- É o meio de transporte mais barato (sem taxas de registo de propriedade, sem seguro, sem carta de condução, sem custos de estacionamento e sem altos custos de manutenção);
- Reduz significativamente o tráfego, o ruído, os problemas de estacionamento e a poluição do ar nas áreas urbanas.

Nas *e-bikes* do tipo *pedelec* é possível acoplar os motores elétricos com diferentes configurações. As *e-bikes* com configuração traseira possuem o preço mais económico. Contudo, não é recomendável, já que o efeito de empurrar pode tornar a *e-bike* instável, aumentando a probabilidade de queda e diminuindo assim a segurança dos utilizadores. Para uma maior estabilidade é recomendado utilizar *e-bikes* com configuração frontal. Nesta situação, como é o motor que nos “puxa”, é mais estável e muito mais fácil de controlar a *e-bike*.

As *e-bikes* utilizadas para o projeto possuem uma configuração frontal, como é visível na Figura 1.7 (a). A bateria por questões de equilíbrio encontra-se por cima da roda traseira e, além disso, dispõem de um monitor colocado no guiador que permite obter informações em tempo real, tais como velocidade atual, quilómetros percorridos e nível de força que o motor elétrico está a aplicar, apresentado na Figura 1.7 (b).



a)

b)

Figura 1.7 - (a) *E-bikes* utilizadas para o projeto URBAN AIR com configuração frontal e (b) monitor no guiador para obtenção de informações.

1.3. Objetivos e contribuição da dissertação

O sistema de controlo e monitorização desenvolvido nesta dissertação servirá de apoio ao projeto “*URBAN_AIR - Melhoria do Ambiente Urbano e Redução da Poluição do ar através de soluções de Mobilidade Sustentável nas Cidades de Portugal e Espanha*”. O consórcio deste projeto transfronteiriço compreende um conjunto de entidades, nomeadamente a Universidade de Valladolid, CARTIF, GMV, a Entidade Regional de Energia de Castela e Leão (EREN), a Agência Regional de Energia e Meio Ambiente do Centro, a Universidade da Beira Interior (UBI) e a empresa ENFORCE.

Este projeto é cofinanciado em 75% pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) enquadrado no Programa Interreg V-A Espanha-Portugal (POCTEP) 2014-2020. Tem como principal objetivo promover a mobilidade sustentável no ambiente urbano, com foco nos espaços universitários, por meio de *e-bikes* recarregadas com energia fotovoltaica destinadas a membros da comunidade universitária nas cidades de Valladolid e Covilhã.

Para atingir os objetivos propostos, foi planeado pelo Departamento de Eletromecânica da Universidade da Beira Interior, um sistema de inicial de empréstimo de 50 *e-bikes*, que serão recarregas graças a estruturas que produzirão energia fotovoltaica com uma gestão inteligente da carga. Os utilizadores irão fazer a gestão do empréstimo das *e-bikes* através de cartões RFID que serão registados numa base de dados.

Propõe-se nesta dissertação o desenvolvimento de um sistema de controlo e monitorização de quatro postos de carregamento solar para *e-bikes* instalados no campus da Universidade da Beira Interior. Como se ilustra na Figura 1.8, a produção de energia elétrica será feita com recurso a painéis fotovoltaicos instalados em locais específicos de acordo com a estrutura e localização dos postos de carregamento. Para além disto, o sistema desenvolvido será capaz de se ligar à rede elétrica em situações onde a energia elétrica produzida e/ou acumulada no sistema de armazenamento não seja suficiente para realizar o carregamento das *e-bikes*. O sistema de controlo e monitorização desenvolvido contempla também uma interface gráfica que permite ao utilizador/operador interagir com o sistema de forma intuitiva.

Com este projeto piloto pretende-se favorecer uma mobilidade sustentável de toda a comunidade universitária e, ao mesmo tempo, estudar as tecnologias envolvidas. A conjugação de *e-bikes*, um promissor meio de transporte diário e não poluidor, com o carregamento a partir de fontes renováveis foi um fator muito importante para o desenvolvimento deste projeto.

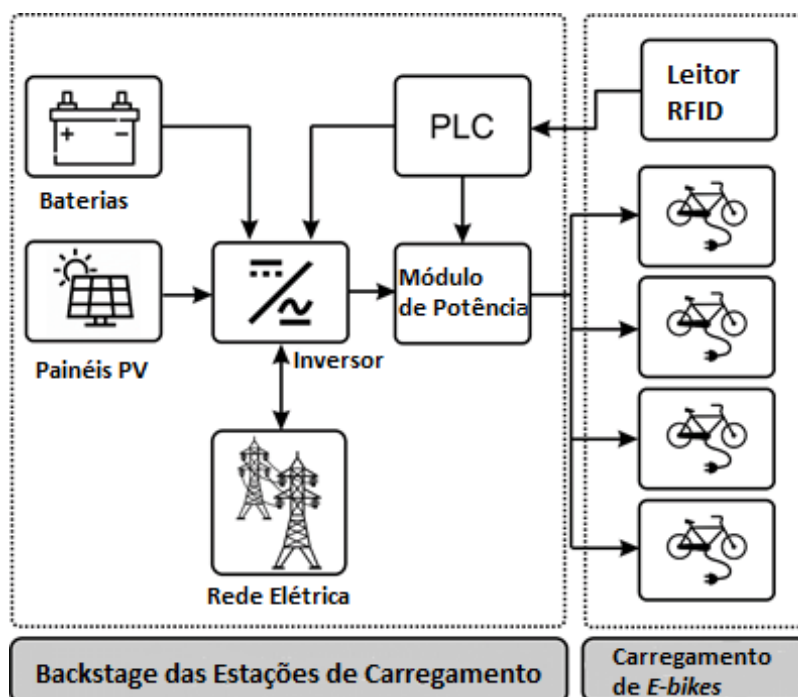


Figura 1.8 - Visão geral dos postos de carregamento solar para e-bikes implementados na Universidade da Beira Interior.

1.4. Organização da dissertação

A dissertação está organizada em seis capítulos, sendo no presente Capítulo 1 é realizada a introdução geral e apresentado o principal propósito e objetivos do trabalho.

No Capítulo 2 é realizado o estado da arte dos postos de carregamento solar para e-bikes que se encontram atualmente em funcionamento em várias cidades a nível mundial, assim como em projetos-piloto desenvolvidos por universidades. No final, foi realizado um resumo e feita uma comparação de todos os postos de carregamento solar estudados, comparando-os a nível da configuração e composição do sistema, tipo de carregamento, análise económica e ambiental.

No Capítulo 3 é feita uma visão geral da arquitetura do posto de carregamento solar para e-bikes desenvolvido e são apresentadas todas as unidades utilizadas para a produção, armazenamento e gestão de energia. Para além disso, são explicados o funcionamento da unidade de controlo e a sua importância para os sistemas automatizados. Por fim são mostradas as localizações escolhidas no campus da Universidade da Beira Interior para a instalação dos postos de carregamento solar, detalhando a estrutura mais apropriada para cada local.

No Capítulo 4 é realizada a análise do sistema de controlo e monitorização onde é explicado detalhadamente o funcionamento dos circuitos de controlo e de potência. É ainda detalhada uma interface homem-máquina que permite ao utilizador/operador interagir com o sistema de forma intuitiva. Por fim são apresentados os esquemas elétricos de ambos os circuitos com as ligações necessárias para o correto funcionamento do sistema geral.

No Capítulo 5 é realizada uma explicação do funcionamento do *software* de desenvolvimento utilizado para a unidade de controlo fazer a gestão e realizar o controlo dos postos de carregamento solar para *e-bikes*. É explicado detalhadamente como se processa o ciclo de funcionamento do algoritmo desenvolvido. Por fim é criado o *software* para uma interface homem-máquina de forma a interagir com o sistema e a realizar modificações.

No Capítulo 6 são enunciadas as principais conclusões do trabalho realizado.

Capítulo 2

Estado da Arte

Esta secção apresenta um resumo do Estado da Arte, no que diz respeito a estudos prévios e casos práticos referentes a postos fotovoltaicos para carregamento de VE, nomeadamente de e-bikes. Alguns dos projetos referidos encontram-se relacionados a empresas especializadas no ramo e instalados nas mais variadas cidades a nível mundial. No entanto, algumas universidades também já criaram alguns projetos-piloto deste tipo de postos de carregamento. No fim, será feita uma comparação entre todos os projetos analisados.

A constante procura por soluções sustentáveis de mobilidade tem levado ao desenvolvimento dos motores elétricos e baterias para integração em VE, nomeadamente em e-bikes. No entanto, a integração de qualquer tipo de VE na sociedade, como meio de transporte, exige novas infraestruturas e soluções de apoio ao carregamento.

Na maioria dos casos, as baterias destes veículos são carregadas em postos de carregamento próprios ligados à rede elétrica existente. No entanto, a eletricidade proveniente desta apresenta uma forte componente de energias não renováveis. Assim, a crescente preocupação relacionada com a utilização destas fontes de energia para produção de eletricidade tem contribuído para a mudança do paradigma energético. Este baseia-se na integração de fontes de energia renováveis na rede elétrica, diminuindo a dependência relativamente aos combustíveis fósseis.

Neste contexto, têm surgido alguns projetos de postos de carregamentos de e-bikes a partir de painéis fotovoltaicos (PV), conjugando o setor das energias renováveis com o setor do transporte. Estas estações de carregamento de e-bikes são essenciais para abrir caminho para uma maior aceitação deste meio de transporte.

A alteração para uma e-bike como meio de transporte diário só pode ser bem-sucedida se os utilizadores tiverem vários pontos para carregar as baterias ao longo dos seus percursos. Os sistemas de partilha de e-bikes são um modelo de fornecimento de transporte público que emergiu rapidamente nos últimos anos. Estes serviços de partilha podem ser fornecidos gratuitamente ou com um valor de aluguer destinado a manter os custos envolvidos.

2.1. Postos fotovoltaicos para carregamento de E-bikes

Com o objetivo de suportar a adoção de VE e em particular de e-bikes, surge a necessidade de implementar infraestruturas de apoio ao carregamento destes meios de transporte. Os sistemas de carregamento e infraestruturas para esse fim têm um grande impacto no modo em como as pessoas utilizam as e-bikes e, conseqüentemente, tem impacto em como estes veículos penetram no mercado.

Os sistemas de carregamento de qualquer VE são compostos por dois elementos principais: o próprio veículo e a infraestrutura de carregamento. Uma vez que os VE têm baixa densidade de energia, quando comparados com os veículos convencionais, muitos destes VE têm uma autonomia limitada o que dificulta a sua penetração no mercado. Por isso, a redução do tempo de carregamento e acessibilidade a infraestruturas para esse mesmo fim devem ser desenvolvidas.

Um posto de carregamento solar é um posto com produção de energia fotovoltaica (PV). Podem existir em praticamente qualquer lugar e até integrar a arquitetura das cidades. Comparativamente aos convencionais possuem a particularidade proporcionar um carregamento sustentável e amigo do meio ambiente [20].

De seguida serão apresentados alguns projetos desenvolvidos por empresas e universidades de postos de carregamento solar para *e-bikes*. Alguns dos projetos já se encontram em produção e implementados em muitas cidades a nível mundial, enquanto que outros, apenas se encontram em fase de desenvolvimento, ou em protótipos iniciais.

Devido ao grande aumento de vendas e às perspetivas de expansão, a empresa japonesa *Kyocera*, incentivada pelo governo local, desenvolveu, em 2010, a *Solar Cycle Station*, apresentada na Figura 2.1, que consiste numa infraestrutura de carregamento de *e-bikes* mais ampla, promovendo ainda a sua aplicação em diversos locais, tais como centros comerciais, locais de trabalho, edifícios governamentais, escolas e áreas turísticas. Estes postos utilizam painéis PV para carregar as baterias das *e-bikes*, mas também estão ligados à rede elétrica através de um conversor CA-CC, garantindo um serviço estável para um carregamento à noite ou em condições atmosféricas mais adversas [21]. Existem diferentes variações das estações que a *Kyocera* colocou no mercado, mas a versão principal é equipada com três painéis PV capaz de produzir até 1.14kWh por dia, dependendo das condições atmosféricas.



Figura 2.1 - *Solar Cycle Station* instalada em Shiga, no Japão [21].

A Figura 2.2 mostra um posto de carregamento instalado no Centro Europeu de Empresas e Inovação, em Nice, desde 2012. A *SunPod Cyclo*, permite produzir localmente energia PV sem qualquer necessidade de estar ligada à rede elétrica. A energia é armazenada em baterias internas, tornando-a autossuficiente. Tem uma estrutura modular para três *e-bikes*, tendo capacidade de acoplar módulos adicionais. O desbloqueio das bicicletas é realizado através de cartões RFID. Possui ainda um sistema inteligente que permite ao utilizador/operador gerir remotamente a estação [22].



Figura 2.2 - Posto de carregamento solar *SunPod Cyclo* [22].

No Reino Unido, a empresa *ZedFactory* desenvolveu o *Zed Dock/Solar Tree*, ilustrada na Figura 2.3, que permite o carregamento público de *e-bikes*. Consiste num sistema idêntico aos anteriores com produção de energia através de painéis PV com uma potência de pico de 3 kWp. Através da sua estrutura é possível orientar os painéis PV em qualquer direção para maximizar a potência solar incidente. Este sistema não requer fundações, tendo sido projetado para integrar paisagens urbanas, parques e espaços públicos devido ao seu *design* único [23].

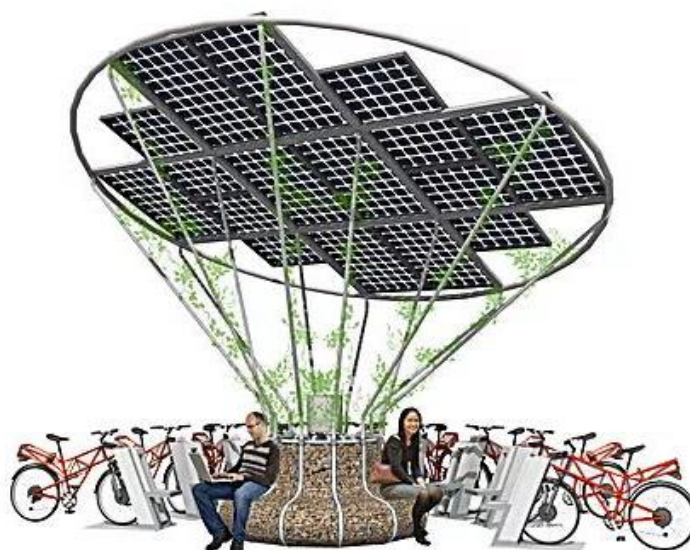


Figura 2.3 - *Zed Dock/Solar Tree* [23].

Em Eindhoven, na Holanda, devido ao grande congestionamento no trânsito e aos problemas relacionados com o estacionamento que várias empresas enfrentam, foi implementado o *Solar Mobility Hub*, ilustrado na Figura 2.4. Trata-se de um projeto de partilha de *e-bikes* com

produção PV com uma potência de pico de 5.52 kWp. Os utilizadores podem requisitar uma *e-bike/e-scooter* através de uma aplicação e após a sua utilização é deixada na estrutura para que se proceda ao carregamento e esteja pronta a ser utilizada por outros utilizadores. Esta estação foi projetada para o carregamento de sete *e-bikes* e para o fornecimento de eletricidade a um ecrã de publicidade. A metodologia aplicada baseou-se na aplicação de um modelo e respetiva validação com medições experimentais realizadas no local [24].



Figura 2.4 - *Solar Mobility Hub* na cidade de Eindhoven [24].

A empresa *Daymak* com sede em Toronto, nos EUA, é uma das empresas líder na criação e distribuição *e-bikes* e *e-scooters*. Em 2017 criou um posto de carregamento sem fios para um dos modelos das suas *e-bikes*, como se ilustra na Figura 2.5 (a). A estação de carregamento conjuga a obtenção de energia através de painéis PV com o carregamento por indução. Como se apresenta na Figura 2.5 (b), as *e-bikes* contam ainda com um monitor totalmente integrado no guiador para informação da percentagem da bateria [25].

A transferência de potência indutiva (*Inductive Power Transfer - IPT*) tem vindo a representar uma solução atraente para o carregamento das baterias. A energia flui sem necessidade de fios da rede elétrica para a bateria das *e-bikes* explorando o acoplamento magnético entre um enrolamento primário e um secundário. A transmissão de energia sem fios trás alguns benefícios para os utilizadores, nomeadamente a ativação do carregamento mais conveniente pois o utilizador não tem de se preocupar com nenhuma operação de *plug-in*. Além disto, o IPT implica o isolamento entre a fonte de energia e o VE, de forma a que os utilizadores não estejam expostos a riscos de choques elétricos, mesmo em condições ambientais adversas, principalmente com chuva.

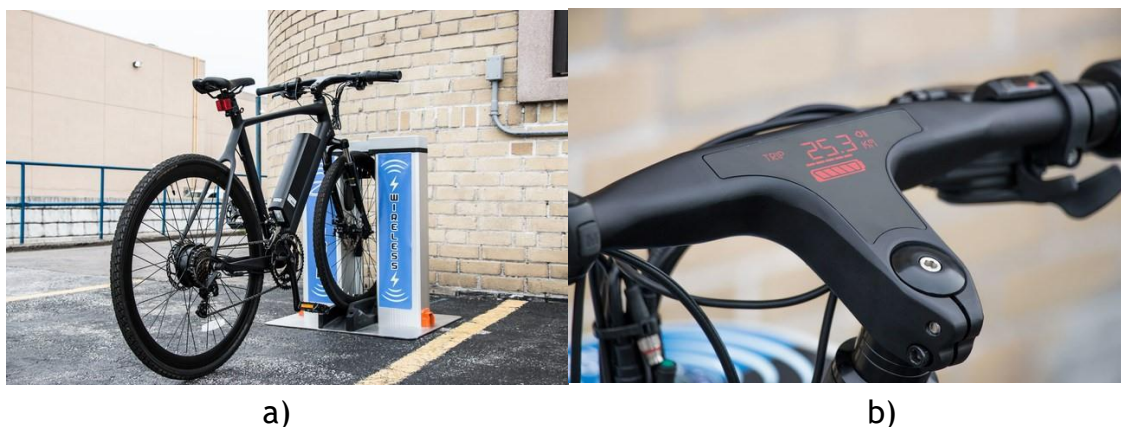


Figura 2.5 - (a) Carregador *wireless* criado pela empresa *Daymak* (b) monitor totalmente integrado na *e-bike* para informações de percentagem de bateria [25].

Na província de Bolzano, na Itália, está em curso um programa que visa a diminuição do trânsito urbano, através *e-scooters* e *e-bikes*. A estação de carregamento *E-Move* foi projetada para ser uma estrutura integrante do cenário da cidade, sendo constituída por oito painéis PV integrados no topo da estrutura com uma potência de pico de 1.76 kWp. Este posto de carregamento destaca-se por ser construído com recurso a materiais ambientalmente sustentáveis [26].



Figura 2.6 - Posto de carregamento solar *E-Move* [26].

Em Austin, nos EUA desenvolveu-se um posto de carregamento semelhante ao anterior, designado *Electric Drive Solar Kiosk*, ilustrado na Figura 2.7. Este posto de carregamento permite o carregamento rápido em corrente contínua (CC) de *e-bikes*, *scooters* e cadeiras de rodas elétricas. A estrutura fornece ainda assentos para os utilizadores poderem carregar os seus dispositivos móveis enquanto esperam que o carregamento do seu veículo seja concluído [27].



Figura 2.7 - Posto de carregamento solar *Electric Drive Solar Kiosk* localizado em Austin [27].

Atualmente, também algumas universidades já se encontram a explorar o potencial da energia solar para carregamento de VE, com alguns projetos já desenvolvidos para carregamento de *e-bikes* e outros ainda em fases de teste.

A Figura 2.8 mostra o primeiro sistema de *bikesharing* nos EUA com recurso a *e-bikes* que foi criado na Universidade de Tennessee. O projeto, designado *CycleUshare*, combina as duas tecnologias, a utilização de *e-bikes* com o seu compartilhamento para estudantes, professores e funcionários da universidade. Cada estação tem capacidade para dez bicicletas, incluindo sete postos de carregamento para *e-bikes*, e três lugares de estacionamento [28]. A desvantagem deste projeto prende-se mais pelo facto de que os utilizadores têm de retirar a bateria da sua *e-bike* e colocá-la num ponto de carregamento de baterias, o que torna o processo mais demorado e menos seguro.



Figura 2.8 - Posto de carregamento solar *cycleUshare*, o primeiro sistema de partilha de *e-bikes* no EUA [28].

A Universidade de Tecnologia de Delft, na Holanda, desenvolveu um projeto piloto que utiliza um sistema para carregamento com e sem fios (através de indução) em corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) de *e-bikes* e *e-scooters*, representado na Figura 2.9.

Tal como noutros projetos já referenciados, otimizou-se a posição dos painéis PV a partir de dados meteorológicos da região em estudo. De seguida, foram estudadas duas topologias de sistema sob dois perfis de carga diferentes: uma estação de carregamento autónoma e outra conectada à rede com um sistema de armazenamento de energia através de baterias SLA. Concluiu-se que a primeira topologia resultava numa grande quantidade de energia que não era aproveitada nos meses de verão. Assim, para colmatar esse problema, estudou-se a possibilidade de ligação à rede elétrica, que garantisse o fornecimento de energia ao sistema nos meses de inverno bem como o escoamento do excesso de produção PV nos meses de verão [29].

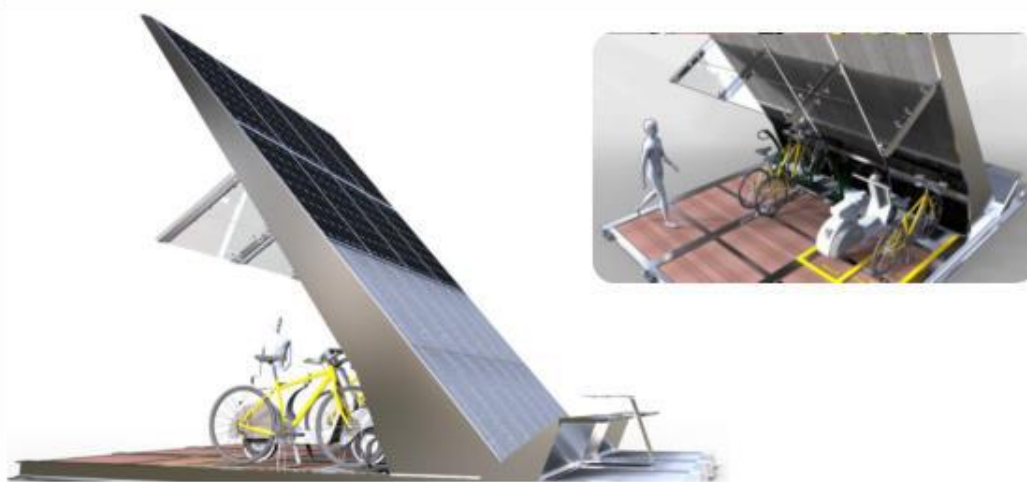


Figura 2.9 - Projeto do posto de carregamento solar desenvolvido na Universidade de Tecnologia de Delft [29].

A Tabela 2.1 resume a metodologia abordada em cada um dos projetos descritos, de modo a fornecer uma perspetiva geral dos mesmos e a fazer uma comparação entre eles, desde a configuração utilizada para a produção e armazenamento de energia elétrica, ao tipo de carregamento utilizado para as *e-bikes* e ainda se foi feita uma análise económica e ambiental.

Tabela 2.1 - Resumo dos projetos abordados no Estado da Arte.

Designação do projeto	Configuração do Sistema Fotovoltaico			Tipo de carregamento	Análise económica	Análise ambiental
	Sem ligação à rede e sem armazenamento de energia	Com ligação à rede e com armazenamento de energia	Com ligação à rede e sem armazenamento de energia			
<i>Solar Cycle Station</i> [17]	✗	✓	✗	Ligação física	✗	✗
<i>SunPod Cyclo</i> [18]	✗	✓	✗	Ligação física	✗	✗
<i>Zed Dock/ Solar Tree</i> [19]	✗	✗	✓	Indução	✓	✓
<i>Solar Mobility Hub</i> [20]	✓	✗	✗	Ligação física	✓	✓
<i>Daymak Charging Station</i> [21]	✓	✗	✗	Indução	✓	✗
<i>E-Move Charging Station</i> [22]	✓	✗	✗	Ligação física	✓	✓
<i>Electric Drive Kiosk</i> [23]	✗	✓	✗	Ligação física	✓	✓
<i>cycleUshare</i> [24]	✗	✓	✗	Ligação física	✓	✗
Universidade de Delft [25]	✗	✗	✓	Ligação física	✓	✓

Capítulo 3

Posto de Carregamento Solar para *E-bikes*

Neste capítulo será analisada a arquitetura selecionada para o projeto e abordada a topologia adotada para os postos de carregamento solar para e-bikes. São detalhados todos os componentes utilizados de forma a demonstrar a estratégia definida. Por fim, são apresentadas as localizações escolhidas para a implementação dos postos de carregamento no campus da Universidade da Beira Interior (UBI).

3.1. Visão geral da Arquitetura

A Figura 3.1 apresenta uma visão geral da arquitetura adotada para os sistemas de carregamento solar de *e-bikes*. É possível dividir a arquitetura em quatro unidades principais:

- **Unidade de produção de energia** - esta é constituída por um *array* de painéis PV *Jinko Eagle* de 72 células. Esta unidade é responsável por transformar diretamente a energia da radiação solar em eletricidade, sob a forma de corrente contínua;
- **Unidade de armazenamento de energia** - esta unidade é responsável pelo armazenamento de energia elétrica e é constituída por um conjunto de 2 baterias de íões-Lítio da marca *Pylontech*;
- **Unidade de interligação com a rede elétrica** - esta unidade é responsável pelo acoplamento do sistema à rede elétrica;
- **Unidade de controlo** - esta unidade possibilita uma gestão eficiente dos vários recursos e pode aplicar um conjunto de restrições e prioridades predeterminadas, como por exemplo priorizar o uso de energia solar ou o uso das baterias.

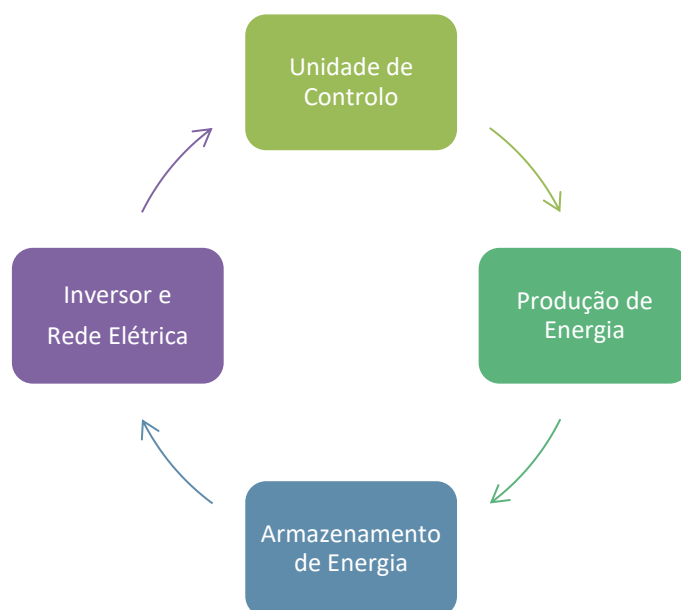


Figura 3.1 - Arquitetura geral dos postos de carregamento para *e-bikes* implementados.

3.1.1. Unidade de interligação com a rede elétrica

Esta unidade é composta basicamente por um conversor CC/CA (inversor) que é responsável por converter a energia elétrica gerada pelos painéis PV para corrente alternada (CA) e ajustá-la para a frequência e para o nível de tensão da rede elétrica. Assim, o inversor é um dos componentes principais para qualquer sistema de energia PV, seja para os que funcionem ligados à rede elétrica ou não.

Essencialmente, existem três tipos de inversores: *grid-tie*, *off-grid* e híbridos. Os inversores *grid-tie* só funcionam interligados com a rede elétrica enquanto que os *off-grid* são utilizados em sistemas isolados da rede elétrica [30]. Já os inversores híbridos são capazes de usar a energia elétrica gerada pelos painéis PV, usar baterias para armazenar energia ou recorrer à rede elétrica quando as outras fontes de energia não estão disponíveis ou são insuficientes [31].

Neste projeto foi utilizado um inversor *Imeon 3.6*, apresentado na Figura 3.2. Este inversor caracteriza-se por ser um inversor híbrido de elevada eficiência, com prioridades programáveis entre diferentes fontes de energia, permitindo uma instalação com tecnologia *plug & play* e uma monitorização local e remota.



Figura 3.2 - Inversor híbrido utilizado no projeto.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as principais características técnicas do modelo do inversor utilizado para o projeto.

Tabela 3.1 - Características técnicas do inversor utilizado no projeto [32].

Especificações		<i>Imeon 3.6</i>
Lado da Entrada (CC)	Potência PV máxima	3.15 kWp
	Tensão nominal de entrada	150 V
	Intervalo de tensão de funcionamento MPP	120 V - 450 V
	Corrente máxima de entrada	18 A
Lado da Saída (CA)	Frequência nominal	50 Hz
	Potência nominal	3000 W
	Tensão nominal da rede	230 V

3.1.2. Unidade de produção de energia

O aproveitamento da energia solar divide-se em energia solar térmica e fotovoltaica (PV). A primeira utiliza a radiação solar para a produção de energia térmica, que é utilizada diretamente, por exemplo, em sistemas de aquecimento de água. Já a energia solar PV baseia-se na conversão direta da energia do Sol (radiação solar) em energia elétrica através de células PV, dispositivos estes que têm na sua constituição materiais condutores, que permitem

converter a energia da radiação solar diretamente em energia elétrica por ação do efeito PV [33].

A energia elétrica produzida por uma única célula PV pode não ser suficiente para determinadas aplicações. Para mitigar essa desvantagem, as células podem ser ligadas entre si e formarem módulos PV de acordo com os níveis de tensão e corrente pretendidos. Já um conjunto de módulos formam os designados painéis PV. Sendo, um *array* PV composto por um ou vários painéis PV, como se ilustra na Figura 3.3.

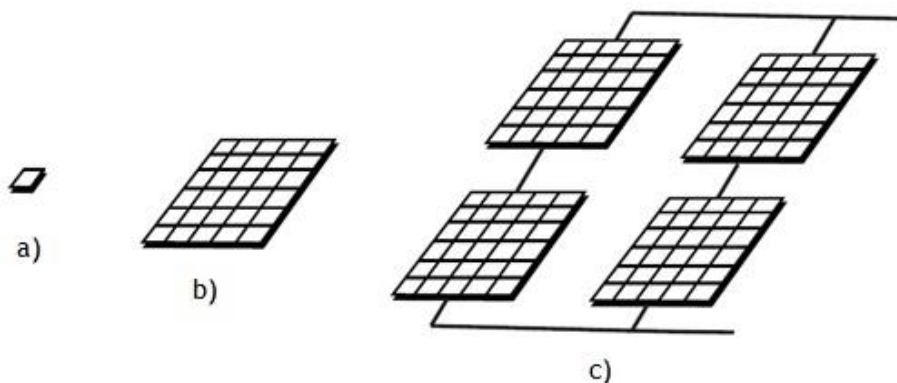


Figura 3.3 - a) Célula PV; b) Módulo PV; c) Painel PV.

O sistema de produção de energia PV utilizado para o projeto em questão, teve por base um sistema fotovoltaico instalado em cada posto de carregamento, composto por um *array* de painéis PV *Jinko Eagle* de 72 células (Figura 3.4). Estes painéis PV caracterizam-se por ser até 17% mais eficientes que o modelo anterior da mesma marca e por serem mais resistentes a condições atmosféricas adversas. O seu revestimento antirreflexo permite uma maior absorção de luz e o facto de apresentarem uma baixa temperatura nominal permite uma potência mais elevada e um desempenho superior ao longo do tempo [34].



Figura 3.4 - Painel PV *Jinko Eagle* de 72 células utilizado para o projeto.

A Tabela 3.2 mostra as principais especificações do painel PV escolhido para a realização do sistema de produção de energia.

Tabela 3.2 - Especificações do painel PV utilizado para a produção de energia [34].

Especificações do painel PV <i>Jinko Eagle</i>	
Tipo de célula	Policristalina
Nº de células	72 (6x12)
Dimensões	1956x992x40mm
Peso	26.5 kg
Tensão de circuito aberto	47.2 V
Corrente de curto-circuito	9.18 A
Potência máxima/pico	335 Wp
Temperaturas de operação	-40°C~+85°C

Um dos elementos principais para estudar o comportamento das células ou dos painéis PV é sua curva característica corrente-tensão (I-V), que descreve o funcionamento destes dispositivos de acordo com as condições de irradiância e temperatura a que estão sujeitos. Regra geral, esta curva característica, é disponibilizada pelos fabricantes nos *datasheets* dos equipamentos.

A curva característica I-V de um painel PV é obtida (através da medição dos pares de dados corrente-tensão) variando a carga aos seus terminais, recorrendo por exemplo a uma resistência variável ou a uma carga eletrônica. Por outro lado, quando são conhecidos apenas pontos que a caracterizam, esta pode ser determinada de forma analítica ou numérica. Através da curva característica I-V é possível traçar também a curva característica de potência-tensão (P-V), i.e., a variação da potência produzida em função da tensão. A obtenção da curva característica P-V é imediata pois a potência P surge como resultado do produto entre I e V .

A Figura 3.5 apresenta as curvas características I-V e P-V para o painel PV utilizado para o sistema de produção de energia elétrica dos postos de carregamento para *e-bikes*.

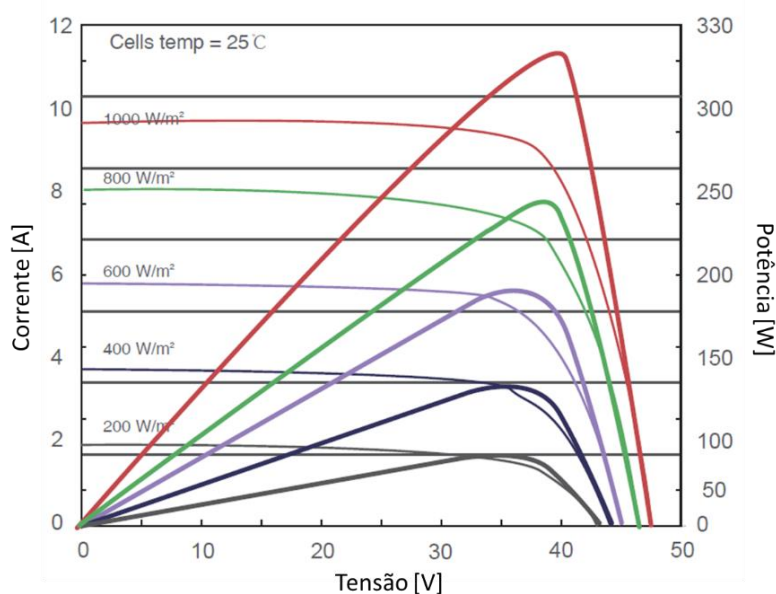


Figura 3.5 - Curvas características I-V e P-V do painel PV utilizado no projeto (Adaptado de [34]).

3.1.3. Unidade de armazenamento de energia

O sistema de armazenamento de energia (*Energy Storage System* - ESS) é um tema central nos sistemas PV autónomos, dado que a produção e o consumo de energia não coincidem quer ao longo do dia quer ao longo do ano. Para se evitar perdas de produção, as baterias são responsáveis por armazenar energia quando existe excesso de produção, de modo a fornecer energia elétrica quando o recurso é insuficiente (períodos de défice de produção).

O ESS deve ser dimensionado de forma a armazenar energia suficiente e a fornecer uma potência de pico adequada, de modo a proporcionar um desempenho satisfatório. Para isso, as unidades de armazenamento de energia elétrica devem ser escolhidas e dimensionadas consoante as necessidades do tipo de veículo a que se destinam [35], neste caso, para *e-bikes*.

Como já foi referido anteriormente o mercado global das baterias aponta para um crescimento da utilização de baterias de iões-Lítio, devido ao grande investimento nesta tecnologia. Esta tecnologia de baterias apresenta uma maior densidade energética, uma eficiência superior (entre 90% a 100%) e não apresentam efeito de memória.

As baterias de iões-Lítio pertencem à família das baterias recarregáveis, onde os iões de *Li* se movem desde o eletrodo negativo até ao positivo durante o descarregamento e voltam durante o carregamento da mesma. São baterias recicláveis e não utilizam na sua construção materiais tóxicos, como o Cádmio, Chumbo ou Mercúrio [36].

Em comparação com outros tipos de baterias, como por exemplo, as baterias de Níquel-Cádmio (*NiCd*) ou as baterias de Níquel-Hidreto-Metálico (*NiMH*), as células das baterias de iões-Lítio têm uma tensão mais elevada, na gama de 3V a 4V (na maior parte, dependendo da natureza dos materiais escolhidos), pelo que para atingir a mesma tensão são necessárias menos células [37].

Outra vantagem desta tecnologia, quando aplicada em VE, consiste no facto de permitirem uma elevada taxa de carregamento o que resulta numa diminuição do tempo necessário para o carregamento. Este conjunto de características tornam esta tecnologia de baterias muito promissora para aplicações de carregamento em qualquer tipo de VE e, consequentemente, no armazenamento de energia elétrica nos postos de carregamento solar para *e-bike*.

No entanto, as baterias de íões-Lítio também apresentam algumas desvantagens. Destacam-se o seu elevado custo inicial e a necessidade de sistemas de proteção contra sobrecargas de modo a manter o potencial e a corrente nos limites razoáveis [38]

No âmbito da análise do balanço energético do sistema, a atividade das baterias é contabilizada em energia armazenada ou entregue (expressa em kWh). Assim, o sistema de armazenamento de energia elétrica proposto para o projeto dos postos de carregamento solar para *e-bikes* é composto por um conjunto de 2 baterias de íões-Lítio da marca *Pylontech*.

A *Pylontech* é uma das fabricantes líderes em sistemas de baterias de Lítio, fornecendo várias soluções para as mais variadíssimas aplicações de sistemas de armazenamento de energia. O modelo escolhido foi o *US 2000 Plus*, com uma tensão nominal de 48 V e uma capacidade nominal de 2.4 kWh. Este modelo de baterias apresenta um balanceamento de células incluído e permite mais de 6000 ciclos de vida [39].



Figura 3.6 - Banco de quatro baterias de íões-Lítio utilizadas para o projeto.

É possível conectar vários módulos de baterias de modo a formar um único módulo com maior capacidade de energia, como é representado na Figura 3.6. A ligação das baterias pode ser feita através de um cabo RJ-45 utilizando as portas *link* das baterias. As baterias são detetadas e ligadas entre elas automaticamente. Em cada posto de carregamento instalado na Universidade da Beira Interior foram usados, como já referido, módulos de duas baterias permitindo uma capacidade total de 4.8 kWh.

3.1.4. Unidade de controlo

Atualmente, na indústria, a unidade de controlo mais utilizada são os Controladores Lógicos Programáveis (CLP), também conhecidos como PLC (*Programmable Logic Controller*). Neste projeto, a unidade de controlo utilizada foi um PLC, responsável por fazer a tomada de decisões de atuação nos postos de carregamento solar para e-bikes.

Controlador Lógico Programável (PLC)

Um PLC, ou também conhecido como autómato é definido pelo *International Electrotechnical Commission* (IEC) na norma 6131-1 como: “A *programmable logic controller (PLC) or programmable controller is a digital computer used for automation of industrial processes, such as control of machinery on factory assembly lines. Unlike general-purpose computers, the PLC is designed for multiple inputs and output arrangements, extended temperature ranges, immunity to electrical noise, and resistance to vibration and impact. Programs to control machine operation are typically stored in battery-backed or non-volatile memory.*”

Assim, um PLC consiste num processador lógico que, mediante uma programação prévia, executa funções perante os valores fornecidos pelos atuadores e sensores que compõem o circuito de controlo. Estes circuitos podem ser simples, tendo apenas um PLC a cargo de toda a operação de controlo, ou sistemas mais complexos, com vários PLC interligados entre si, geridos por um PLC de maior capacidade de processamento [40].

Os PLC são equipamentos robustos e modulares o que facilita a adição ou remoção de módulos de entrada/saída, (*Input/Output - I/O*), ou de módulos de comunicação, sem que exista a necessidade de uma substituição total nem de uma nova projeção de *hardware*.

Ao nível da memória física, vêm equipados com memórias não voláteis, permitindo que, caso ocorram falhas na alimentação, quando o PLC volta a ser alimentado consiga retomar o seu programa e os dados calculados anteriormente [40]. Os PLC podem ainda executar funções perante ações humanas, através de uma interface homem-máquina (HMI), que pode ser uma consola física ou um *software* de controlo presente num computador.

Para além das características de *hardware* robustas, os PLC dispõem de sistemas operativos simples e exclusivamente dedicados à execução do *software* de controlo e por isso, estão muito pouco suscetíveis a interrupções de processamento inesperadas que podem interferir com as características temporais do sistema [41].

Um PLC consiste numa unidade de processamento (CPU) que contém um *software* aplicativo e módulos de interface de I/O, que se encontram diretamente ligados aos atuadores. Durante a operação, a CPU realiza três operações de maneira cíclica, denominado *scan* ou ciclo de varrimento: (1) faz a leitura das entradas, (2) executa o *software* que se encontra na memória, (3) e escreve ou atualiza as saídas e memórias de acordo com o *software*.

A Figura 3.8 ilustra um esquema do ciclo de funcionamento de um PLC, desde a receção de dados através de sensores analógicos que têm de ser convertidos para sinais digitais, ou através de sensores digitais que podem ser lidos diretamente pela unidade de processamento. Após o ciclo de funcionamento descrito anteriormente, a unidade de processamento envia as atualizações necessárias aos atuadores, que por sua vez, podem ser também analógicas (requer um conversor digital/analógico) ou digitais.

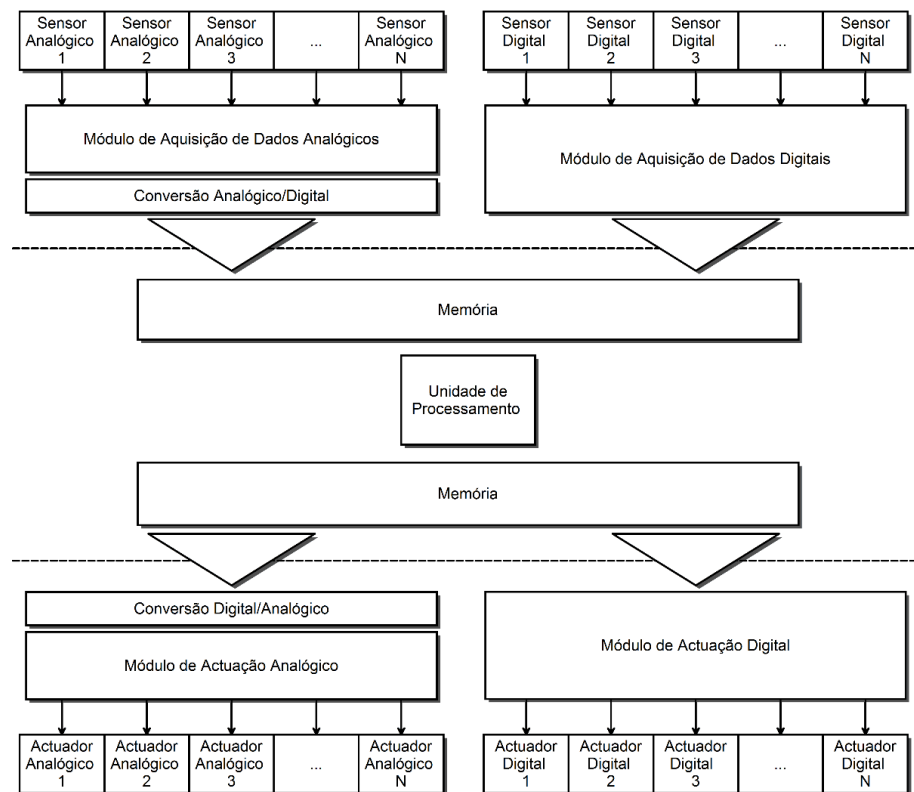


Figura 3.7 - Ciclo de funcionamento de um PLC [41].

A Siemens é um dos fabricantes de equipamentos de controlo que mais tem progredido e contribuído para o estado da arte das soluções de controlo e monitorização para automatização de variadíssimos processos. Assim, no desenvolvimento do projeto desta dissertação foram utilizados sistemas de automação da Siemens, mais concretamente da família *SIMATIC S7-1500*. A família S7-1500 oferece uma vasta gama de modelos de CPU que variam, conforme o modelo, na capacidade das memórias (memória de trabalho e memória de carga) e o número de I/O

Nesta dissertação foi utilizado o modelo do CPU 1512C-1 PN, representado na Figura 3.8, que apresenta uma memória de trabalho de 250 KB e uma memória de carga de 1MB. A memória de trabalho pode ser aumentada com recurso a um cartão de memória apropriado. Este modelo é constituído por uma fonte de alimentação de 190 W com uma tensão nominal de entrada de 120/230V CA (Figura 3.8.1) e um CPU com display integrado (Figura 3.8.2).

Os módulos de I/O realizam a interface entre o processo e o respetivo controlador do processo. Nesse sentido, o CPU utilizado possui um módulo de 5 entradas analógicas e 2 saídas analógicas (AI5/AQ2) e outros dois módulos compostos, cada um com, 16 entradas digitais e 16 saídas digitais (2x16 DI/DQ) (Figura 3.8.3) [42]. Eventualmente, podem ser aplicados módulos adicionais para tarefas específicas e por isso, o PLC é colocado numa *rack* específica (Figura 3.8.4).

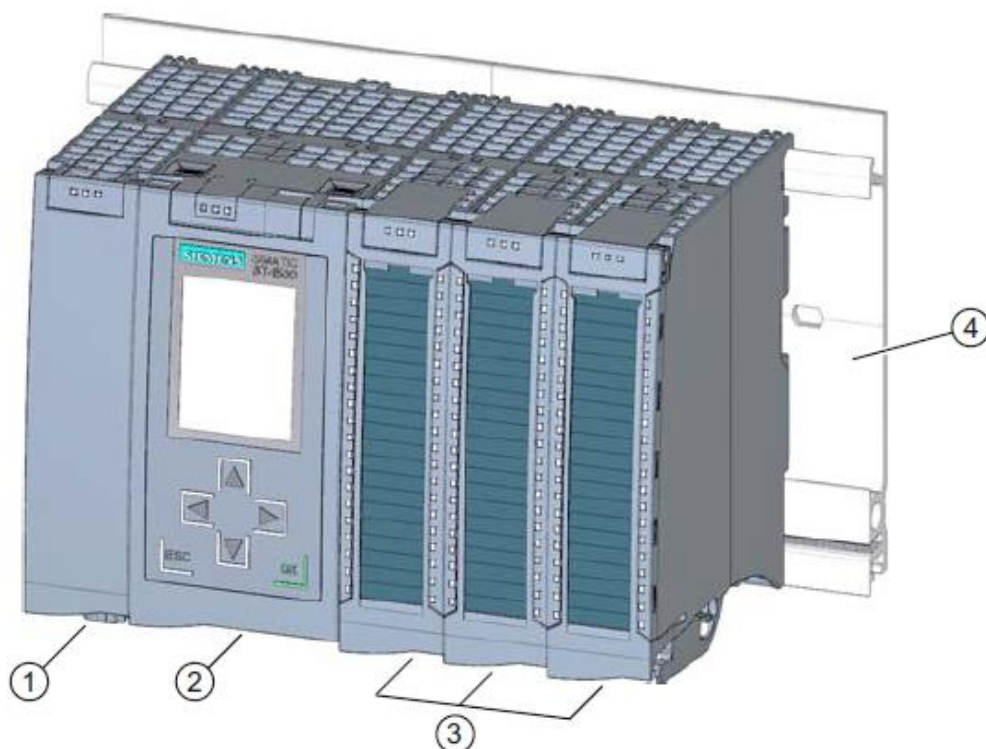


Figura 3.8 - Configuração do PLC S7-1500 CPU 1512C-1 PN [43].

A escolha deste PLC para a realização do projeto derivou essencialmente pelos seguintes aspetos:

- Número de I/O (analógicas e digitais) ideais para a implementação do sistema em causa;
- Ligação PROFINET e elevada compatibilidade com diversos componentes, tais como consolas HMI;
- Elevada capacidade de expansão, com recurso a um cartão de memória, e conectividade, permitindo uma fácil expansão e melhoramento do sistema;
- Possibilidade de criação de páginas na *web* sem necessidade de módulos adicionais;

Para além das já referidas características, esta CPU permite a proteção ao seu acesso interno, assim como a proteção através de *password* ao acesso do programa armazenado no PLC, evitando assim a possibilidade de cópias não autorizadas e reprodução/alteração de *software* por parte de terceiros.

3.2. Localização dos Postos de Carregamento

Inicialmente, o projeto descrito nesta dissertação será composto por quatro postos de carregamento solar para *e-bike*, instalados em locais que permitem abranger os diversos espaços da Universidade da Beira Interior (UBI). De seguida serão apresentadas as quatro localizações escolhidas e as suas diferenças.

- **Localização 1** - Residência Universitária de Santo António - Este posto de carregamento será equipado por 4 lugares de carregamento de *e-bikes* e 16 lugares de estacionamento para bicicletas convencionais. Os painéis PV foram instalados no topo de uma estrutura metálica própria, visto que o posto de carregamento se encontra no exterior, o que permite uma maior área de exposição solar.



Figura 3.9 - Posto de carregamento localizado na Residência Universitária de Santo António.

- **Localização 2** - Faculdade de Ciências da Saúde - Este posto de carregamento será também equipado com 4 lugares para carregamento de *e-bikes* e 16 lugares de estacionamento para bicicletas convencionais. A estrutura para os painéis PV é igual à anterior, pois o posto de carregamento também se encontra instalado no exterior permitindo uma grande incidência solar.

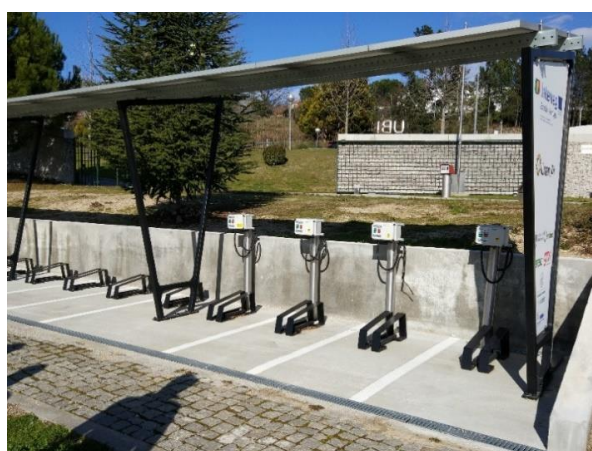


Figura 3.10 - Posto de carregamento localizado na Faculdade de Ciências da Saúde.

- **Localização 3** - Faculdade de Engenharia - Este posto de carregamento tem uma configuração um pouco diferente das anteriores. Como a estrutura de parque e carregamento está localizada no interior da Faculdade de Engenharia, para se realizar a extração de energia solar, os painéis PV tiveram de ser instalados num terraço para que fosse possível tirar maior proveito da luz solar (Figura 3.12). Este posto permite também 4 lugares para carregamento de *e-bikes* e 16 lugares de estacionamento para as bicicletas convencionais.



Figura 3.11 - Posto de carregamento localizado na Faculdade de Engenharia.



Figura 3.12 - Painéis PV instalados no terraço da Faculdade de Engenharia.

- **Localização 4 - Residência Universitária do Sineiro** - Este posto de carregamento segue uma configuração idêntica à anterior. Como a estrutura de parque e carregamento foi instalada num local mais sombreado onde a incidência de luz solar é reduzida, os painéis PV foram instalados no cimo da entrada principal da residência, onde é possível tirar maior partido da luz solar (Figura 3.14).



Figura 3.13 - Posto de carregamento localizado na Residência Universitária do Sineiro.



Figura 3.14 - Painéis PV instalados no topo da entrada da Residência Universitária do Sineiro.

Capítulo 4

Análise do Sistema

Neste capítulo é realizada uma análise aos principais circuitos do sistema de controlo e monitorização para os postos de carregamento de e-bikes, nomeadamente, o circuito de controlo e o circuito de potência. É ainda explicado como é que os utilizadores podem interagir com o sistema, graças às interfaces homem-máquina.

4.1. Sistema de Controlo e Monitorização

Um sistema de automação, de uma maneira geral, é dividido em três partes, uma de controlo, outra operativa e uma interface homem-máquina. A parte de controlo cria as ordens necessárias para a tarefa ser executada em função da informação que recebe à entrada (programa, interação com o meio, informação de outras partes de comando). A parte operativa é o sistema a automatizar através do circuito de controlo, i.e., o processo físico que ocorre no sistema automatizado, estabelecendo as ligações e ações entre atuadores e sensores. Por fim, a interface homem-máquina permite aos utilizadores e operadores fazerem a gestão do sistema de formas intuitivas e simples, recorrendo para isso a consolas HMI e a páginas *Web* para consulta e modificação de valores.

O sistema desenvolvido e apresentado nesta dissertação refere-se a um sistema de controlo e monitorização para postos de carregamento solar de *e-bikes*. Para este sistema funcionar corretamente, foi também dividido nas três secções fundamentais, como representado na Figura 4.1.

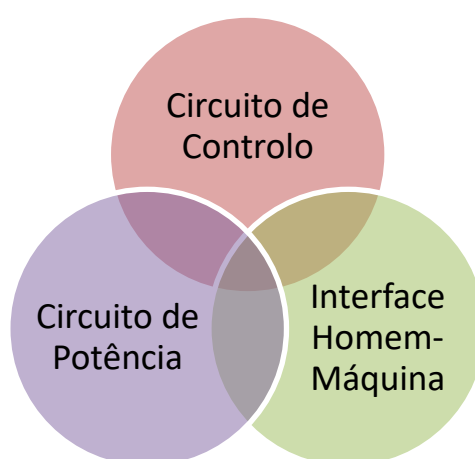


Figura 4.1 - Representação das partes constituintes do sistema de controlo e monitorização desenvolvido.

4.2. Circuito de Controlo

O circuito de controlo é constituído pelo conjunto de circuitos responsáveis pelo comando, monitorização e proteção dos componentes do circuito de potência, assim como dos circuitos de sinalização e interface com o utilizador.

Para o caso prático desta dissertação, o circuito de controlo incorpora a unidade de controlo e alguns dispositivos e módulos, nomeadamente o módulo de comunicação e o leitor RFID. Assim como a unidade de controlo, todos estes dispositivos e módulos pertencem à família *SIMATIC* da Siemens.

Quando se fala em redes de comunicação em Siemens a mais conhecida e utilizada para este tipo de projetos é sem dúvida a rede PROFIBUS. Este protocolo de comunicação é constituído por uma unidade definida como *master*, normalmente o PLC, e por um conjunto de dispositivos definidos como *slaves*, que vão desde módulos de comunicação ou de expansão a consolas HMI, etc [44].

O protocolo de comunicação utilizado para realizar a ligação em rede dos dispositivos *SIMATIC* foi uma variante do protocolo PROFIBUS, com recurso à *Ethernet*, designado PROFINET, e que tem com objetivo ser utilizado em processos de automação industrial.

Este protocolo de comunicação pode assumir duas perspetivas: o PROFINET CBA (*Component Based Automation*) e o PROFINET I/O. O primeiro é mais adequado para comunicações entre máquinas e faz uso de comunicações TCP/IP e RT (*real-time communication*), tornando-o bastante adequado para as comunicações entre controladores. O PROFINET I/O é utilizado para troca de informações entre arquiteturas distribuídas, estando dividido em dois modos: comunicações RT e IRT (*Isochronous Real-Time*). As comunicações RT apresentam ciclos de transmissão na ordem dos milissegundos, adequadas para ligações de periféricos, enquanto que, as comunicações IRT apresentam ciclos na ordem dos microssegundos adequadas a aplicações de controlo de movimento [45].

Os dispositivos ligados através de PROFINET I/O são endereçados através de MAC (*Media Access Control*) ou IP. Com base no nome e no endereço MAC/IP, o controlador consegue reconhecer e configurar os dispositivos e, assim, atribuir um endereço IP, usando o protocolo DCP (*Discovery and Configuration Protocol*) integrado no PROFINET I/O.[46]. Para o projeto em questão, os módulos que necessitam de uma ligação através de PROFINET foram definidos com os seguintes IP:

- PLC - 192.168.0.1;
- Módulo de comunicação - 192.168.0.2;
- Consola HMI - 192.168.0.3;
- Computador utilizado para programação e testes: 192.168.0.99.

Na Figura 4.2 é possível observar os dispositivos ligados por PROFINET simulados no *software* utilizado para a programação, o *TIA Portal* que será explicado no Capítulo 5, e com os referidos IP associados.

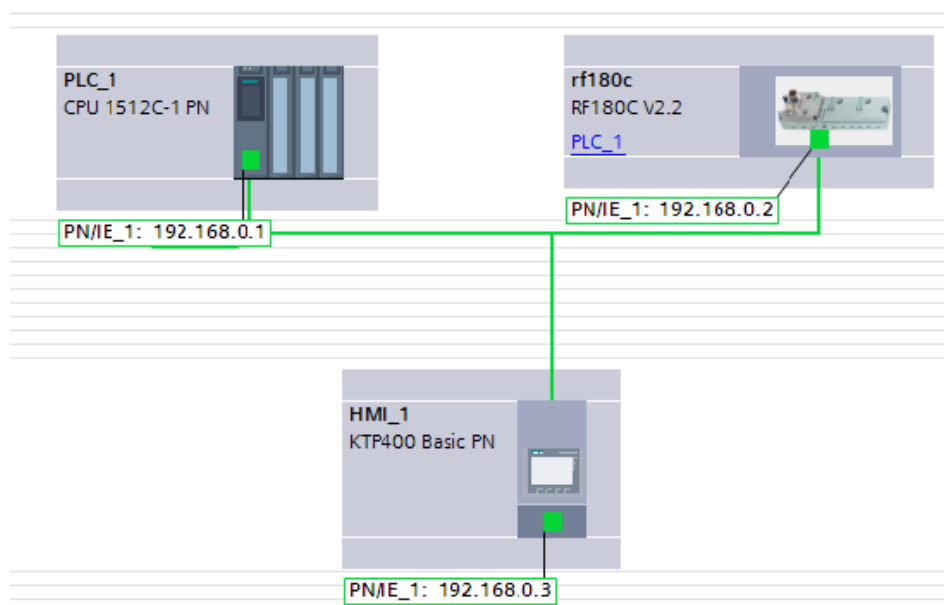


Figura 4.2 - Atribuição do IP aos diferentes dispositivos ligados através de PROFINET.

Módulo de Comunicação

Para realizar a comunicação entre o PLC e o leitor RFID de modo a permitir ler e escrever dados nos cartões RFID é necessário um módulo de comunicação. Para este projeto foi utilizado o modelo *SIMATIC RF180C* (Figura 4.3) que permite a ligação direta por PROFINET de dois leitores RFID em simultâneo. Este módulo oferece taxas de transferência de dados até 100 *Mbit/s* e possui duas ligações PROFINET para o PLC através de conectores RJ45. Já a ligação aos leitores RFID é realizada através do protocolo de comunicação RS422 através de um conector M12 de oito pinos [47].

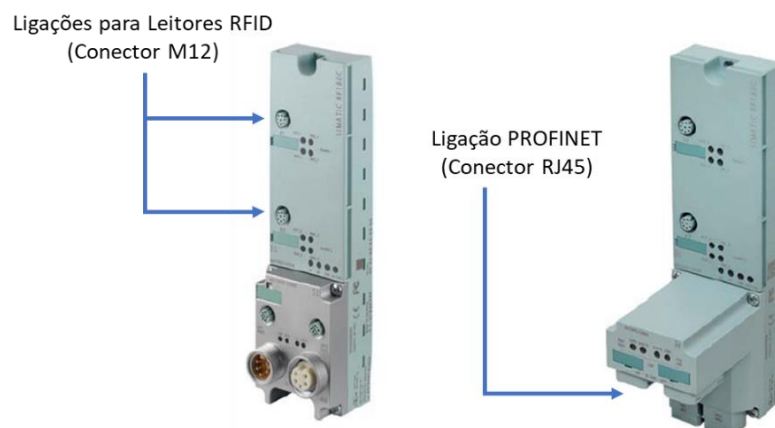


Figura 4.3 - Módulo de comunicação *SIMATIC RF180C* (Adaptado de [47]).

Leitores e Cartões RFID

A identificação por radiofrequência (RFID) é uma tecnologia de identificação automática, onde a comunicação e transmissão de dados entre o leitor RFID e as *tags* ou cartões RFID é realizada através de ondas eletromagnéticas. Esta tecnologia apresenta uma capacidade de adaptação elevada para múltiplas aplicações, podendo ser utilizada nas mais diversas áreas e em diversos dispositivos, desde a área da saúde (identificação dos recém-nascidos), na educação (cartões de identificação nas escolas), ou até na área empresarial (portagens eletrônicas das autoestradas) [48].

O funcionamento desta tecnologia não requer qualquer tipo de contato, sendo um método conveniente para a captura de dados de forma simples e rápida. Considerada como uma das tecnologias *wireless* mais promissoras no futuro ao nível das aplicações de baixo consumo energético, é, no entanto, diferente de outros tipos de tecnologias *wireless* como as existentes nas comunicações móveis ou nas redes *wireless* de computadores. Ao contrário das tecnologias *wireless* utilizadas em comunicações móveis e redes de computadores, onde as comunicações são deliberadamente iniciadas e terminadas pelos utilizadores, nos sistemas RFID as comunicações são automaticamente iniciadas pelos leitores ou pelas *tags* (no caso de *tags* ativas), desde que estejam ao alcance das ondas de rádio emitas pelos mesmos.

O princípio de funcionamento da tecnologia RFID está representado na Figura 4.4 e pode ser descrito da seguinte forma: um leitor RFID (*transceiver*) emite um sinal de radiofrequência com um determinado comprimento de onda e potência; caso o alcance do sinal emitido seja suficiente para atingir uma *tag*, a mesma faz uso da energia fornecida pelo leitor através do sinal (caso das *tag* passivas) para responder ao leitor RFID; o leitor, por sua vez, capta o sinal de resposta, analisando-o e executando as ações predefinidas de acordo com a mensagem recebida e com o estabelecido pelo *software* que controla o sistema [49].

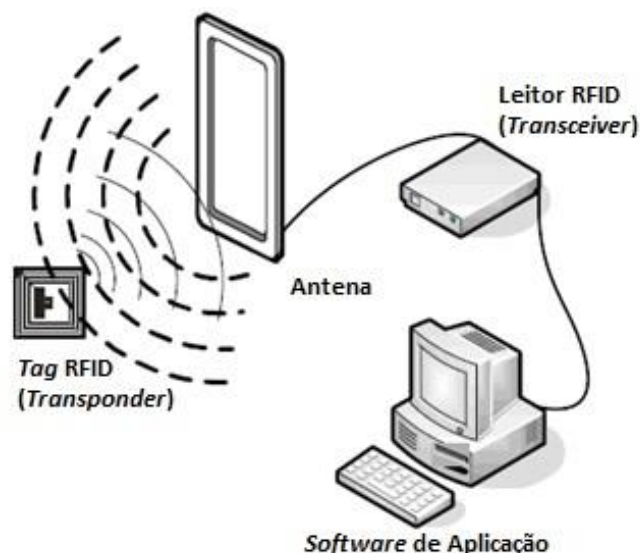


Figura 4.4 - Esquema representativo de um sistema RFID.

Os leitores RFID são dispositivos que permitem ativar e controlar a comunicação com as *tags* e ainda gerir a transferência de dados entre as *tags* e os *softwares* de aplicação. São compostos por um circuito que emite energia eletromagnética através de uma antena (que pode ou não

estar dentro do leitor) e ainda um circuito elétrico que recebe e descodifica a informação que é enviada pelas *tags*. Assim, os leitores são inteiramente responsáveis por estabelecer as comunicações e realizar os procedimentos de autenticação com as *tags* e, de seguida, apresentar os dados num aplicativo que possa fazer uso desses mesmos dados. Para que um leitor e uma *tag* possam estabelecer comunicação, estes devem suportar o mesmo protocolo de comunicação.

Para o projeto foram utilizados vários modelos de leitores RFID, todos da família *SIMATIC* RF300 da Siemens (Figura 4.5), nomeadamente os modelos *SIMATIC* RF340R, RF240R e RF310R. As principais vantagens desta família de leitores RFID são essencialmente o facto de conseguirem ler e escrever em *tags* RFID um grande volume de dados num curto espaço de tempo e podem ser utilizados em ambientes agressivos graças à sua construção robusta com elevado grau de proteção.

Estes leitores RFID apresentam funcionalidades integradas de diagnóstico que permitem menos falhas no funcionamento do sistema. Todos os leitores escolhidos têm uma antena integrada com possibilidade de funcionarem como leitor de cartões RFID e como módulo de transmissão e alteração dos dados das mesmas.



Figura 4.5 - Leitor RFID RF340R e cartão RFID utilizados no projeto.

É importante frisar que os cartões RFID utilizados neste projeto têm uma capacidade de memória de 112 *bytes* e uma taxa de transmissão de 26.5 *kbit/s*, o que se torna suficiente para os dados que são necessários guardar nos cartões [50].

Na Figura 4.6 é possível observar o circuito de controlo com todos os dispositivos instalados dentro do quadro elétrico geral. Tanto o PLC, como o módulo de comunicação e o *switch Ethernet*, responsável por interligar todos os componentes através de PROFINET, foram instalados dentro do quadro elétrico, sendo que o leitor de cartões RFID encontra-se no exterior nos pontos de carregamento, apresentados na Figura 4.7. Todas as ligações foram etiquetadas e feitas de forma a ter o menor número de fios à vista.

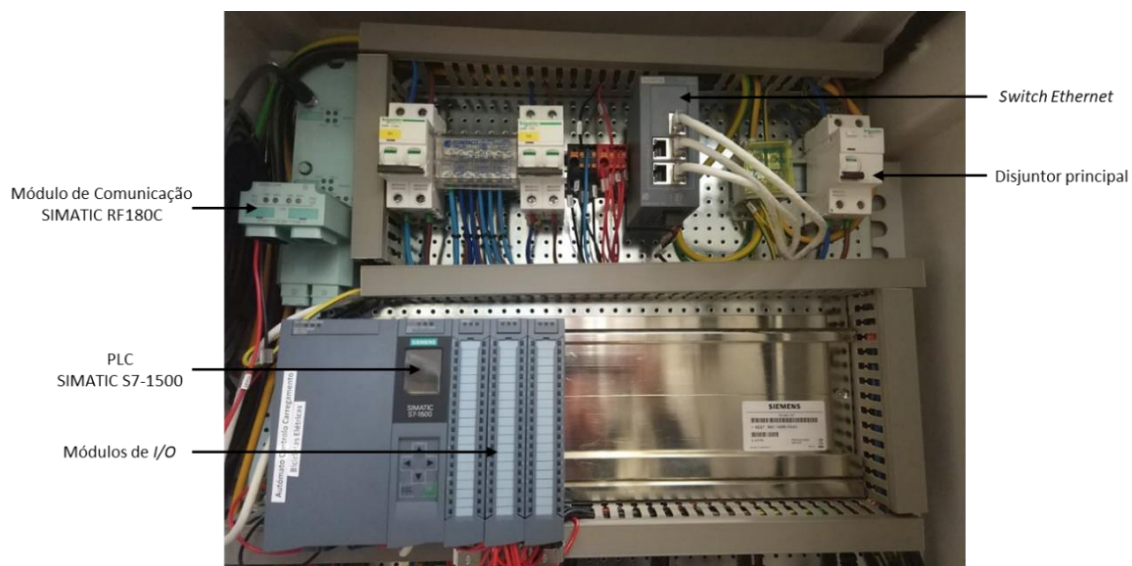


Figura 4.6 - Circuito de controlo instalado no quadro elétrico.

No que diz respeito aos pontos de carregamento, para além de incorporam o leitor RFID foram ainda equipados com dois leds (Ligado/Desligado) para que os utilizadores possam perceber de forma intuitiva se o ponto de carregamento se encontra pronto a ser utilizado ou não (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Ponto de carregamento com leitor RFID no interior e leds indicativos de funcionamento.

4.3. Circuito de Potência

O circuito de potência é composto, para cada posição dos postos de carregamento, por três dispositivos principais que interagem com o circuito de controlo. Os dispositivos principais utilizados no circuito de potência são explicados se seguida:

- **Smart Meters** - é um contador inteligente que permite fazer as medições com uma determinada periodicidade (de segundos a horas) definida pelo programador do sistema e enviar os dados dessas medições para a unidade de controlo [51]. Esses dados são depois processados para diversos efeitos, sendo que no caso prático da dissertação, as medições realizadas pelos *smart meters*, servem para determinar o consumo energético de cada ponto de carregamento.
- **Disjuntores** - são dispositivos eletromecânicos capazes de estabelecer, conduzir, interromper e suportar correntes, em condições normais e anormais de funcionamento do sistema elétrico [52]. Entende-se como condições normais as operações em que o sistema funciona sem perturbações a nível da corrente elétrica. Em relação às condições anormais de funcionamento destacam-se a eliminação de curto-circuitos, correntes de sobrecarga e a mitigação das consequências negativas das descargas atmosféricas.
- **Contactores** - é também um dispositivo eletromecânico que permite, a partir de um circuito de comando efetuar o controlo de cargas num circuito de potência. A partir da polarização da bobina, esta irá gerar um campo eletromagnético que faz com que os contatos alternem a sua posição [53].



Figura 4.8 - Circuito de potência instalado no quadro elétrico.

4.4. Interface Homem-Máquina

Os sistemas atuais de automação requerem que o acesso à informação seja precisa, quer em termos de espaço e de tempo. O diálogo entre o Homem e a Máquina deve reunir todas as funções de que o operador necessita para controlar ou supervisionar o sistema, pois todas as ações tomadas por este têm de garantir o correto funcionamento do mesmo [54]. Com isto, é indispensável que o desenvolvimento destas interfaces seja de qualidade, de forma a garantir um controlo correto e seguro do sistema em qualquer circunstância.

A interface homem-máquina (HMI - *Human-Machine Interface*) torna-se num elemento fundamental na construção sistemas de controlo e monitorização, pois permite um utilizador ou um operador interagir remotamente com esse mesmo sistema de uma forma intuitiva. Existem vários tipos de dispositivos capazes de desempenhar esta função, no entanto, o mais utilizado em processos de automação são as consolas HMI.

A comunicação entre os sistemas e as consolas HMI é, regra geral, feita através de uma ligação PROFINET ou PROFIBUS. A instalação das consolas HMI no local descrito permite fazer uma manutenção ao sistema, ou apenas consultar dados que sejam necessários, sem a necessidade de ter de se abrir o quadro elétrico e ligar um computador ao controlador para o fazer. A Figura 4.9 mostra uma imagem real do quadro elétrico onde é possível observar a consola HMI instalada na frente do quadro elétrico.

No Capítulo 5 será explicada como foi realizada a programação desta consola HMI e como é possível interagir com ambos os circuitos do sistema de uma forma muito mais simples e sem necessidade de ligar um computador ao PLC para fazer leituras ou modificações de dados.



Figura 4.9 - Quadro elétrico com instalação da consola HMI na porta frontal.

4.5. Esquemas elétricos do Controlador de Carregamento

Na Figura 4.10 está representado o esquema de ligações de todos os dispositivos que fazem parte do circuito de controlo dos postos de carregamento. A fonte de alimentação do PLC é ligada a 230V CA e os restantes dispositivos operam através de uma tensão contínua de 24V CC.

Como já foi referido anteriormente, todos os dispositivos *SIMATIC* (PLC, consola HMI e módulo de comunicação) são ligados entre si através de PROFINET, com recurso ao *switch Ethernet* que permite a ligação através de cabos *Ethernet*, em rede, de todos os dispositivos.

O leitor RFID, que está instalado nos pontos de carregamento, será ligado ao módulo de comunicação através do protocolo de comunicação RS422. O computador utilizado para a realizar a programação e testes, por sua vez, é também ligado ao *switch Ethernet* de forma a permitir a configuração e programação dos dispositivos ligados em rede.

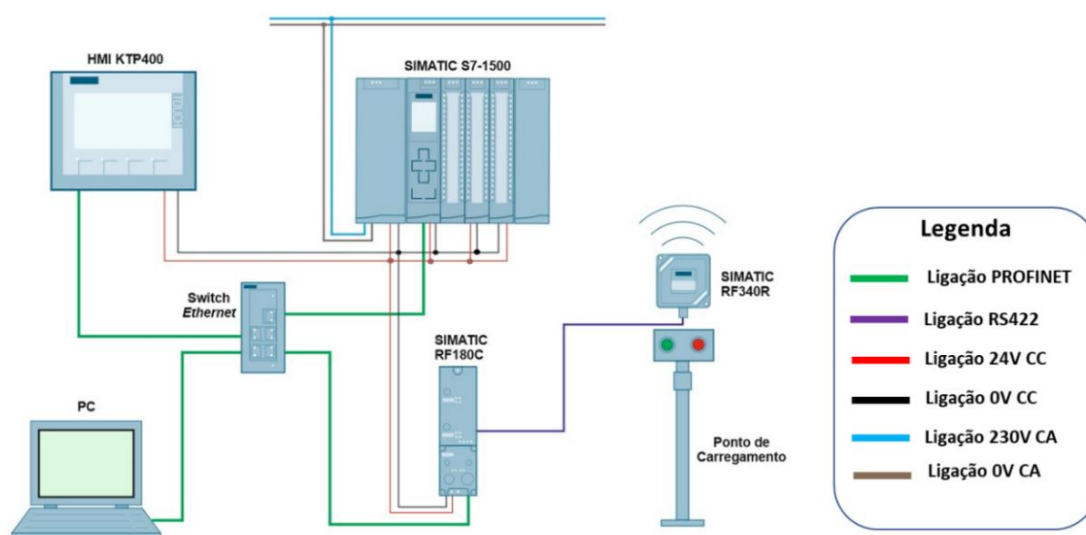


Figura 4.10 - Esquema elétrico do circuito de controlo do sistema.

O dispositivo responsável por atuar no circuito de potência é o PLC. Os módulos de I/O digitais que serão ligados os *smart meters* e os contactores de potência. Assim, o PLC será responsável por receber os dados lidos pelos *smart meters*, realizando uma atuação os contactores de potência.

Visto que cada ponto de carregamento é equipado com dois leds, estes também necessitam de uma ligação ao PLC para que seja possível fazer o seu controlo dependendo do estado do ponto de carregamento. Optou-se por uma questão de organização no quadro elétrico, ligar os leds no segundo módulo de I/O digitais do PLC.

As ligações dos dispositivos pertencentes ao circuito de potência aos módulos de I/O digitais do PLC são também apresentadas mais detalhadamente nas Tabelas 5.2 e 5.3, onde é preciso definir esses I/O no *software* de desenvolvimento.

A Figura 4.11 representa o esquema das ligações dos componentes inerentes ao circuito de potência, descritos anteriormente, e as respetivas ligações necessárias aos módulos de I/O digitais do PLC.

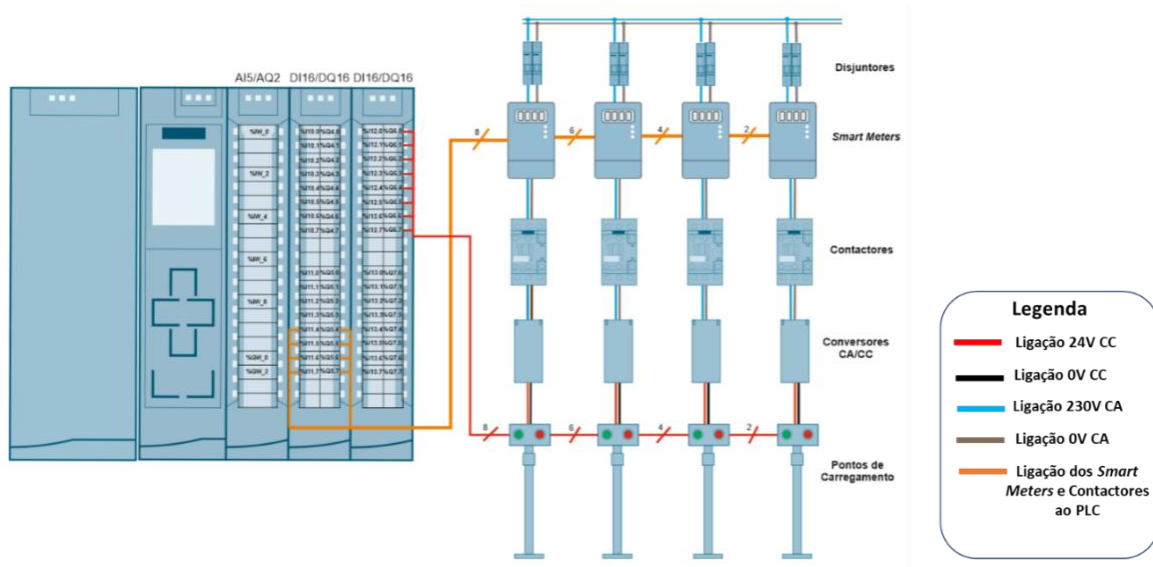


Figura 4.11 - Esquema elétrico do circuito de potência do sistema.

Capítulo 5

Programação do Controlador Lógico Programável

Neste capítulo é descrita a implementação do software criado que permite o controlo do sistema. Inicialmente, faz-se uma breve explicação do funcionamento do software e é explicado detalhadamente como se processa o ciclo de funcionamento. Por fim, são apresentadas as funcionalidades implementadas na consola HMI.

5.1. Ferramenta computacional

Através da ferramenta computacional *Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)*, nesta dissertação utilizada a versão V15.1, são disponibilizadas as ferramentas necessárias para a configuração, programação, testes e diagnóstico dos diversos controladores do fabricante Siemens. Este *software* apresenta-se como uma das plataformas mais completas de desenvolvimento e implementação para soluções de automação, oferecendo um ambiente amigável para o utilizador criar projetos, converter projetos de versões anteriores e efetuar migrações [55]. Além disso, permite a total configuração, programação, controlo e monitorização de vários PLC's quando ligados em rede.

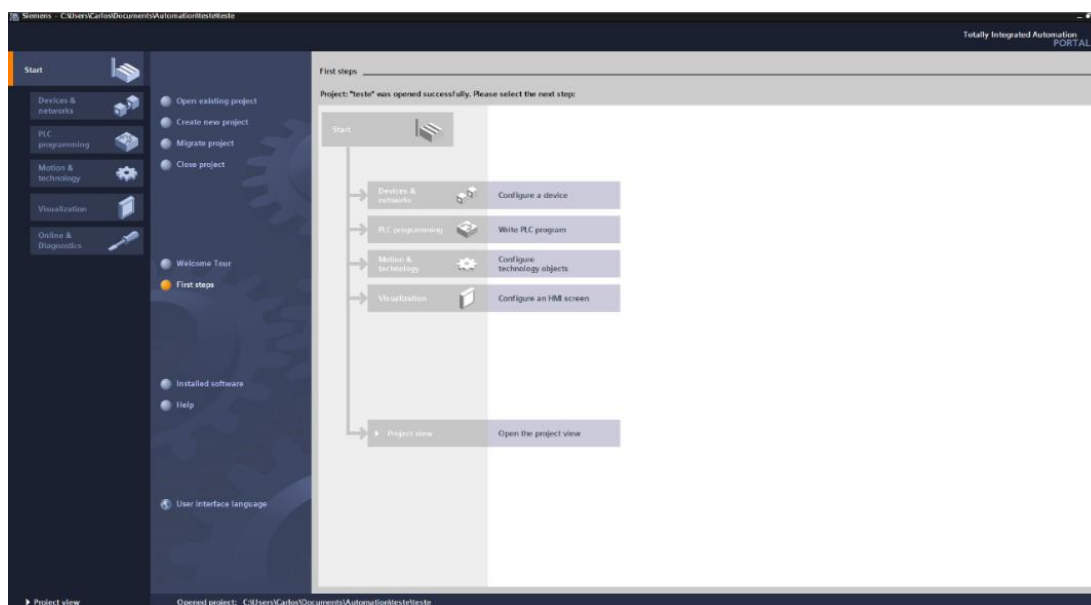


Figura 5.1 - Ambiente da ferramenta computacional *TIA Portal* V15.1.

Os PLC podem ser programados em 6 linguagens diferentes de acordo com a norma internacional IEC 61131-3, e que podem ser divididas em linguagens gráficas e linguagens textuais. Dentro das linguagens gráficas estão: diagrama *ladder* (LD), diagrama de blocos de funções (FBD),

diagrama de funções sequenciais (SFC) e diagrama de funções contínuas (CFC); as linguagens textuais existentes são: texto estruturado (ST) e lista de instruções (IL) [56].

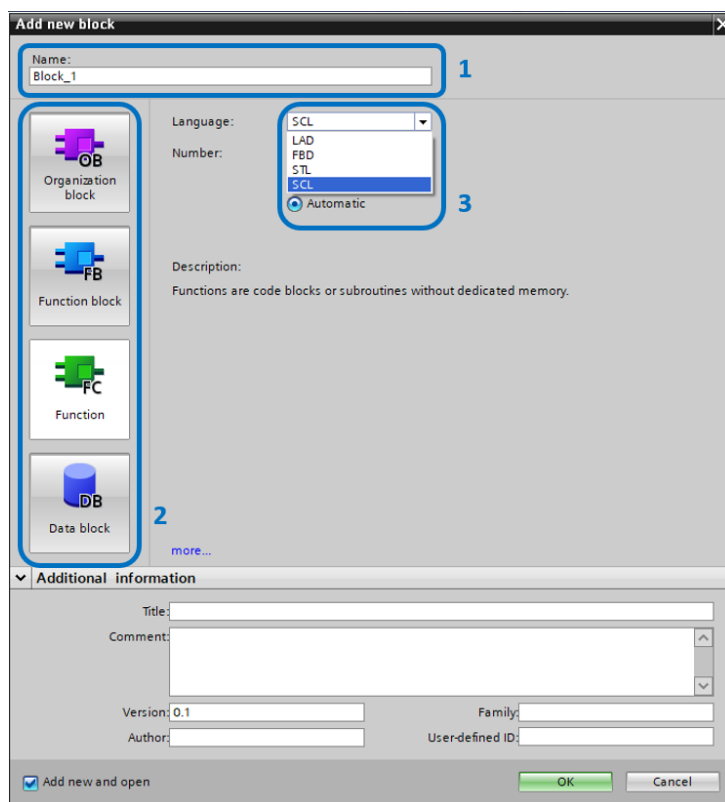


Figura 5.2 - (1) Nome do bloco; (2) Blocos; (3) Tipo de linguagem disponíveis no TIA Portal.

De modo a potenciar ao máximo as funcionalidades que um *software* disponibiliza, é importante que o utilizador conheça e interprete adequadamente o seu modelo organizacional, sobretudo quando se procura uma programação devidamente estruturada. A estruturação de um *software* facilita a deteção, análise e respetiva solução de erros de programação, simplificando igualmente as fases de manutenção por parte do cliente final [57].

O modelo de organização de um ambiente de programação encontra-se refletido na forma como as diferentes entidades unitárias de programação interagem umas com as outras. No caso do TIA Portal, é concedido ao utilizador quatro tipos de unidades de programação [58], [56] :

- **OB (Bloco de Organização)** - os blocos do tipo OB podem ser entendidos como a interface entre o sistema operativo do controlador e o *software* do utilizador (Figura 5.3). São chamados pelo sistema operativo de acordo com a sua prioridade e, por sua vez, chamam de forma sequencial as sub-rotinas desenvolvidas em Blocos de Funções (FB), ou em Funções (FC). Ao contrário do POU (*Program Organization Unit*), definido na norma IEC 61131-3 [56], os OBs já têm propriedades de *run-time* implícitas, que pré-definem precisamente a prioridade com que são invocados pelo sistema operativo.
- **FB (Bloco de Função)** - Ao contrário do anterior, este tipo de bloco tem um carácter sequencial, uma vez que os valores das suas variáveis internas e de saída são guardados de ciclo para ciclo. Este armazenamento de memória permite que os dados provenientes de

FBs possam ser disponibilizados a sistemas de supervisão e interfaces homem-máquina (Consolas HMI), por exemplo. O encapsulamento de outros FBs ou de FCs é também uma possibilidade inerente a este tipo de bloco.

- **FC (Função)** - Por contraste à unidade organizacional precedente, os blocos deste tipo têm um carácter combinacional - ou seja, em diferentes ciclos, com os mesmos valores nas entradas, fornecem sempre os mesmos valores nas saídas - dado que não têm acesso aos valores obtidos em ciclos anteriores, uma vez que estes não são guardados em bancos de dados. Sempre que necessário, poder-se-á disponibilizar os valores das suas saídas a blocos de dados.
- **DB (Bloco de dados)** - Os blocos de dados são blocos representativos de áreas dedicadas ao armazenamento de dados. Estes podem ser subdivididos em dados globais, onde todos os outros blocos e funções podem ler os dados armazenados ou gravar dados no DB durante o ciclo de execução; e os dados de instância, que são atribuídos a um determinado FB, não trocando dados com nenhum outro bloco.

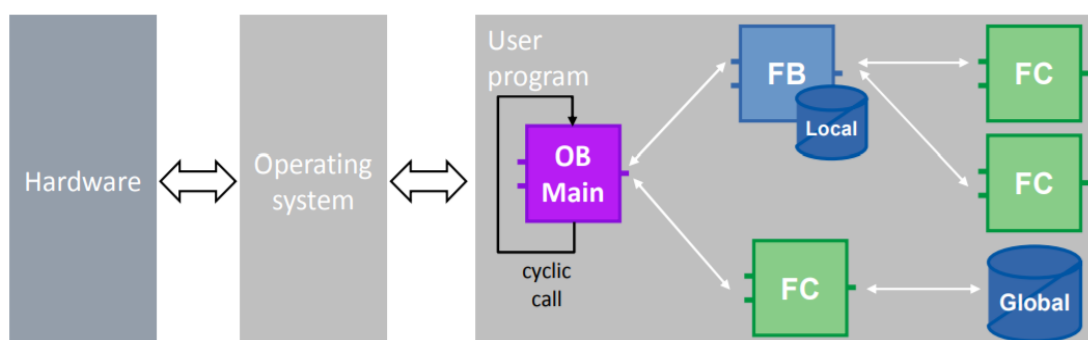


Figura 5.3 - Interface entre o sistema operativo de controladores e os diferentes blocos possíveis no *TIA Portal* [58].

O acesso à memória global da CPU é feito através de uma variedade de áreas de memória especializadas, apresentadas na Tabela 5.1. Cada diferente localização da memória possui um endereço único. O *software* do utilizador usa estes endereços para ter acesso à informação da memória nessas localizações. O endereço absoluto consiste nos seguintes elementos:

- Identificador da área da memória (tal como, I, Q, ou M, correspondendo respetivamente a Imagem do processo de entradas, Imagem do processo de saídas, ou Memória de bits);
- Tamanho dos dados a serem acedidos (“B” para *Byte*, “W” para *Word* ou “D” para *Doubleword*);

A maioria das instruções nos *softwares* operam com “*tags*”. Uma *tag* é uma variável usada no *software* que pode assumir diferentes valores. *Tags* têm a vantagem de poderem alterar centralmente um endereço usado no *software*. Sem o endereçamento simbólico proporcionado pelas *tags*, um endereço usado várias vezes no *software* teria de ser alterado em variados pontos cada vez que se alterava a configuração das entradas e saídas do PLC [59].

Tabela 5.1 - Áreas de memória no TIA Portal.

Área da Memória	Descrição
I - Imagem do processo de entradas	Copiado a partir das entradas físicas no início do ciclo de varrimento.
Q - Imagem do processo de saídas	Copiado para as saídas físicas no fim do ciclo de varrimento.
M - Memória de bits	Memória de controlo e de dados.
L - Memória temporária	Dados temporários para um bloco local a esse mesmo bloco.
DB - Bloco de dados	Memória de dados e também memória de parâmetros para FBs.

A linguagem de programação SCL representa uma linguagem de alto nível caracterizada por ser escrita em linha de comandos sequencial permitindo uma programação estruturada. Este tipo de linguagem recorre a linguagem de computador (*PASCAL* e *BASIC*) que utiliza sub-rotinas para executar diferentes partes do código do *software* e passar parâmetros e valores entre as diferentes secções do *software*. Ao ser composta por uma sequência de comandos escritos, torna possível criar certos comandos de código que, por exemplo, utilizando a linguagem *ladder* não seria possível. A vantagem desta linguagem consiste na facilidade de criar aplicações que operam com variáveis de diferentes tipos, valores analógicos, digitais, entre outros, o que a torna na linguagem mais adequada para a implementação de algoritmos matemáticos complexos [60]. Considerando estas vantagens, optou-se por realizar a programação do PLC em SCL.

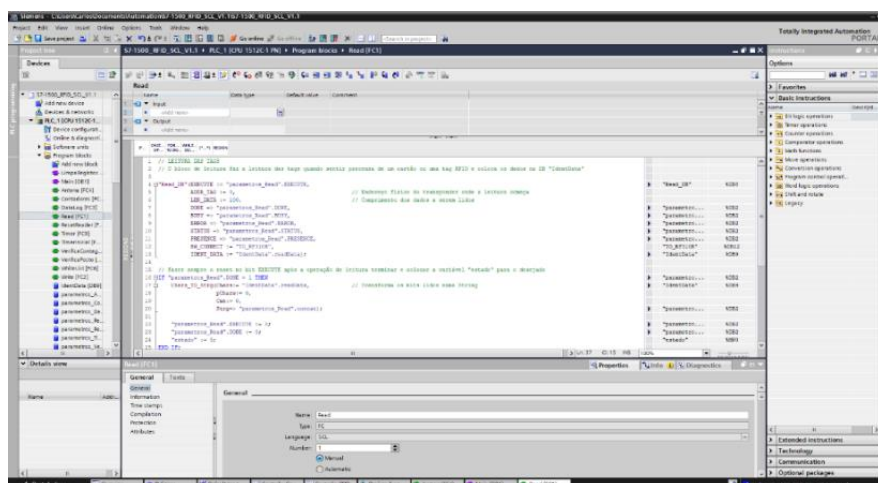


Figura 5.4 - Ambiente de programação do TIA Portal V15.1.

Antes de se iniciar a criação do *software* de controlo e monitorização dos postos de carregamento solar, foi necessário pré-configurar alguns parâmetros, e estabelecer algumas regras, nomeadamente:

- Atribuição do endereço de IP e Máscara de sub-rede ao computador utilizado para realizar a programação no *TIA Portal*.

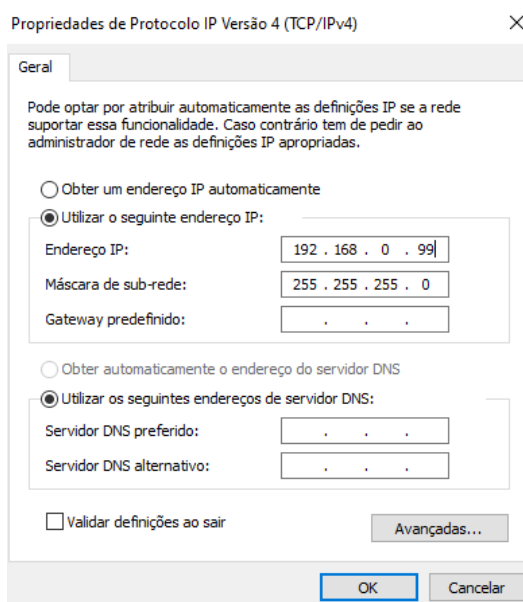


Figura 5.5 - Propriedades TCP/IP - Configuração do endereço de IP e máscara de sub-rede do computador.

- Adição dos respetivos módulos adicionais ao PLC, neste caso a fonte de alimentação utilizada foi uma PM 190W 120/230V AC;

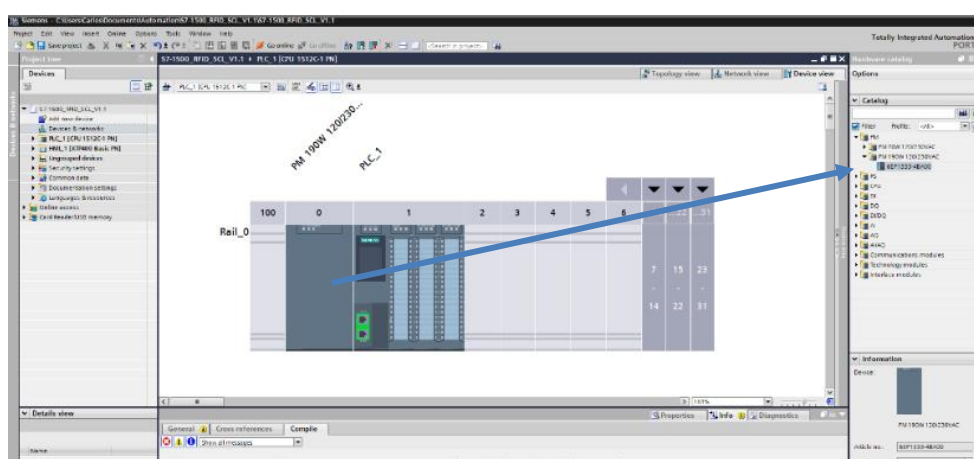


Figura 5.6 - Adição da fonte de alimentação ao projeto no *TIA Portal*.

- Atribuição do endereço de IP aos principais componentes (PLC, módulo de comunicação e consola HMI);

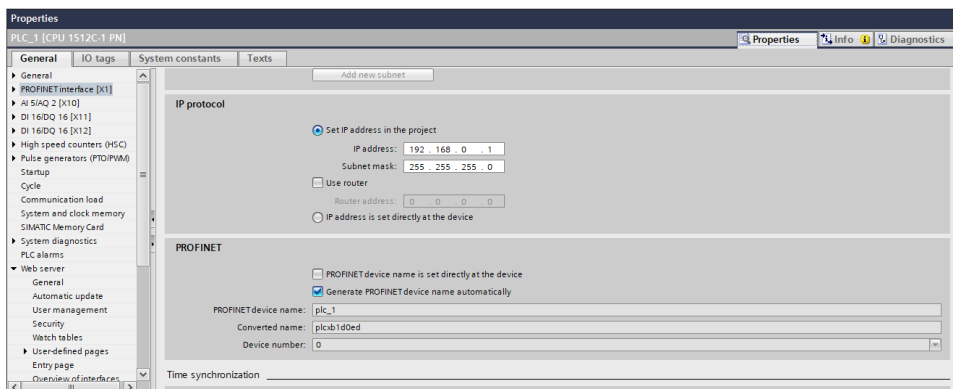


Figura 5.7 - Atribuição do endereço de IP ao PLC e restantes dispositivos.

- Ativação dos *bits* pré-configurados do sistema e relógio de memória;

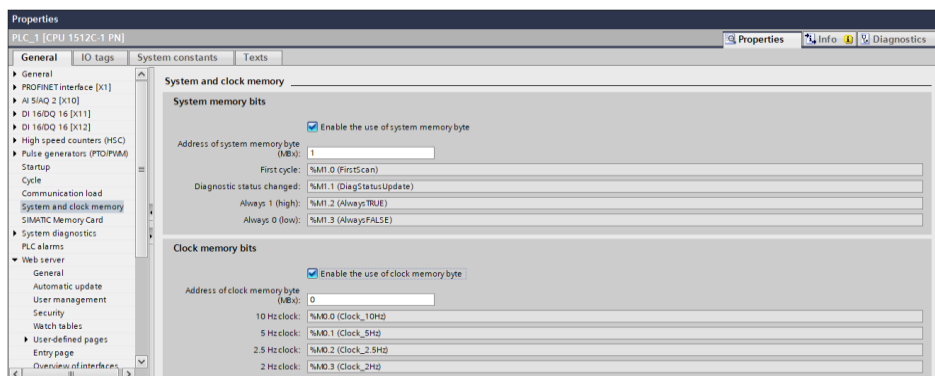


Figura 5.8 - Ativação dos *bits* do sistema e relógio de memória.

- Ativação do sistema *Web Server* do PLC e respetivas configurações;

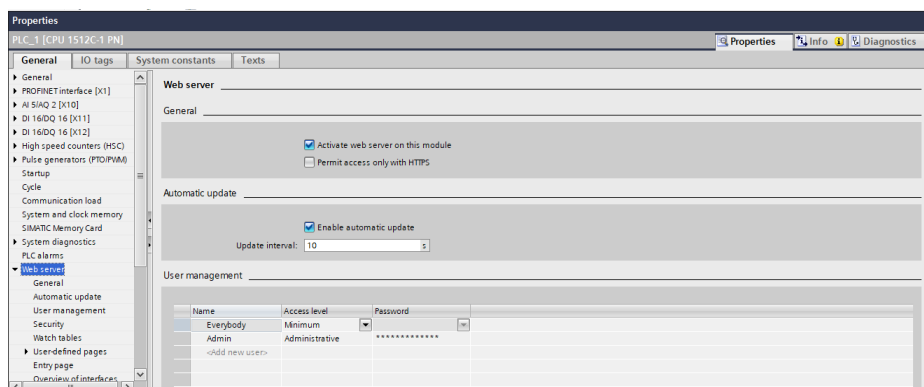


Figura 5.9 - Ativação e configuração do *Web Server*.

No *TIA Portal*, os módulos de I/O são consultados através de endereços de entrada (%I) e endereçados através de endereços de saída (%Q). As variáveis de entrada digitais onde são ligados os *smart meters* para que seja possível consultar os seus valores, estão descritas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Variáveis de entrada digitais utilizadas.

Entradas Digitais (%I)	Descrição	Endereço no PLC
CT1	<i>Smart meter</i> associado ao ponto de carregamento 1	%I11.7
CT2	<i>Smart meter</i> associado ao ponto de carregamento 2	%I11.6
CT3	<i>Smart meter</i> associado ao ponto de carregamento 3	%I11.5
CT4	<i>Smart meter</i> associado ao ponto de carregamento 4	%I11.4

Na Tabela 5.3 são apresentadas as variáveis de saída digitais utilizadas para que seja possível controlar os contactores de potência associados aos pontos de carregamento dos postos e os leds que se encontram nos pontos de carregamento e que servem de informação aos utilizadores se o ponto de carregamento se encontra ligado ou desligado.

Tabela 5.3 - Variáveis de saída digitais utilizadas.

Saídas Digitais (%Q)	Descrição	Endereço no PLC
K1	Contactador associado ao ponto de carregamento 1	%Q5.7
K2	Contactador associado ao ponto de carregamento 2	%Q5.6
K3	Contactador associado ao ponto de carregamento 3	%Q5.5
K4	Contactador associado ao ponto de carregamento 4	%Q5.4
GREEN_POSTO1	Led 'LIGADO' associado ao ponto de carregamento 1	%Q6.7
RED_POSTO1	Led 'DESLIGADO' associado ao ponto de carregamento 1	%Q6.6
GREEN_POSTO2	Led 'LIGADO' associado ao ponto de carregamento 2	%Q6.5
RED_POSTO2	Led 'DESLIGADO' associado ao ponto de carregamento 2	%Q6.4
GREEN_POSTO3	Led 'LIGADO' associado ao ponto de carregamento 3	%Q.3
RED_POSTO3	Led 'DESLIGADO' associado ao ponto de carregamento 3	%Q6.2
GREEN_POSTO4	Led 'LIGADO' associado ao ponto de carregamento 4	%Q6.1
RED_POSTO4	Led 'DESLIGADO' associado ao ponto de carregamento 4	%Q6.0

Na Tabela 5.4 são apresentadas as variáveis de controlo criadas para que se consiga realizar a programação necessária sem erros. Para isso, foi criada a variável “Estado” que permite saber a qualquer momento em que estado é que o *software* se encontra e a variável “*First_scan_ResetReader*” que permite ao *software* saber se é a primeira vez que está a entrar no estado de reset do leitor RFID.

Tabela 5.4 - Variáveis de controlo utilizadas.

Variáveis de Controlo	Descrição	Endereço no PLC
Estado	Estado em que o <i>software</i> se encontra	%MW0
First_scan_ResetReader	Variável de entrada no estado de reset do leitor RFID	%M2.0

Após definir todas as variáveis de entrada e saída necessárias, procedeu-se à criação do *software* de controlo. A estrutura de programação e organização do *software* foram implementadas de acordo com a execução lógica. Como o funcionamento da unidade de controlo (PLC) consiste na constante realização do processo de *scan* em *loop* infinito (devidamente explicado no Capítulo 3), as configurações e partes do *software* mais importantes foram implementadas de acordo com a sua prioridade.

A estrutura adotada para o *software* consiste em 6 estados que correspondem a 6 sub-rotinas com funções distintas. Com isto é possível tornar o *software* modular e flexível, permitindo que os estados sejam chamados a qualquer momento do *software*. Foi também utilizada uma biblioteca (*SIMATIC Ident*) disponibilizada pelo *TIA Portal* que contém funções já criadas para sistemas de identificação (Figura 5.10). Esta biblioteca apresenta dois tipos de estrutura: o *Ident profile* e os *Ident blocks*. O *Ident profile* é um bloco único e mais complexo que contém todos os comandos e funções dos sistemas RFID e sistemas de leitores óticos. Já os *Ident blocks* representam uma interface simplificada do *Ident profile* pois cada bloco contém apenas um comando do *Ident profile*.

Name	Description
<ul style="list-style-type: none"> ▼ SIMATIC Ident <ul style="list-style-type: none"> Read Read_MV Reset_Reader Set_MV_Program Write ▶ Status blocks ▶ Advanced blocks ▶ Reset blocks 	<ul style="list-style-type: none"> Read out user data Read out read result of the optical reader Reset reader Change the program of the optical reader (...) Write user data

Figura 5.10 - Biblioteca *SIMATIC Ident*.

Os *Ident blocks* são mais simples de programar e os parâmetros são mais intuitivos de atribuir. Para além disso, o *software* torna-se mais fácil de ler e ser percebido por outros técnicos. Como a utilização dos *Ident blocks* servia para cobrir todos os requisitos necessários para o *software* em questão, sem necessidade de recorrer ao *Ident profile*, optou-se então por utilizar a estrutura em blocos na programação. Os *Ident blocks* utilizados para a programação do sistema de controlo estão descritos na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Tipos de *Ident blocks* necessários para a programação do sistema de controlo.

Tipo de instruções / blocos	Nome do bloco utilizado	Descrição
Blocos básicos	<i>Read</i>	Estes blocos são utilizados com maior frequência e permitem fazer a programação e a comunicação com os restantes sistemas <i>Ident</i> . Têm funções como leitura de tags, escrita em tags e funções de reset (para alguns modelos de leitores).
	<i>Write</i>	
Blocos avançados	SET_ANT_RF300	Os blocos de extensão fornecem funções que são utilizadas com menos frequência nos sistemas <i>Ident</i> , tais como, funções de parametrização, funções de consulta de inventário/histórico, etc.
Blocos de Reset	Reset_RF300	Os blocos de redefinição são usados para uma inicialização segura dos sistemas <i>Ident</i> no caso do bloco básico <i>Reset_Reader</i> não ser suportado.

5.2. Software desenvolvido

O *software* desenvolvido será responsável por toda a gestão e controlo dos postos de carregamento solar para *e-bikes* através do envio de comandos de controlo aos diversos componentes do sistema de acordo com os dados e informações que recebe.

É importante referir que antes de o *software* entrar nos estados principais é chamada uma OB, designada *Startup OB*, que é executada uma única vez sempre que o CPU transita do modo de operação STOP para RUN. O bloco *Startup* é particularmente útil para ativar certas funções do *software* ou para carregar valores iniciais predefinidos que são essenciais para uma correta execução do *software*. Após completar este bloco, o *software* inicia a execução do ciclo *MAIN*, onde estão inseridos os estados do *software*. No caso prático deste projeto, o bloco *Startup* é utilizado para que no arranque do PLC (RUN) os contadores de energia associados aos pontos de carregamento sejam redefinidos com um valor inicial zero.

Na Figura 5.11 é possível observar um fluxograma da estrutura geral do funcionamento do *software* de forma cíclica pelos principais estados. O ciclo principal de funcionamento inicia-se com uma redefinição (reset) ao leitor RFID, realizada no Estado 0. De seguida, o *software* transita para o Estado 1 onde espera pela presença de potenciais utilizadores. Neste estado, o *software* pode transitar para vários estados, dependendo da informação recebida pela unidade de controlo.

Após realizar a leitura de um cartão RFID, o *software* transita para o Estado 2, onde verifica se o utilizador pertence à base de dados. Se o utilizador for devidamente identificado, o *software* transita para o Estado 4, onde aguarda pela conexão de uma *e-bike* num dos pontos de carregamento e após ser estabelecida, o *software* regressa ao Estado 1.

O *software* transita para o Estado 3 de 60 em 60 segundos, onde verifica a contagem do consumo energético feita pelos *smart meters*. Após a execução deste estado, o *software* transita para o Estado 5 onde realiza a gravação dos dados necessários num ficheiro de relatório de dados (*DataLog*).

No caso de existir alguma falha na leitura dos cartões RFID, o *software* retorna ao Estado 0, onde efetua sempre um reset ao leitor RFID, apagando os erros registados e colocando-o de novo pronto a executar as suas funções. De seguida serão explicadas detalhadamente as funções que cada um dos estados desempenha no *software* desenvolvido.

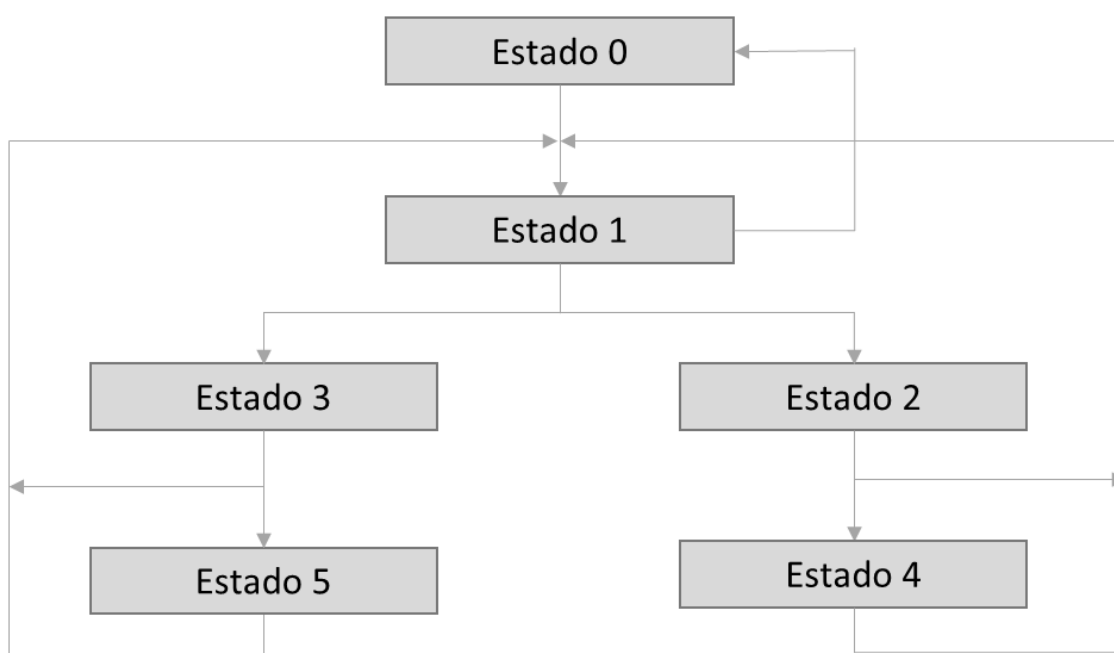


Figura 5.11 - Fluxograma geral do *software* desenvolvido para o sistema de controlo e monitorização dos postos de carregamento solar de *e-bikes*.

Estado 0 - Este estado é responsável por realizar a inicialização das variáveis de configuração dos módulos, nomeadamente do leitor RFID, onde é feito um reset, colocando-o num estado operacional. Se for a primeira vez que o *software* executa este estado (*First_scan_ResetReader* = 1), o *software* cria o ficheiro de *DataLog* e de seguida é executado o bloco disponibilizado na biblioteca *SIMATIC*, apresentada na Tabela 5.5, nomeadamente o bloco *RESET_RF300*. No caso de não ser a primeira vez que o *software* entra neste estado (*First_scan_ResetReader* = 0), não existe a criação de um novo ficheiro de *DataLog* e o *software* segue para a execução do bloco de reset.

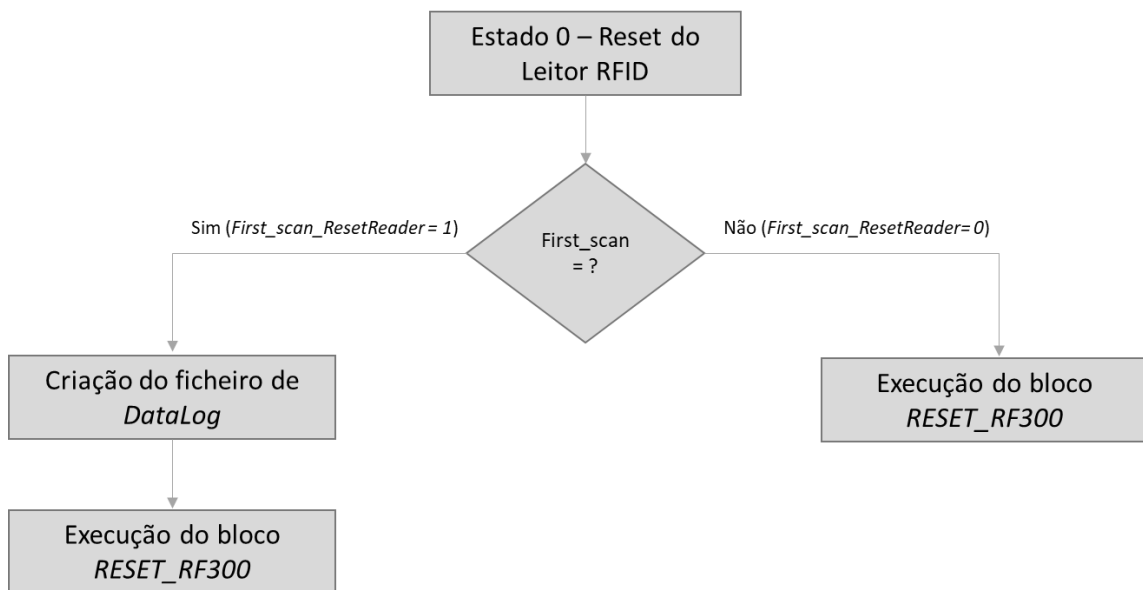


Figura 5.12 - Fluxograma do funcionamento do Estado 0.

Estado 1 - Neste estado o *software* coloca o leitor RFID num estado de leitura e aguarda pela presença de um potencial utilizador num dos pontos de carregamento. No caso de algum utilizador se identificar através do cartão RFID (*Read.Presence* = 1) o *software* executa o bloco *READ* e transita para o Estado 3. Caso contrário, a cada 60 segundos o *software* transita para o Estado 2 (*Read.Presence* = 0).

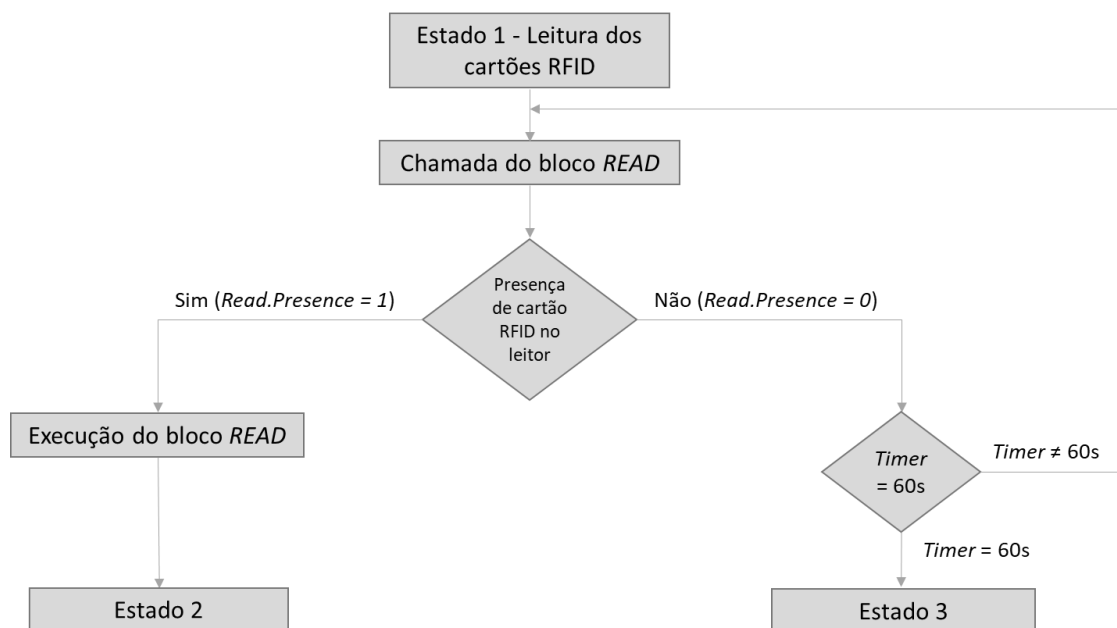


Figura 5.13 - Fluxograma do funcionamento do Estado 1.

Estado 2 - Este estado é ativado na presença de um potencial utilizador. Este estado é designado de *WhiteList* e é responsável por verificar se o utilizador pertence à base de dados de utilizadores previamente autorizados para efetuar o carregamento. Se o utilizador for encontrado na base de dados é autorizado a proceder ao carregamento da sua *e-bike* e o *software* transita para o Estado 4. No caso de o utilizador não pertencer à base de dados o *software* não desbloqueia nenhum dos pontos de carregamento e retorna ao Estado 1, onde aguarda pela presença de um novo potencial utilizador.

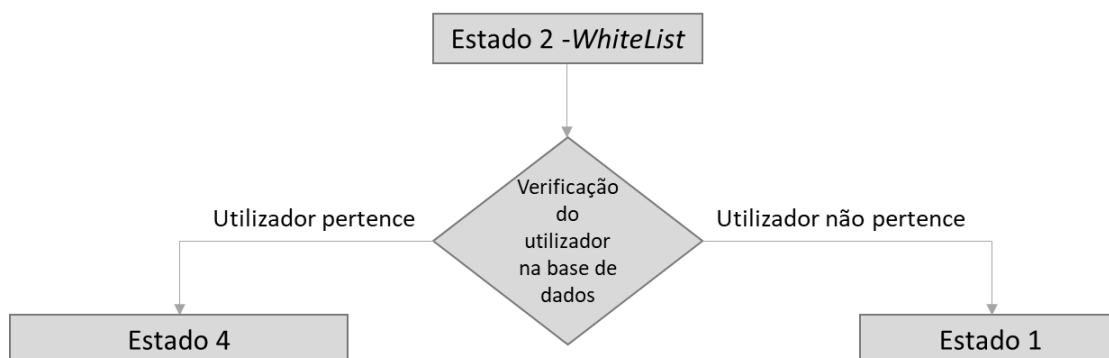


Figura 5.14 - Fluxograma do funcionamento do Estado 2.

Estado 3 - Este estado realiza a leitura do consumo de energia nos vários pontos de carregamento através dos *smart meters*. Sempre que é realizada uma leitura, o valor é comparado com o valor lido anteriormente. Se o valor atual lido for maior que o valor anterior (Valor atual > Valor lido anteriormente), significa que o processo de carregamento ainda não foi terminado e então o *software* retorna ao Estado 1. Por outro lado, se o valor atual for igual ou menor que o valor anterior lido (Valor atual ≤ Valor anterior), significa que o carregamento

está concluído ou que a *e-bike* foi removida do ponto de carregamento. Nesta situação, o *software* desliga o contactor associado ao ponto de carregamento e liga o led vermelho que representa que o ponto de carregamento se encontra desligado ($RED_POSTO = 1$), e transita depois para o Estado 5.

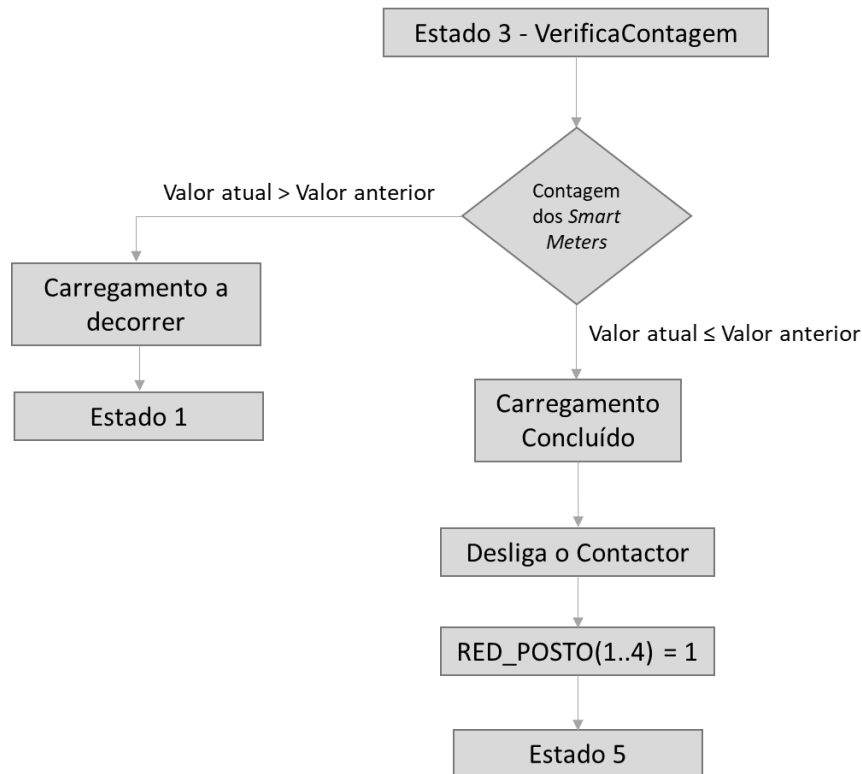


Figura 5.15 - Fluxograma do funcionamento do Estado 3.

Estado 4: Neste estado, o *software* aguarda pela conexão de uma *e-bike* a um ponto de carregamento. Se a conexão não for realizada ($Presence = 0$) durante o período estabelecido (60 segundos), o *software* retorna ao Estado 1. Caso contrário, se a conexão for estabelecida dentro do tempo estabelecido ($Presence = 1$), o contactor de potência é ativado e no ponto de carregamento é ligado o led verde que informa o utilizador que o ponto de carregamento se encontra a carregar a *e-bike*.

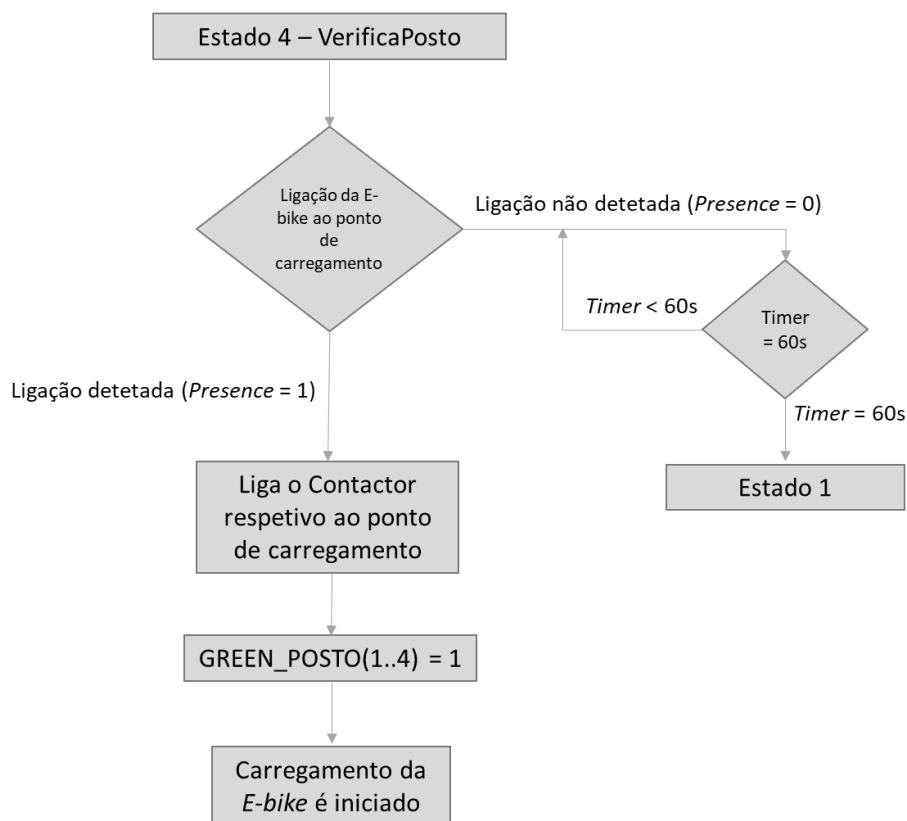


Figura 5.16 - Fluxograma do funcionamento do Estado 4.

Estado 5: Neste estado, todos os parâmetros associados ao processo de carregamento, como tempo de carregamento, nome do utilizador e dia e hora de carregamento, são guardados num ficheiro de relatório de dados (*DataLog*). Este ficheiro é criado no Estado 0, quando o *software* arranca e é depois guardado em formato .csv (Excel) e disponibilizado na página *web* para consulta futura.

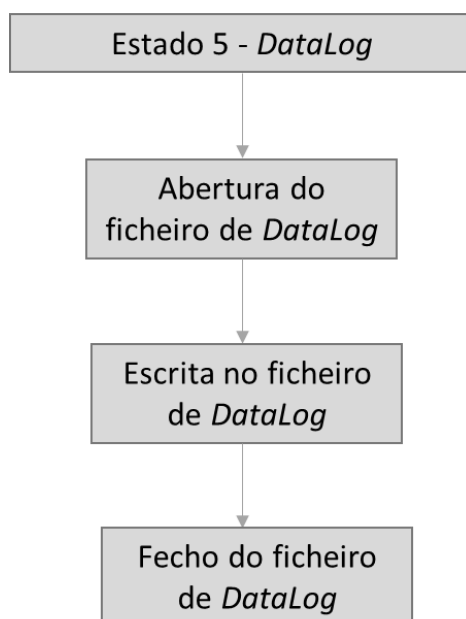


Figura 5.17 - Fluxograma do funcionamento do Estado 5.

Para além dos estados explicados anteriormente, que são executados de forma cíclica através do funcionamento normal do PLC e do sistema em geral, existem outras sub-rotinas ou estados que podem ser chamados apenas quando são necessários, como é o caso da chamada da rotina para escrita de novos dados nos cartões RFID dos utilizadores, cujo fluxograma é representado na Figura 5.18.

Para aceder a este estado é necessário introduzir um *login* de administrador que é inserido a partir da consola HMI. Depois de o leitor RFID estar pronto a escrever dados nos cartões, através da chamada do bloco *Write*, pertencente à biblioteca *SIMATIC*, o leitor após detetar a presença de um cartão RFID no seu raio de alcance, começa por fazer uma formatação aos dados presentes no cartão RFID e de seguida o utilizador pode escrever as informações desejadas para gravar nos cartões. Após o processo de escrita estar concluído, o *software* sai deste estado e retorna ao Estado 1 onde retorna ao funcionamento normal do sistema.

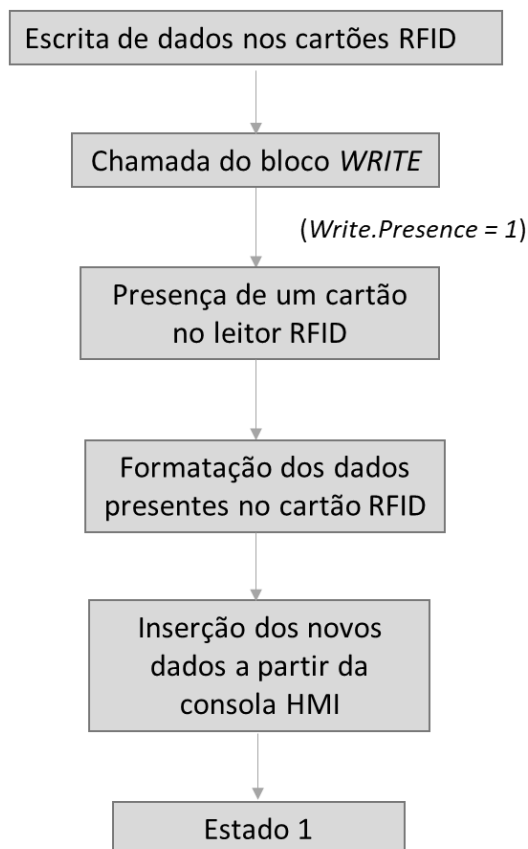


Figura 5.18 - Fluxograma do funcionamento do estado de escrita nos cartões RFID.

5.3. Consola HMI

De modo a evitar constrangimentos, a consola HMI deve ser compatível com o PLC utilizado. Por isso, a consola HMI escolhida para o projeto foi a *SIMATIC HMI KTP400* da Siemens, representada na Figura 5.19. Um fator importante a ter em consideração é a criação de perfis de segurança nas consolas HMI, para que pessoas não autorizadas não executem ações para as quais não tenham competência e ponham em causa o desempenho do sistema.

Embora um processo seja maioritariamente controlado pelo PLC, o utilizador/operador deve utilizar a consola HMI para monitorizar o processo ou intervir no processo em execução. As consolas HMI permite operar e monitorizar máquinas e instalações através das seguintes funções: Exibição dos processos; Operação dos processos; Alarmes de saída; Administração dos parâmetros do processo.



Figura 5.19 - Consola SIMATIC HMI KTP400.

A Tabela 5.6, mostra as principais características da consola HMI KTP400 instaladas nos quadros elétricos do sistema de controlo e monitorização.

Tabela 5.6 - Características funcionais da consola HMI KTP 400 [61]

Ecrã	Ecrã TFT 4" tátil
Elementos de controlo	4 teclas físicas configuráveis Teclados numérico e alfanumérico no ecrã
Tipo de Processador	ARM
Alimentação	24 VDC
Memória utilizável	10 MByte
Tipo de Ligação	PROFINET

O *software* da consola está dividido por menus de configuração e visualização e necessita que o utilizador esteja identificado como administrador ou operador do dispositivo (*login*). Caso contrário, algumas alterações não poderão ser efetuadas. Para a configuração e desenvolvimento das soluções de visualização, o *TIA Portal* possui como ferramenta integrante o *software SIMATIC WinCC*.

Esta integração simultânea com a aplicação de programação do elemento de controlo cria uma interface que permite a criação de vários diálogos interligados com o sistema global. São estes diálogos que permitem operar e monitorizar uma instalação, sendo constituídos por vários objetos configuráveis, tais como:

- Objetos operáveis, como por exemplo, janelas de alarme, botões ou campos de entrada e saída;
- Objetos que exibem valores, tal como vistas de tendências, barras, listas de utilizadores;

- Objetos de informação usados para descrever outros objetos e ecrãs, tais como, campos de texto ou campos gráficos;

O mapeamento do sistema e a exibição dos processos pela consola HMI são alcançados pela dinamização destes objetos. Esta dinamização pode ser implementada através de animações ou eventos. As animações encontram-se predefinidas no *TIA Portal* e são adaptadas aos requisitos dos projetos. Os objetos operáveis também reagem a certos eventos, como por exemplo, o clique do rato.

De modo a cumprir as especificações do projeto, desenvolveram-se vários ecrãs para a consola HMI anteriormente referida. A interface pretende ser minimalista, funcional e imersiva, de forma a diminuir a probabilidade de erro.

A interface permite a operação remota de todo o sistema, desde a visualização do estado dos postos de carregamento, à visualização e escrita de novos dados nos cartões RFID dos utilizadores.

É importante referir que os ecrãs da Figura 5.21 e 5.22 podem ser acedidos por qualquer utilizador/operador. No entanto o ecrã da Figura 5.23, que se destina a fazer a escrita de novos dados nos cartões RFID, apenas pode ser acedido depois de o utilizador se identificar no sistema (através de um *login* de administrador), para que não haja modificações dos dados de forma indesejada. Em todos os ecrãs está presente uma barra de navegação, no limite inferior dos ecrãs, que permite trocar e navegar através de todos os principais ecrãs da consola HMI, apresentada na Figura 5.20.

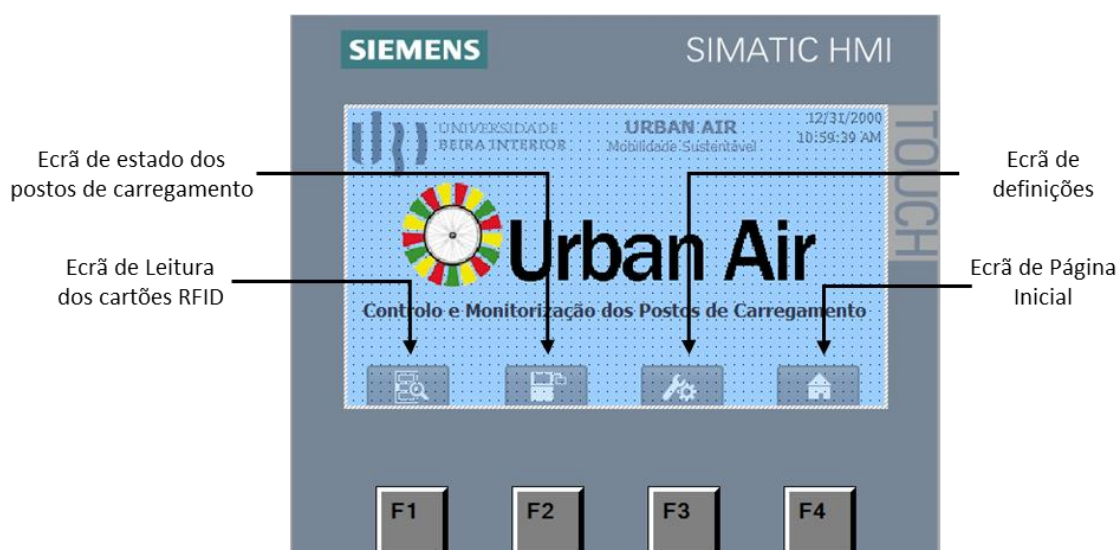


Figura 5.20 - Ecrã inicial e legenda dos botões de navegação.

A Figura 5.21 mostra o ecrã de leitura dos cartões RFID após a sua passagem pelos leitores. A informação é mostrada em formato ASCII para uma fácil interpretação dos dados. Neste ecrã é possível fazer um reset ao leitor no caso de existir alguma falha no sistema de controlo e de alterar para o ecrã de escrita de novos dados nos cartões RFID. Tanto o botão de “RESET” como o de “ESCRITA” apenas podem ser acedidos após a introdução de um *login* de administrador.

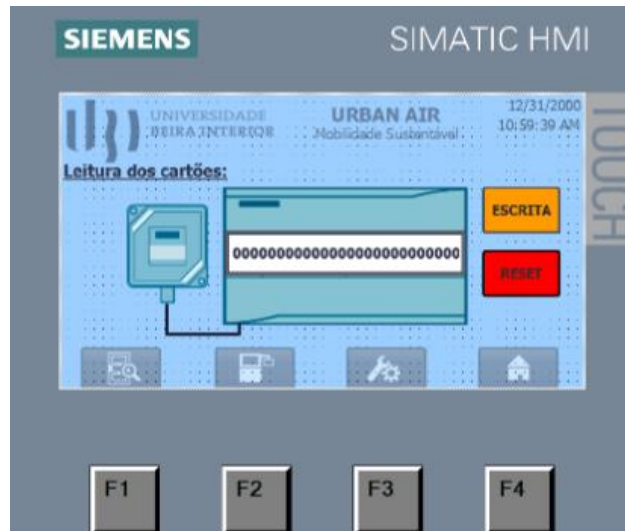


Figura 5.21 - Ecrã para visualização dos dados que se encontram nos cartões RFID.

A Figura 5.22 mostra o ecrã onde é possível observar em tempo real o estado dos postos de carregamento. Os leds que se encontram nas caixas dos pontos de carregamento, apresentados na Figura 4.7, são simulados neste ecrã e assim é possível saber quais os que se encontram em funcionamento e quais estão desligados.

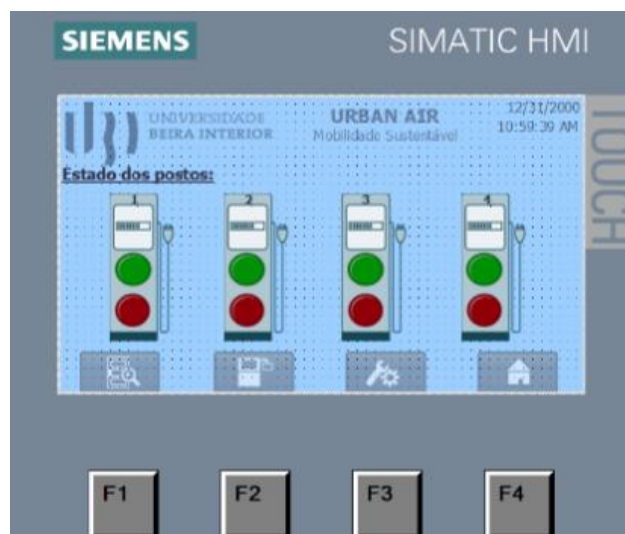


Figura 5.22 - Ecrã para visualização do estado dos postos de carregamento.

A Figura 5.23 apresenta o ecrã de escrita de novos dados nos cartões RFID, seja para a criação de novos utilizadores ou para a modificação de informações já presentes nos cartões. Como já foi referido este ecrã apenas pode ser acedido após a introdução de um *login* de administrador. Ainda neste ecrã são simulados dois leds que indicam a presença de um cartão no raio de leitura/escrita do leitor RFID e outro que indica a presença no caso de acontecer algum erro no processo de envio dos dados para os cartões.



Figura 5.23 - Ecrã para escrita de novos dados nos cartões RFID.

A Figura 5.24 mostra o ecrã das definições gerais do sistema. Aqui é possível ver o relatório de erros através do botão de ação “Diagnóstico SIMATIC PLC”, aceder às informações do projeto, através do botão “Info. Do Projeto”, onde são apresentadas informações do *software* instalado no PLC, a data e hora da última modificação, assim como o autor do mesmo. No botão “Info. Do Sistema” é possível ter acesso a um conjunto de informações relativas ao modelo dos dispositivos que estão ligados em rede, através do protocolo de comunicação PROFINET.



Figura 5.24 - Ecrã de acesso às definições e informações do *software*.

Capítulo 6

Conclusões

Este capítulo finaliza a dissertação e são enunciadas as principais conclusões do trabalho realizado.

6.1. Conclusões gerais

Os GEE são responsáveis pelo aumento da temperatura média do planeta que origina consequências diferenciadas e complexas, além de danos irreversíveis para a humanidade. Em Portugal, o gás com maior representatividade nos GEE é o CO_2 com cerca de 78% do total de emissões nacionais.

A globalização dos problemas ambientais foi a principal força indutora que obrigou os países a adotarem políticas de desenvolvimento sustentável, através do incentivo à utilização de energias renováveis e à substituição dos veículos de combustão interna por meios de transporte de mobilidade elétrica.

Neste novo paradigma da mobilidade inserem-se as bicicletas que são consideradas um dos veículos mais ecológicos e o facto de não ser necessário a detenção de registo de propriedade, seguro ou licença de condução, torna-as num veículo muito acessível na ótica dos utilizadores. No entanto situações adversas, tais como subidas, fazem com que os utilizadores optem por utilizar os veículos pessoais em detrimento da bicicleta para as deslocações diárias.

Assim as *e-bikes* têm emergido como uma nova forma de mobilidade sustentável em contexto urbano, apresentando um grande potencial de crescimento no futuro, com todas as vantagens a elas associadas. No entanto, a integração de qualquer tipo de VE na sociedade, como meio de transporte, exige novas infraestruturas e soluções de apoio ao carregamento.

Embora os VE sejam geralmente vistos como veículos não poluentes podem, no entanto, contribuir significativamente para emissões indiretas, dependendo da fonte de energia que utilizam para efetuar o seu carregamento. Face a isto, têm aparecido alguns projetos de postos de carregamento que utilizam fontes de energia renováveis, normalmente a energia PV, tornando os VE verdadeiramente livres de emissões. Estes postos de carregamento podem existir em praticamente qualquer lugar e até integrar a arquitetura das cidades.

Nesta dissertação foi apresentado e descrito o desenvolvimento de um sistema de controlo e monitorização de postos de carregamento solar para *e-bikes*. O trabalho desenvolvido serviu de apoio ao projeto “*URBAN_AIR - Melhoria do Ambiente Urbano e Redução da Poluição do ar através de soluções de Mobilidade Sustentável nas Cidades de Portugal e Espanha*”. Inicialmente foram instalados 4 postos de carregamento e foram distribuídas pelos estudantes da UBI 50 *e-bikes*.

O consórcio deste projeto transfronteiriço compreendeu um conjunto de entidades, nomeadamente a Universidade de Valladolid, CARTIF, GMV, a Entidade Regional de Energia de

Castela e Leão (EREN), a Agência Regional de Energia e Meio Ambiente do Centro, a Universidade da Beira Interior (UBI) e a empresa ENFORCE.

Os postos de carregamento solar para *e-bikes* foram instalados em locais que permitiram abranger os diversos espaços da UBI. As estruturas de cada posto de carregamento foram estudadas de forma a aproveitar a maior incidência de luz solar de acordo com o local onde foram instaladas.

A arquitetura escolhida para os postos de carregamento solar para *e-bikes* apresenta um controlo centralizado, permitindo uma gestão eficiente dos vários recursos aplicando um conjunto de restrições e prioridades predeterminadas. É constituída por várias unidades, nomeadamente: a produção e armazenamento da energia elétrica, a interligação com a rede elétrica e a unidade de controlo que permite realizar a gestão do sistema e atuar no circuito de potência, a partir de um dispositivo versátil, robusto e modular, o PLC.

A unidade de produção de energia de cada posto de carregamento solar para *e-bikes* é constituída por um *array* de painéis PV com 72 células. A unidade de armazenamento de energia é composta por um conjunto de 2 baterias de iões-Lítio da marca *Pylontech* com uma tensão nominal de 48 V e uma capacidade nominal de 2.4kWh. Já a unidade de interligação com a rede elétrica é constituída por um inversor híbrido que permite a utilização da energia elétrica gerada pelos painéis PV, a unidade de armazenamento ou a utilização da rede elétrica quando a fonte de energia renovável não se encontra disponível ou é insuficiente.

Para o desenvolvimento do sistema de controlo e monitorização dos postos de carregamento solar para *e-bikes*, conceptualmente, este, pode ser dividido em três secções principais: o circuito de controlo é responsável por estabelecer as ordens necessárias para a realização da tarefa em função da informação que recebe à entrada; o circuito de potência que basicamente é o sistema a automatizar através do circuito de controlo e a interface homem-máquina que permite ao utilizador/operador interagir com o sistema de forma intuitiva.

A ferramenta computacional utilizada para o desenvolvimento do *software* foi o *TIA Portal* da Siemens com adição de uma ferramenta designada *WinCC* que permitiu a programação da interface homem-máquina. Esta escolha deveu-se ao facto de todos os dispositivos utilizados para o controlo do sistema serem da família *SIMATIC* da Siemens. Todos estes dispositivos foram interligados através do protocolo de comunicação PROFINET.

A estrutura de programação e organização do *software* foi implementada de acordo com uma execução lógica que consiste numa sequência de estados/sub-rotinas com funções distintas. O *software* é responsável por toda a gestão e controlo dos postos de carregamento solar para *e-bikes* através do envio de comandos de controlo aos diversos componentes do sistema, de acordo com os dados e informações que recebe.

O *software* inicia-se com um *reset* ao leitor RFID, ficando à espera da presença de um potencial utilizador através do seu cartão RFID. O utilizador só terá acesso a um ponto de carregamento para *e-bikes* se for devidamente identificado na base de dados de utilizadores previamente definidos.

Após o carregamento de uma *e-bike* terminar, o *software* permite desligar o ponto de carregamento e guardar todos os parâmetros associados ao processo de carregamento num ficheiro de relatório de dados (*DataLog*). Este relatório de dados possui informação relativamente ao tempo de carregamento, nome do utilizador e dia e hora de carregamento.

O *software* permite ainda alterar os dados dos cartões RFID, que apenas pode ser realizado por utilizadores/operadores que tenham um *login* de acesso para estas funções.

Para além disso, o *software* contempla uma interface homem-máquina (consola HMI), de forma a permitir uma interatividade entre os utilizadores/operadores e o sistema. A consola HMI utilizada permite o controlo e a monitorização em tempo real de todo o sistema, sendo que algumas funções apenas podem ser acedidas após a introdução de um *login* de administrador.

Revendo o trabalho efetuado é possível afirmar que os objetivos essenciais propostos para o desenvolvimento do projeto foram cumpridos com sucesso. O sistema implementado permite realizar o controlo e monitorização dos postos de carregamento solar para *e-bikes* de forma autónoma e sem erros.

Em suma, espero que o projeto desta dissertação proporcione uma maior mobilidade sustentável por parte da comunidade universitária através da utilização e carregamento de *e-bikes* com recurso a energias renováveis.

Referências Bibliográficas

- [1] IPCC, “2014: Climate Change 2014: Synthesis Report.,” *Contrib. Work. Groups I, II III to Fifth Assess. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.*, p. 151, 2015.
- [2] “Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050,” 2019. [Online]. Available: <https://www.portugal2020.pt/content/roteiro-para-neutralidade-carbonica-2050>. [Accessed: 07-Sep-2019].
- [3] D. de A. C. (DCLIMA), “Memorando sobre emissões de CO₂e elaborado com base na submissão para a CE (Dec. 525/2013/CE),” 2019.
- [4] A. Poullikkas, “Sustainable options for electric vehicle technologies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 41, pp. 1277-1287, 2015.
- [5] Auto+, “Diferença entre carros híbridos e híbridos plug-in?,” 2019. [Online]. Available: https://www.sapo.pt/noticias/motores/diferenca-entre-modelos-hibridos-e-hibridos_5b1006aca22d506f7f4a3a20. [Accessed: 21-Oct-2019].
- [6] D. P. Birnie, “Solar-to-Vehicle (S2V) Systems for Powering Commuters of the Future,” *J. Power Sources*, vol. 186, no. 2, pp. 539-542, 2009.
- [7] P. Denholm and R. M. Margolis, “Evaluating the limits of solar photovoltaics (PV) in traditional electric power systems,” *Energy Policy*, vol. 35, pp. 2852-2861, 2007.
- [8] I. E. Agency, “Global EV Outlook 2019,” *Electr. Veh. Initiat.*, 2019.
- [9] M. S. C. Ruxa, “Integração da Bicicleta na Mobilidade Urbana - Análise de Casos de Estudo e Ensinamentos para Portugal,” Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [10] BCSD Portugal, “Sustentabilidade.” [Online]. Available: <https://www.bcsdportugal.org/sustentabilidade/sustentabilidade>. [Accessed: 02-Dec-2019].
- [11] CONEBI, “European Bicycle Market 2017 Edition,” 2017.
- [12] “What’s the difference between pedelecs and e-bikes?” [Online]. Available: <https://www.electric-bicycle-guide.com/pedelec.html>. [Accessed: 20-Oct-2019].
- [13] E. Fishman and C. Cherry, “E-bikes in the Mainstream: Reviewing a Decade of Research,” *Transp. Rev.*, vol. 36(1), pp. 72-91, 2016.
- [14] D. da Republica, “Código da Estrada Lei n.º 72/2013 - Artigo 112.º.” pp. 52-53, 2013.
- [15] K. Silverstein, “Li-ion Segment Driving Global E-Bike Growth,” 2016. [Online]. Available: <https://www.environmentalleader.com/2016/08/li-ion-segment-driving-global-e-bike-growth/>. [Accessed: 09-Nov-2019].
- [16] Relion, “7 Facts Comparing Lithium-ion With Lead Acid Batteries,” 2015. [Online]. Available: <https://relionbattery.com/blog/7-facts-comparing-lithium-ion-with-lead-acid-batteries>. [Accessed: 18-Sep-2019].
- [17] L. N. Demeter, V. Turcin, M. Hanek, G. Vataselu, and B. Zorlescu, “Modular solution for charging the batteries of electric bikes parked on public domain,” in *2017 Electric Vehicles International Conference (EV)*, 2017, pp. 1-5.
- [18] U. European, “European Green Vehicles Initiative PPP : Use of new energies in road transport,” pp. 1-2, 2013.
- [19] T. F. R. P. F. Marques, “Projeto de uma Estação de Carregamento Solar para Bicicletas Elétricas,” Universidade de Lisboa, 2019.
- [20] E. Goldin, L. Erickson, B. Natarajan, G. Brase, and A. Pahwa, “Solar powered charge stations for electric vehicles,” vol. 33, no. 4, pp. 1298-1308, 2014.

- [21] Kyocera, “KYOCERA Starts Supplying Solar-Powered Recharging Stations for Electric Bicycles,” 2010. [Online]. Available: https://global.kyocera.com/news-archive/2010/1102_sztz.html. [Accessed: 05-Jul-2019].
- [22] “Advansolar Mobility.” [Online]. Available: <http://www.advansolar.com/>. [Accessed: 07-Aug-2019].
- [23] “Zed Dock / Solar Tree.” [Online]. Available: <https://www.zedfactory.com/zed-roof>. [Accessed: 09-Oct-2019].
- [24] SEAC, “Solar Mobility Hub.” [Online]. Available: <https://www.seac.cc/en/projects/#mobilitycentre>. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [25] D. Inc., “Daymak Launches New Special Edition EC1 Featuring Built in Wireless Charging Technology; Plans to Roll Out This Technology on Certain E-Bike Models,” 2017. [Online]. Available: <https://www.prnewswire.com/news-releases/>.
- [26] “E-move charging station,” 2009. [Online]. Available: <https://www.domusweb.it/en/design/2009/09/02/e-move-charging-station.html>. [Accessed: 03-Oct-2019].
- [27] S. D. Lab, “Electric Drive Solar Kiosk,” 2017. [Online]. Available: <http://www.soldesignlab.com/work/99-stellavista>. [Accessed: 20-Oct-2019].
- [28] E. University of Tennessee, “cycleUshare.” [Online]. Available: <http://cycleushare.utk.edu/cycleushare/Home.html>.
- [29] “UT Campus gets Solar powered E-bike charging station,” 2017. [Online]. Available: <https://www.utwente.nl/en/news/2017/8/46553/ut-campus-gets-solar-powered-e-bike-charging-station>. [Accessed: 09-Oct-2019].
- [30] P. S. F. A. Oliveira, “Estudo de Soluções Energéticas para o Setor Agroindustrial,” Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2017.
- [31] Efectoled, “Inversores Híbridos.” [Online]. Available: <https://www.efectoled.com/pt/4911-comprar-inversores-hibridos>. [Accessed: 12-Oct-2019].
- [32] Imeon Energy, “Self Use Smart Grid Inverter Imeon 3.6.” 2014.
- [33] R. V. P. Figueiredo, “Potencial solar de parques de estacionamento para carregamento de veículos elétricos,” Universidade de Lisboa, 2015.
- [34] Jinko Solar, “Eagle 72 - Jinko Solar,” 2008. [Online]. Available: [https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-335PP-72-J4\(Draft\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-335PP-72-J4(Draft).pdf). [Accessed: 10-Sep-2019].
- [35] B. J. R. da Silva, “Desenvolvimento de um Posto de Carregamento Lento com BMS e Interface com o Cockpit para o CEPIUM,” Universidade do Minho, 2013.
- [36] S. F. Tie and C. Wei, “A review of energy sources and energy management system in electric vehicles,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 20, pp. 82-102, 2013.
- [37] J. Dixon and S. M. Ieee, “Energy Storage for Electric Vehicles,” *2010 IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, pp. 20-26, 2010.
- [38] A. Silva, “Desenvolvimento de Materiais de Cátodo para Baterias de Íon Lítio à base de Polímeros Condutores com Dopagem Pseudo- Catiônica,” Universidade de Lisboa, 2015.
- [39] “Pylontech US2000.” [Online]. Available: <http://www.pylontech.com.cn/>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [40] N. S. Martins, “Gestão e Monitorização da rega em produção agrícola com base em Autómatos Programáveis,” Universidade da Beira Interior, 2016.
- [41] C. F. A. Calmeiro, “Tolerância a falhas com base em comutação de controladores - Implementação em autómatos programáveis,” Universidade Nova de Lisboa, 2013.
- [42] Siemens, “S7-1500 / S7-1500F Technical Data.” 2015.

- [43] Siemens, “SIMATIC S7-1500 Automation System System Manual,” 2013.
- [44] Siemens, “SIMATIC NET PROFIBUS Network Manual.” 2009.
- [45] A. D. da C. Pinheiro, “Sistema de Automação e Gestão Visual da Fábrica,” Universidade de Aveiro, 2016.
- [46] P. Brasil, “PROFINET - Descrição do Sistema Tecnologia e Aplicação,” São Paulo.
- [47] Siemens, “RFID Systems - RF180C Communication Module Operating Instructions.” pp. 1-66, 2012.
- [48] NControl, “O que é RFID?,” 2015. [Online]. Available: <https://www.ncontrol.com.pt/o-que-e-rfid.html>. [Accessed: 08-Aug-2019].
- [49] V. Hahanov, I. Filippenko, and L. Lavrova, “Contemporary RFID Systems and Identification Problems,” in *2007 9th International Conference-The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics*, pp. 343-344.
- [50] Simenes, “Siemens MDS D100 Data sheet.” 2019.
- [51] T. D. P. Mendes, “Monitorização e Controlo Inteligente de Consumos Energéticos em Habitações,” Universidade da Beira Interior, 2013.
- [52] K. S. Pedro, “Modelização do Arco Elétrico em Disjuntores para Análise de Transitórios Eletromagnéticos,” Técnico Lisboa, 2017.
- [53] A. Electronics, “Contactor - O que é, como funciona, tipos e aplicações.” [Online]. Available: <https://athoselectronics.com/contator/>. [Accessed: 20-Nov-2019].
- [54] P. S. N. Lopes, “Interface Homem-Máquina para aplicações de automação residencial,” Universidade de Aveiro, 2013.
- [55] M. de M. Oliveira, “Comando à distância de sistema doméstico,” Instituto Politécnico de Viseu, 2016.
- [56] K. Heinz-John and M. Tiegelkamp, *IEC61131-3: Programming Industrial Automation Systems*, 2ª Edição. Springer, 2009.
- [57] M. R. Rocha, “Sincronismo de eixos com o PLC Siemens S7-1500,” Universidade do Porto, 2018.
- [58] Siemens, “Programming Guideline for S7-1200/S7-1500.” 2014.
- [59] T. P. Patrício, “Sistema automatizado de inserção de terminais em conectores de cablagens,” Universidade da Beira Interior, 2013.
- [60] L. A. Bryan and E. . Bryan, *Programmable Controllers Theory and Implementation*, 2ª Edição. Atlanta, USA: Industrial Text Company, 1997.
- [61] Siemens, “Datasheet - SIMATIC HMI KTP400,” pp. 1-9, 2015.