

Dimensionamento de um sistema de carregamento de baterias de veículos elétricos

Mário Jorge Costa Faria

Orientação científica :

Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Doutor Amadeu Duarte da Silva Borges



Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

para obtenção do grau de

MESTRE

em Engenharia de Energias Renováveis, de acordo com o disposto no
Regulamento Geral dos Ciclos de Estudo Conducentes ao Grau de Mestre na
UTAD. DR, 2.^a série – N.º 133 – Regulamento n.º 658/2016 de 13 de julho de 2016

Orientação Científica :

Doutor Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Professor Associado c/Agregação do
Departamento de Engenharias da Escola de Ciências e Tecnologia
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Doutor Amadeu Duarte da Silva Borges

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

”O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”

(Winston Churchill)

”Eu tentei 99 vezes e falhei, mas na centésima tentativa eu consegui. Nunca desista dos seus objetivos mesmo que esses pareçam impossíveis, a próxima tentativa pode ser vitoriosa”

(Albert Einstein)

À minha família, amigos e namorada

Dimensionamento de um sistema de carregamento de baterias de veículos elétricos

Mário Jorge Costa Faria

Submetido na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro
para o preenchimento dos requisitos parciais para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Energias Renováveis

Resumo — As metas impostas com vista à redução da emissão de gases com efeito de estufa para a atmosfera têm contribuído para o desenvolvimento do setor elétrico dos transportes. A venda de veículos elétricos (VE) tem aumentado na maior parte dos países desenvolvidos, criando oportunidades para o desenvolvimento de novas tecnologias que visem o aprimoramento das redes de transporte.

Portugal, tal como os restantes países, também tem acompanhado o crescimento do mercado de VE, mas é necessário a criação de condições para que a aposta nos VE continue a crescer de forma sustentável. Para isso é preciso que haja uma aposta continuada na criação de condições de carregamento de veículos elétricos para os utilizadores.

Tendo em conta o panorama energético nacional, o uso das energias renováveis terão um papel preponderante no setor elétrico dos transportes e poderão contribuir de forma efetiva para a criação de novos pontos de recarregamento.

Esta dissertação tem o objetivo de estudar e conceber um sistema de carregamento de VE num edifício escolar público, aproveitando o potencial energético renovável disponível, de modo a que o sistema seja o mais autónomo possível contribuindo para satisfazer as necessidades energéticas aos VE dos seus utilizadores.

Palavras-Chave: veículos elétricos; sistema de carregamento; produção de energia; energia renovável.

Design of an electric vehicle battery charging system

Mário Jorge Costa Faria

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

Abstract — Reducing the release of greenhouse gases into the atmosphere has contributed to the development of the electric transport sector. The sale of electric vehicles (EV) has increased in most developed countries, creating opportunities for the development of new technologies aimed at improving transportation networks.

Portugal, like the other countries, has also been following the growth of the EV market, but it is necessary to create conditions so that the bet on EVs continues to grow in a sustainable way. This requires a continued commitment to the creation of recharging conditions for EV users.

Taking into account the national energy landscape, the use of renewable energy plays a major role in the electrical transport sector and can contribute effectively to the creation of new recharge points.

This dissertation aims to study and design a VE charging system in a public school building, taking advantage of the available renewable energy potential, so that the system is as autonomous as possible contributing to meet the energy needs of the VE of its users.

Keywords: electrical vehicles; charging system; energy production; renewable energy.

Agradecimentos

Dedico desde já este espaço a todas as pessoas que fizeram parte do meu percurso académico.

Agradeço ao Professor Raul Morais e ao Professor Amadeu Borges pela orientação, conhecimento e apoio dado ao longo deste trabalho.

Agradeço também a todos os professores que me transmitiram os ensinamentos necessários para que este dia chegasse.

Chego ao fim do meu percurso académico, aquele que foi o primeiro grande escadario da minha vida, no qual participei com grande entusiasmo e do qual levo recordações para toda a minha vida. Quem esteve ao meu lado, sabe que, apesar de tudo, foi com grande sacrifício que aqui cheguei. Houve momentos menos bons, grandes precalços, mas a verdade é que foram esses momentos que me impulsionaram até este dia.

Quem vive a Universidade sabe que o fim chega sempre, mas nunca é fácil. É preciso lutar, encarar com humildade todas as etapas, viver cada dia com paixão e vontade e, sobretudo, saber aceitar os erros que cometemos. Daqui levamos o bom e o menos bom, mas o essencial é que levamos o melhor que a vida nos dá, e é isso que eu levo: vida!

Ao longo de todos estes anos, cheios de altos e baixos, houve pessoas que me acompanharam sempre, amigos com quem vivi as melhores experiências da minha vida, e a eles agradeço por tudo e peço desculpa se alguma vez vos falhei.

De uma maneira mais pessoal, agradeço aos que entraram e saíram comigo, são eles o Zé e o Pantene, que partilharam todos os dias deste percurso comigo. Agradeço também ao Fábio Carvalho, ao João Matos, ao Filipe Costa, ao pessoal do café (Aka Lobos do Marão) e aqueles que de maneira mais ou menos pontual fizeram parte disto.

Agradeço à minha família por estarem sempre do meu lado, mas agradeço sobretudo aos meus pais, porque sem eles nada disto era possível. Sei que nem sempre fui o mais politicamente correto durante estes anos, mas sempre fui aquilo que vocês me ensinaram a ser, falo da humildade que sempre me transmitiram e juro que dei o melhor para nunca vos desapontar. Peço perdão se alguma vez o fiz. A eles, obrigado por tudo!

Por fim, agradeço à Ana Raquel Lopes, a pessoa que mais me acompanhou, aquela que nunca me deixou e que foi a pessoa mais importante de todos estes anos. Foste o melhor que me aconteceu e vou estar sempre em dívida contigo, porque sinto que nunca retribuí tudo aquilo que me deste. És a melhor namorada do mundo, mas acima de tudo és a melhor amiga que alguma vez poderia ter. Obrigado por tudo o que me deste, obrigado por fazeres de mim melhor pessoa e obrigado por nunca me teres abandonado em momento algum, por estares sempre lá quando precisei e por seres o exemplo que sempre quis ser.

Mário Jorge Costa Faria

Índice geral

Resumo	vii
<i>Abstract</i>	ix
Agradecimentos	xi
Índice de tabelas	xvii
Índice de figuras	xix
Acrónimos	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento do trabalho	1
1.2 Motivação e objetivos	3
1.3 Organização do documento	3
2 Fundamentos gerais da adoção de veículos elétricos	5
2.1 Panorama geral da adoção de veículos elétricos	5
2.1.1 Mercado global de veículos elétricos	7
2.1.2 O mercado europeu de veículos elétricos	9
2.1.3 O mercado nacional de veículos elétricos	10
2.2 Tendências e constrangimentos no uso de VE	12
2.3 Pontos e técnicas de carregamento	17
2.3.1 Pontos de carregamento	17

2.3.2	Tipos de pontos de carregamento	18
2.3.3	Instalação de pontos de carregamento	20
2.4	Balço energético e uso de energias renováveis	21
2.5	Cenários de utilização	26
2.5.1	Sistemas de energias renováveis	27
2.5.2	Sistemas de carregamento sem fios	28
2.5.3	Sistemas de acoplamento para veículos pesados	31
3	Tipos de Veículos Eléctricos	35
3.1	Motorização dos veículos eléctricos	35
3.1.1	Automóveis	36
3.1.2	Bicicletas	42
3.2	Normas de utilização	44
3.2.1	Tipos de conexão de VE	44
3.3	Especificações dos motores eléctricos	47
3.4	Legislação aplicável	49
3.4.1	Legislação Nacional	49
3.4.2	Legislação Europeia	51
4	Sistemas de carregamento	53
4.1	Sistemas de carregamento: topologias e funcionamento	54
4.1.1	Sistemas de carregamento de nível 1 e 2	55
4.1.2	Sistemas de carregamento nível 3	56
4.2	Produção de energia	57
4.2.1	Sistema fotovoltaico	58
4.2.2	Sistemas eólicos	60
4.2.3	Limitações dos sistemas de produção de energia renovável	61
4.3	Produção de energia para sistemas de carregamento	62
4.3.1	Exemplo de funcionamento de um sistema de carregamento	62
4.4	Casos de estudo	65
5	Conceção de um sistema de carregamento de VE num campus universitário	67
5.1	Análise de requisitos	67
5.1.1	Sistema de produção fotovoltaico	68
5.1.2	Sistema de produção eólico	69
5.1.3	Sistema de armazenamento de energia	71
5.1.4	Carregador de VE	73
5.2	Necessidades energéticas do sistema e solução de produção autónoma de energia	76
5.2.1	Necessidades energéticas	76

5.2.2	Solução de sistema autónomo de produção de energia	77
5.3	Casos de estudo do sistema de carregamento	79
5.3.1	Caso 1: Alimentação a partir do sistema de produção	81
5.3.2	Caso 2: Alimentação a partir do sistema de produção com <i>backup</i> da energia da rede	82
5.3.3	Caso 3: Alimentação a partir do sistema de produção com <i>backup</i> da energia da rede e venda do excedente	83
5.3.4	Caso 4: Alimentação a partir do sistema de produção e arma- zenamento do excedente	84
5.3.5	Caso 5: Alimentação a partir do sistema de produção com <i>backup</i> da energia rede e armazenamento do excedente	85
5.3.6	Caso 6: Alimentação a partir do sistema de produção com <i>backup</i> da energia rede e armazenamento e venda do excedente	86
5.4	Análise do potencial energético	87
5.4.1	Potencial fotovoltaico	87
5.4.2	Potencial eólico	92
5.5	Análise económica	95
5.5.1	Comparação económica dos casos de estudo	98
6	Conclusão e trabalho futuro	99
	Referências bibliográficas	101

Índice de tabelas

2.1	Características dos carregadores de veículos elétricos.	20
3.1	Características de alguns automóveis elétricos em Portugal.	48
3.2	Características de algumas bicicletas elétricas vendidas em Portugal. .	48
5.1	Características do painel.	69
5.2	Condições STC e NOCT do painel.	69
5.3	Características do aerogerador.	70
5.4	Características das baterias do sistema.	73
5.5	Características do carregador EV Pole Mount.	75
5.6	Características do carregador EV Public Charger.	75
5.7	Características dos veículos elétricos analisados.	76
5.8	Dados climáticos da cidade de Vila Real	88
5.9	Valores dos parâmetros globais para painel utilizado no sistema de carregamento.	90
5.10	Valores dos parâmetros específicos para o painel utilizado no sistemas de carregamento.	91
5.11	Energia produzida mensal (por módulo).	92
5.12	Dias de vento dentro do intervalo considerado.	93

5.13	Horas de vento correspondente aos dias considerados.	94
5.14	Energia produzida, por painel, para injeção na rede.	96
5.15	Valor de mercado dos componentes do sistema.	97
5.16	Valor necessários ao investimento.	98

Índice de figuras

2.1	Vendas de veículos elétricos no mundo.	7
2.2	Previsão das vendas de veículos elétricos até 2030.	8
2.3	Mercado de veículos elétricos na Europa	9
2.4	Maiores contribuições nas vendas de veículos elétricos.	10
2.5	Registos de veículos elétricos na Europa.	10
2.6	Vendas nacionais de veículos elétricos.	11
2.7	Registos anuais de veículos elétricos em Portugal.	11
2.8	Variação do preço por unidade de combustível.	12
2.9	Descarbonização dos setores até 2050.	13
2.10	Autocarro elétrico português.	15
2.11	Automóvel elétrico português.	16
2.12	Moto elétrica portuguesa.	16
2.13	Esquema de carregamento de veículos elétricos.	18
2.14	Crescimento das energias renováveis em Portugal.	22
2.15	Energia renovável no mix energético nacional.	22
2.16	Consumo de energia por fonte em Portugal.	23
2.17	Consumo de energia em Portugal.	24
2.18	Consumo de eletricidade em Portugal.	24

2.19	Sistemas de produção de energia.	28
2.20	Modo de carregamento estático.	29
2.21	Modo de carregamento dinâmico.	31
2.22	Autocarro elétrico Siemens.	32
2.23	Sistema de carregamento Siemens.	33
3.1	Ilustração de um veículo a combustão interna.	37
3.2	Ilustração de um veículo híbrido.	38
3.3	Ilustração de um veículo híbrido <i>plug-in</i>	40
3.4	Ilustração de um veículo elétrico.	41
3.5	Ilustração de um veículo a células de combustível.	42
3.6	Ilustração de uma bicicleta elétrica.	43
3.7	Tipo de conexão - Caso A.	45
3.8	Tipo de conexão - Caso B.	46
3.9	Tipo de conexão - Caso C.	46
4.1	Sistema de carregamento de nível 1 e 2.	56
4.2	Sistema de carregamento de nível 3.	57
4.3	Irradiação solar em Portugal Continental.	59
4.4	Índice de eolicidade em Portugal.	61
4.5	Exemplo dum sistema de carregamento de veículos elétricos.	63
4.6	Esquema de controlos dum sistema de carregamento.	64
4.7	Sistema combinado de produção de energia para carregamento de veículos.	65
4.8	Sombreador solar.	66
4.9	Sistema híbrido de carregamento de veículos.	66
5.1	Painel fotovoltaico do sistema.	68
5.2	Aerogerador do sistema.	70
5.3	Bateria do sistema de armazenamento.	72
5.4	Variação da DOD no número de ciclos da bateria.	72
5.5	Carregadores de veículos elétricos.	74
5.6	Matriz fotovoltaica do sistema de carregamento.	78

5.7	Esquema de alimentação através da produção de energia renovável.	81
5.8	Esquema de alimentação das unidades de carregamento com suporte da energia da rede.	82
5.9	Esquema de alimentação com conversão bidirecional da rede de energia.	83
5.10	Esquema de alimentação através de energia renovável com armazenamento do excedente.	84
5.11	Esquema de alimentação com armazenamento do excedente e apoio da rede de energia.	85
5.12	Esquema de alimentação com armazenamento do excedente e rede com fluxo de energia bidirecional.	86
5.13	Dados da irradiação solar e temperatura.	88
5.14	Dias de vento em Portugal nos últimos 30 anos.	93

Acrónimos

Lista de acrónimos

Sigla	Expansão
AC	<i>Alternating Current</i> (Corrente alternada)
ACEA	<i>European Automobile Manufactures Association</i>
AE	Automóvel Elétrico
BE	Bicicleta Elétrica
BEV	<i>Batteries electric vehicle</i> (Veículo elétrico a baterias)
BMS	<i>Battery management system</i> (Sistema de gestão de bateria)
DC	<i>Directing current</i> (Corrente contínua)
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DOD	<i>Depth of Discharge</i> (Profundidade de descarga)
EAFO	<i>European Alternative Fuels Observatory</i> (Observatório Europeu de Combustíveis Alternativos)
FEC	<i>Fuel Cell Vehicle</i> (Veículo a células de combustível)
GEE	Gases com Efeito de Estufa
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i> (Veículo elétrico híbrido)

Sigla	Expansão
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i> (Rastreador de ponto de tensão máximo)
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i> (Temperatura nominal de operação da célula)
OPEP	Organização Países Exportadores de Petróleo
PHEV	<i>Plug-in Electric Vehicle</i> (Veículo elétrico plug-in)
RTIEBT	Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão
SAVE	Sistema de alimentação de veículos elétricos
STC	<i>Standard Test Conditions</i> (Testes em condições <i>standard</i>)
UPAC	Unidades de Produção de Autoconsumo
UPP	Unidades de Pequena Produção
V2B	<i>Vehicle to Building</i>
V2G	<i>Vehicle to Grid</i>
VE	Veículos Elétricos



Introdução

Nos últimos tempos têm sido desenvolvidas tecnologias de carregamento de veículos elétricos. Este capítulo descreve qual a influência dessas tecnologias no estudo realizado e qual o objetivo proposto para esta dissertação de Mestrado.

1.1 Enquadramento do trabalho

Tendo em conta o panorama da sociedade atual, repara-se que o setor energético tem surgido como um dos setores mais influentes na economia global. A procura energética, aliada às necessidades de redução de dióxido de carbono na atmosfera, devido à excessiva utilização de combustíveis fósseis para produção de energia elétrica e para transportes, levou a que, nas últimas décadas, houvesse um desenvolvimento sustentável na obtenção de energia elétrica através de recursos naturais e renováveis, como é o caso da energia hídrica, solar térmica, solar fotovoltaica e, sobretudo, eólica.

Portugal, aproveitando o potencial dos seus recursos naturais, desenvolveu uma política energética de forma a aumentar a eficiência energética e reduzir as emissões de dióxido de carbono, sendo que ficou estabelecido em Decreto-Lei que as metas para a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto

de energia e no consumo energético dos transportes em 2020 correspondem a 31% e 10% respetivamente (Diário da República, 2013).

O aproveitamento do potencial renovável em Portugal, que equivale a uma percentagem elevada no consumo energético interno (APREN, 2017), desempenha, atualmente, um papel de extrema importância para o equilíbrio energético do nosso país, uma vez que esta aposta, além de ser ambientalmente sustentável, permite ainda o arranjo de soluções para as necessidades energéticas de Portugal.

Os veículos elétricos (VE) estão a ganhar uma importância cada vez maior na eletrificação do setor dos transportes. A procura por veículos que utilizem energia elétrica para a sua locomoção, ao invés de combustíveis fósseis, está a tornar-se cada vez mais uma aposta sustentável, uma vez que, apesar da pouca autonomia, os custos por quilómetro percorrido têm valores mais baixos nos VE do que nos veículos a combustão interna (Byrne and Pedro, 2016). Apesar dos VE serem a melhor solução para responderem aos problemas atuais do aquecimento global, uma vez que os transportes são dos maiores responsáveis pela libertação de CO₂ para a atmosfera, estes ainda se encontram um pouco desenquadrados no panorama atual da mobilidade, isto é: preços elevados comparativamente aos outros tipos de veículos (muito devido aos preços das baterias), pouca produção em série e principalmente falta de pontos de carregamento.

Posto isto, este estudo centra-se no dimensionamento de um posto de carregamento de veículos elétricos tendo em conta o equilíbrio energético do sistema, enquadrando-o no Eco Campus da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Na presente dissertação estudam-se vários tipos de sistemas de carregamento de veículos elétricos com o objetivo de encontrar o que me melhor se enquadra no panorama atual da academia.

1.2 Motivação e objetivos

Os principais objetivos deste trabalho prende-se ao facto de o setor dos transportes estar cada vez mais em simbiose com o setor energético. A mobilidade elétrica tem sofrido consideráveis avanços tecnológicos e o Governo Português tem disponibilizado apoios para todos os utilizadores.

Assim, o grande objetivo deste trabalho é o dimensionamento de um sistema de carregamento de VE no Campus da UTAD, de modo a que a academia acompanhe a aposta no setor elétrico dos transportes (automóveis e/ou bicicletas), permitindo a criação de condições para que os utilizadores de VE circulem na universidade.

Tendo em conta que Portugal é um dos países da Europa onde existe maior disponibilidade de radiação solar, faz sentido que este recurso seja bem explorado nos serviços públicos, como é o caso de uma universidade. Deste modo, a principal motivação deste estudo é a associação de recursos renováveis a uma entidade de serviço público, em particular sendo uma universidade.

O principal aspeto a ter em conta neste trabalho, é a exploração de um método renovável de produção de energia elétrica, tratando-se, neste caso, de um sistema híbrido, para posterior fornecimento a um sistema de carga de baterias aplicadas no carregamento de VE.

1.3 Organização do documento

Em termos gerais, a presente dissertação encontra-se dividida em quatro partes.

A primeira parte refere-se aos capítulos da introdução e estado da arte, onde será dado a conhecer o conceito de VE, as principais motivações e objetivos que levaram à seleção do tema a desenvolver e onde se enquadrará o panorama dos veículos elétricos no paradigma energético, as suas vantagens/desvantagens e as técnicas utilizadas na abordagem do tema. Finalmente irá ser mostrado alguns casos de estudo, que irão

de encontro ao desenvolvimento do tema desta dissertação.

Na segunda parte, composta pelos capítulos três e quatro, apresentar-se-ão os diferentes tipos de VE e o seu modo de funcionamento, as normas de utilização e a legislação aplicável, para posteriormente aplicar-se aos pontos de recarregamento e ancoragem de veículos elétricos, capítulo este que explicará a influência dos diferentes tipos de sistema de carregamento e a definição de cada um.

A terceira parte refere-se ao enquadramento dos sistemas no Eco Campus da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, sendo que neste capítulo irá ser feito um estudo das viabilidades energética e económica, terminando este capítulo com a apresentação de uma proposta de um sistema de carregamento.

Por fim, na última parte diz respeito a uma discussão das propostas apresentadas, concluindo-se a dissertação com a melhor proposta e com perspetivas de trabalho futuro.

2

Fundamentos gerais da adoção de veículos elétricos

Neste capítulo abordam-se as relações existentes entre a adoção de VE, os impactos que estes poderão causar no dia a dia das populações, o respetivo mercado e a sua evolução. Além disso, este capítulo aborda também o funcionamento dos pontos de carregamento, a possibilidade de se usarem energias renováveis, algumas das aplicações já existentes numa ótica de sustentabilidade, tendo como objetivo o avaliar das condições necessárias à implementação de um sistema de carregamento no campus da UTAD.

2.1 Panorama geral da adoção de veículos elétricos

A invenção do automóvel foi um dos grandes passos tecnológicos da Humanidade e, ao longo dos tempos, o setor dos transportes cresceu exponencialmente acompanhando as grandes evoluções que os veículos têm sofrido (Statista, 2015). Em qualquer país, é usual encontrarmos todo o tipo de veículos para uma deslocação mais cómoda das populações e, neste sentido, a venda de veículos tem vindo a aumentar a cada ano que passa. De acordo com dados da European Automobile Manufacturers Association (ACEA), nos últimos cinco anos houve um aumento de

4,5% de veículos de passageiros na Europa que, somando ao número de veículos comerciais ligeiros, pesados e autocarros existentes, perfaz um total de cerca de 290 milhões de veículos, fazendo uma média de praticamente 1 veículo por cada 2,5 habitantes (ACEA, 2017). Comparando com os outros grandes mercados do setor automóvel (EUA e China), foi notado um crescimento na adoção de veículos como se prova com os aumentos que houve no ano de 2016, em que os Estados Unidos tiveram um crescimento de 0,2% de unidades vendidas, enquanto que na China o aumento foi de 15% (Euler Hermes, 2017).

Atualmente, encontramos o setor automóvel em constante alteração, isto é, devido aos avanços tecnológicos no ramo automobilístico nota-se que tem havido uma melhoria ao nível do conforto dos veículos, melhoria dos consumos e sobretudo à grande oferta que as marcas proporcionam, com veículos de várias gamas e preços competitivos. Nos últimos anos, tem-se assistido ao aumento do número de VE no mercado automóvel, particularmente devido à consciencialização ambiental e, neste momento, os VE são uma grande oportunidade para os fabricantes aumentarem as suas gamas e assegurarem a sua posição na indústria elétrica automóvel.

Segundo relatórios da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), haverá, no setor automóvel, um declínio na procura do petróleo a partir de 2020, com uma quebra de cerca de 30% até 2040. Deste modo, aliado também ao uso das energias renováveis para produção de energia, como por exemplo eólica e fotovoltaica, prevê-se que a partir do ano de 2020, a venda de VE atinja o primeiro grande pico a nível mundial (Ban et al., 2016). No presente, os governos têm proporcionado incentivos para a adoção de veículos elétricos que, associado ao visível melhoramento ao nível das autonomias, têm feito com que as vendas de VE tenham crescido, sendo expectável que esta tendência aumente, uma vez que tem havido uma consciencialização na criação de condições favoráveis ao uso de VE.

2.1.1 Mercado global de veículos elétricos

A adoção de VE tem acompanhado a taxa de crescimento do setor automóvel no mundo (Statista, 2015). Atualmente, sobretudo nos países mais desenvolvidos, qualquer pessoa está em contacto direto com veículos todos os dias, quer estes sejam transportes públicos ou veículos de uso pessoal. Além disso, prevê-se que, com o desenvolvimento da tecnologia, a população tenha um acesso cada vez mais facilitado a meios de transporte e a posição do VE no setor automóvel é provável que cresça a um ritmo acelerado nos próximos anos.

No ano de 2016, a venda de veículos elétricos atingiu um valor recorde, com vendas a rondar os 750 mil veículos, sendo que a Noruega contribuiu com 29% de todas as vendas no mundo, seguida dos Países Baixos e da Suécia com 6,4% e 3,4%, respetivamente. O número de automóveis elétricos espalhados pelo mundo no início de 2017 era superior a 2 milhões, com a República Popular da China a deter a maior percentagem de posse, figura 2.1. Considerando outros tipos de veículos elétricos, a China é o país líder da mobilidade elétrica no mundo com cerca de 200 milhões de veículos elétricos de duas rodas, 4 milhões de veículos de baixa velocidade e 300 mil autocarros elétricos o que, somando todos estes números, faz com que a China possua praticamente um terço de todos os veículos elétricos no mundo (IEA, 2017).

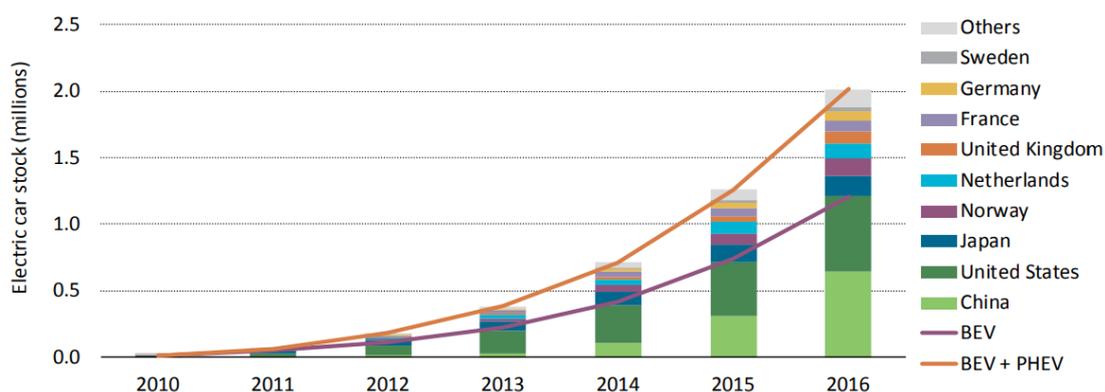


Figura 2.1 – Vendas de automóveis elétricos no mundo (valor acumulado) (IEA, 2017).

Segundo dados da Agência International de Energia (IEA, *International Energy*

Agency), o número de infraestruturas públicas e privadas também têm acompanhado o mercado de veículos elétricos, contribuindo diretamente para o valor de 2 milhões de VE no mundo. No ano de 2016, a taxa de crescimento das infraestruturas foi de 70%, enquanto que a taxa de crescimento das vendas de VE foi de 60%. Contudo, considerando os últimos três anos, o ano de 2016 foi o que teve menor taxa de crescimento de vendas, uma vez que esse valor em 2014 foi de 85% e em 2015 foi 77%. Apesar de se notar uma quebra nas vendas de VE por todo o mundo, as perspectivas em relação ao futuro são bastante positivas, já que o desenvolvimento de melhores baterias, que aumentam a autonomia dos veículos serão o fator chave para que a competitividade entre VE e veículos a combustão seja cada vez maior, esperando-se que haja uma redução dos custos das baterias, resultando, numa quebra de preços dos VE.

Neste momento, os VE correspondem apenas a 0,2% de todos os veículos de passageiros no mundo e entende-se que ainda haja um longo caminho a percorrer até que se alcance um lugar preponderante no setor automóvel mundial. Contudo, e tendo em conta os cenários expectáveis na adoção dos veículos elétricos, a IEA prevê que o número de veículos elétricos no mundo aumente exponencialmente e que ronde de 9 a 20 milhões em 2020 e entre 40 a 70 milhões em 2025, figura 2.2, aproveitando o facto do petróleo ter um declínio expectável a partir de 2020 (IEA, 2017).

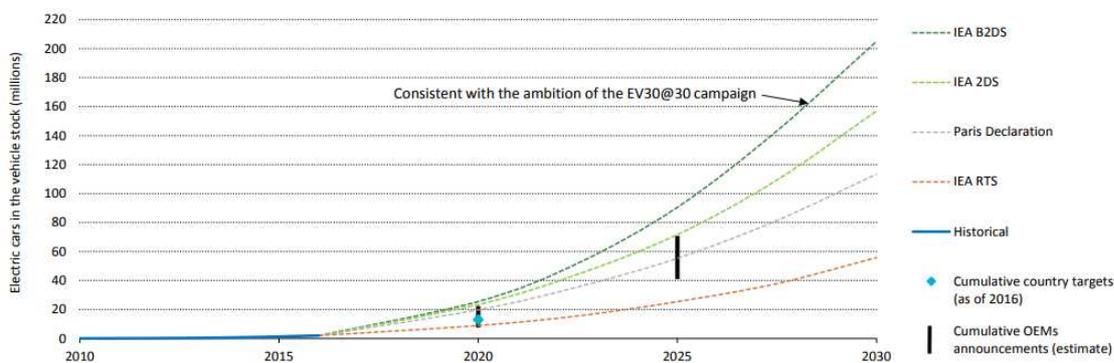


Figura 2.2 – Previsão das vendas de veículos elétricos até 2030 (IEA, 2017).

2.1.2 O mercado europeu de veículos elétricos

O mercado europeu, um dos grandes mercados do setor automóvel, tem tido uma grande influencia no crescimento das vendas automóveis no mundo. E, como referido anteriormente, também a venda de VE na Europa tem acompanhado esse crescimento. Países como a Noruega, a Suécia e os Países Baixos, são grandes contribuidores no aumento das vendas de VE no nosso continente (IEA, 2017).

Considerando os países da União Europeia, a Turquia e os países da zona EFTA (zona de livre comércio que inclui a Noruega, Islândia, Suíça e Liechtenstein), observa-se que a cota de mercado de VE tem vindo a aumentar desde 2010, com as cotas de mercado a aumentar nos últimos três anos em 0,58% em 2015, 0,04% em 2016 e cerca de 0,14% em 2017, figura 2.3, (EAFO, 2017). Apesar de se notar uma quebra nas vendas entre o ano de 2015 e 2016, a tendência é para vir a aumentar com o grande pico de vendas a acontecer a partir do ano 2020 (Ban et al., 2016).

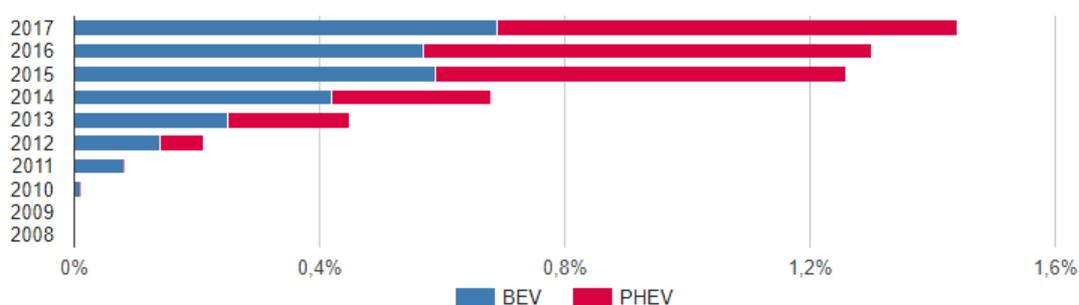


Figura 2.3 – Cota de mercado de veículos elétricos na Europa (EAFO, 2017).

Tendo em conta as vendas dos últimos sete anos, é de notar que a Noruega é líder na adoção de VE com uma percentagem de cerca de 35% das vendas de toda a Europa, seguida da Islândia e da Suécia com 9% e 5%, respetivamente, figura 2.4 (EAFO, 2017).

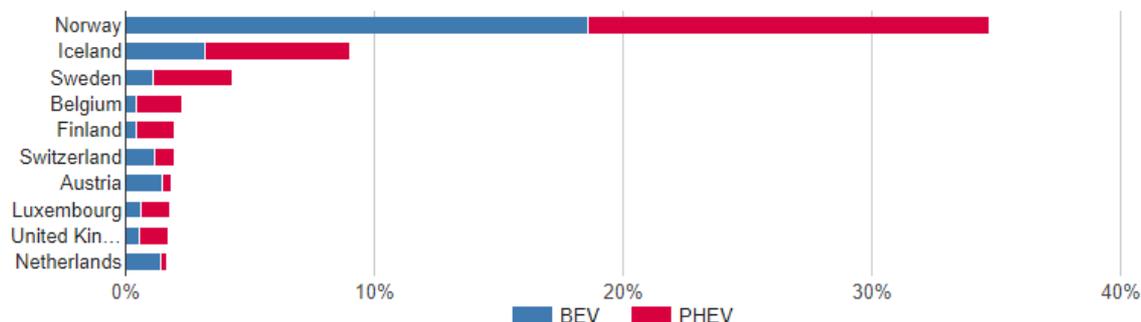


Figura 2.4 – Países com maior contributo na venda de veículos elétricos na Europa (EAFO, 2017).

Segundo dados da *European Alternative Fuels Observatory* (EAFO), atualmente existem perto de 730 mil veículos elétricos registados, sendo que desse valor existem praticamente metade de veículos puramente elétricos. De reparar que tal como as vendas, o maior número de registos incidu sobre os últimos três anos, figura 2.5.

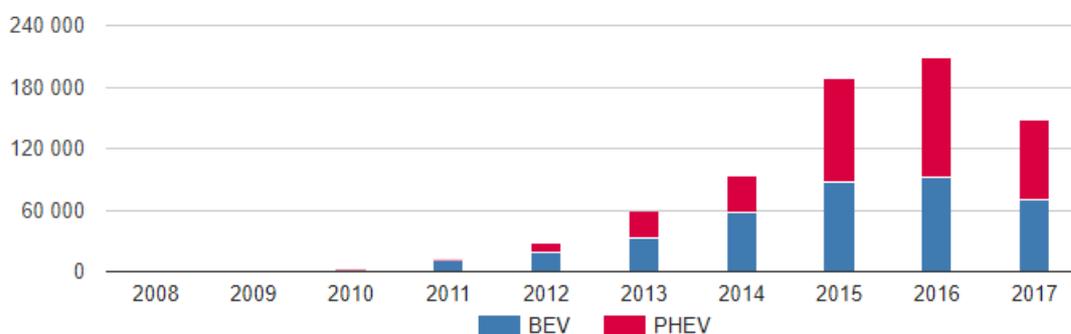


Figura 2.5 – Número de registos de veículos elétricos na Europa (EAFO, 2017).

2.1.3 O mercado nacional de veículos elétricos

Em Portugal, existem aproximadamente 4,3 milhões de veículos de passageiros, com um rácio de um veículo a cada dois habitantes. E, tal como no resto da Europa, a venda de VE também tem aumentado. A cota de mercado dos elétricos nos últimos três anos têm sido positivas com as cotas a aumentar em 0,45% em 2015, 0,25% em

2016 e 0,57% em 2017, recaindo mais a escolha sobre VE *plug-in*, figura 2.6 (EAFO, 2017).

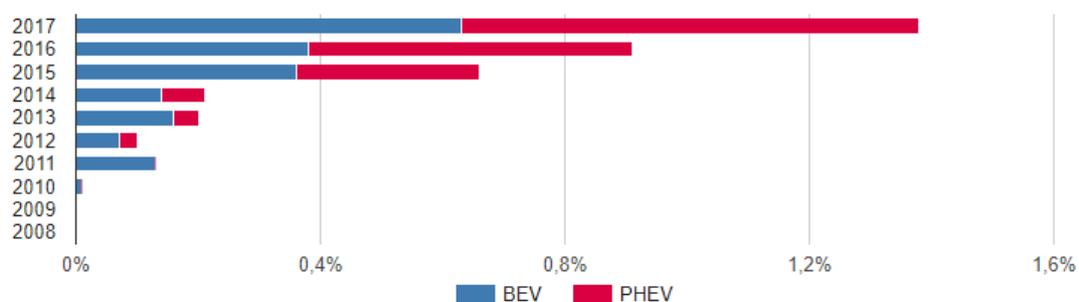


Figura 2.6 – Vendas anuais de veículos elétricos em Portugal até 2017 (EAFO, 2017).

Quanto ao número de registos, a percentagem de veículos elétricos em Portugal é de apenas 0,13%, mas com o aumento da procura deste tipo de veículos e com a melhoria de condições de carregamento perspectiva-se que a tendência em Portugal acompanhe os outros países da Europa. De acordo com a EAFO, existem, em Portugal, cerca de 6 mil veículos elétricos registados, até ao ano de 2017, sendo que a percentagem entre puramente elétricos e elétricos *plug-in* é praticamente a mesma, figura 2.7.

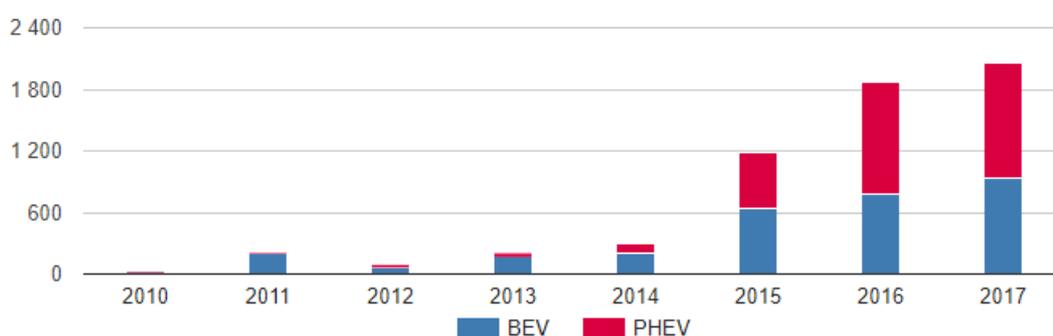


Figura 2.7 – Registos anuais de veículos elétricos em Portugal até 2017 (EAFO, 2017).

De notar que o número de registos em Portugal nos últimos três anos tem vindo a

aumentar, sendo que o maior aumento foi do ano de 2014 para 2015.

2.2 Tendências e constrangimentos no uso de VE

Como referido anteriormente, a procura de VE tende a aumentar nos próximos anos. Contudo, e apesar deste tipo de veículos possuírem algumas vantagens em relação aos veículos convencionais, como por exemplo o custo de combustível por quilómetro ser mais baixo, figura 2.8, e não emitirem GEE, os VE, têm ainda grandes desvantagens quando comparados com os veículos de combustão interna. Neste caso, os veículos convencionais têm um preço de compra muito mais baixo tendo em conta a autonomia dos seus motores. Além disso, há muito mais facilidade em se efetuar a “recarga” de combustível, uma vez que existem inúmeras estações de serviço, situação que demora muito menos tempo a ser feita quando comparado com os veículos de motor elétrico (Byrne and Pedro, 2016; Veículos Elétricos, 2017).

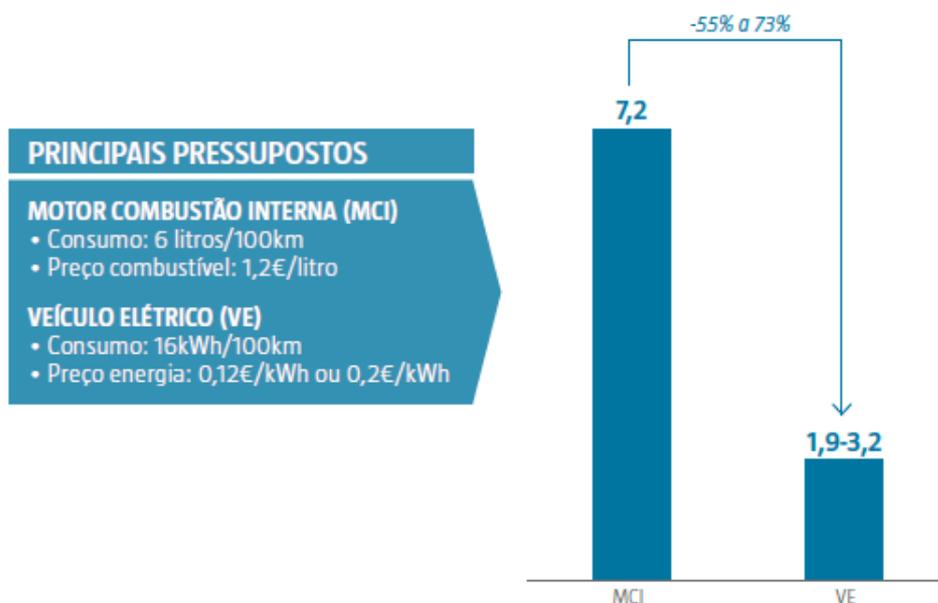


Figura 2.8 – Variação do preço por unidade de combustível (Byrne and Pedro, 2016).

Até ao final do ano de 2017, a tecnologia associada aos VE encontra-se um pouco estagnada, já que os preços das baterias ainda são bastante elevados, o que, neste caso, não compensa a autonomia imposta por elas. Além disso, como estes veículos são alimentados por energia elétrica da rede, acarretam, indiretamente, o facto de serem libertadas grandes quantidades de dióxido de carbono na produção do combustível, fator esse que pode ser amenizado com a implementação de energia elétrica produzida através de sistemas renováveis (Byrne and Pedro, 2016; Veículos Elétricos, 2017). Para combater a emissão de GEE, a União Europeia definiu metas para 2030 e 2050. É esperado que em 2030, tendo em vista a redução da emissão de dióxido de carbono para a atmosfera em 40%, haja uma introdução de 27% de energia na rede através de sistemas renováveis. Em 2050, essas metas são mais elevadas, com a redução de 60% de emissões de carbono no setor dos transportes e uma descarbonização quase total do setor elétrico, figura 2.9 (Byrne and Pedro, 2016).

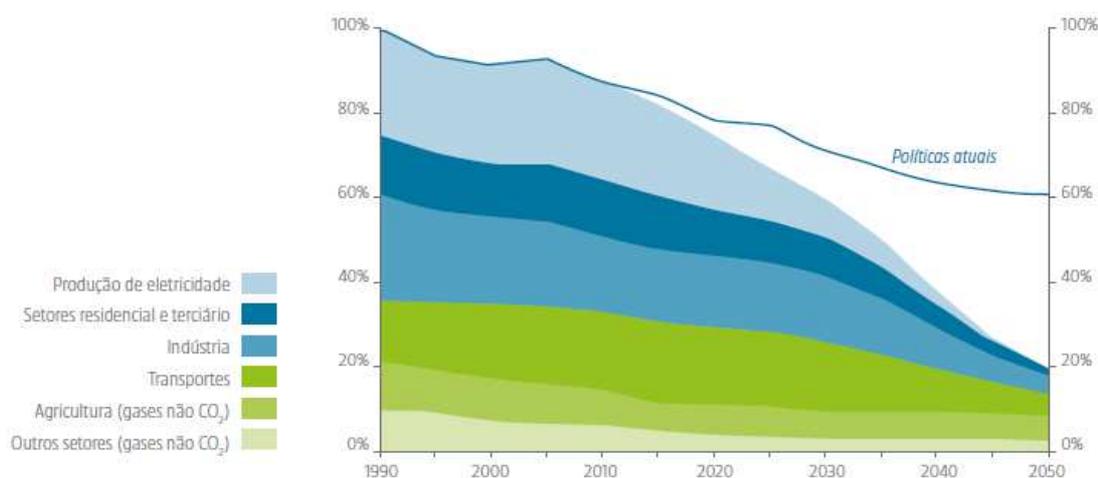


Figura 2.9 – Descarbonização prevista por setores até 2050 Byrne and Pedro (2016).

Por sua vez, o Governo de Portugal tem fornecido incentivos à adoção de VE com o objetivo de compensar as desvantagens destes veículos e assim promover a mobilidade elétrica no nosso país. Na proposta do Orçamento de Estado para 2017 foram reintroduzidos os incentivos na adoção de veículos elétricos com a entrega de mil cheques no valor de 2.250 € na compra de VE e de 1.125 € na compra de

VE *plug-in*. Além disso, foi ainda disponibilizado um orçamento de cerca de 700 mil euros para modernização, atualização tecnológica e expansão da rede de mobilidade elétrica no nosso país. Quanto aos veículos *plug-in*, estes têm uma redução do imposto sobre o automóvel (ISV) até 562,50 €. Estes incentivos surgem no acréscimo dos benefícios fiscais propostos para o ano de 2016 como a isenção de Tributação Autónoma, redução do IUC (Imposto Único de Circulação) e do IVA, para veículos elétricos e *plug-in* (EAFO, 2017; GSEAA, 2016). Além destes benefícios, acrescenta-se o facto dos utilizadores de VE autenticados na rede MOBI.E (empresa pública responsável pela gestão de energia e financeira da rede de mobilidade elétrica em Portugal) poderem efetuar o carregamento dos seus veículos sem que lhes seja cobrada a energia necessária ao carregamento.

A grande vantagem dos VE é a eficiência dos seus motores, uma vez que estes tipos de motores consomem entre 0,1 a 0,23 kWh por quilómetro, enquanto que os veículos a combustão interna consomem 0,93 kWh por quilómetro. Por outro lado, a falta de competitividade neste setor, aliado à falta de tecnologia das baterias, fazem com que os preços elevados sejam a principal desvantagem dos veículos elétricos neste momento. Contudo, é provável que os preços das baterias desçam substancialmente a partir de 2020, fazendo com que a procura destes veículos venha a aumentar nos anos seguintes. Segundo estudos da McKinsey (2017), o preço das baterias para veículos elétricos diminuiu cerca de 80% nos últimos 7 anos, sendo expectável que esta descida dos preços continue até 2030. Em 2016, o preço das baterias era cerca de 200 €/kWh, sendo que este valor andarà perto dos 160 €/kWh em 2020 e 90 €/kWh em 2030 (McKinsey, 2017).

Relativamente a Portugal, o ano de 2019 trará a obrigatoriedade de implementar locais de estacionamento, com pontos de carregamento, adequados à recarga de VE em todos os imóveis construídos nesse ano, além de promover, em 2018, o projeto U-Bike nas comunidades académicas em Portugal, projeto no qual a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro está inserido (GOP República Portuguesa, 2016, 2018).

Os VE são então a nova tendência do setor dos transportes. Assim, Portugal surge

como um dos países com maior potencial a nível da mobilidade elétrica, quer a nível de pontos de carregamento, com a EFACEC a ser uma das maiores empresas produtoras de carregadores com tecnologia de última geração, quer a nível do setor automóvel, como por exemplo a Caetano Bus, a Veeco e a Famel. Estas empresas têm aproveitado o setor elétrico automóvel para desenvolverem produtos que possam entrar no mercado dos VE e assim cimentarem a sua posição tendo em conta o seu plano de ação. A EFACEC produz vários tipos de carregadores para veículos elétricos como carregadores privados, públicos, rápidos, ultra rápidos e tem em desenvolvimento carregadores com tecnologia *wireless* (EFACEC, 2017). A Caetano Bus, com a preocupação de suprir a necessidade de veículos não poluentes nos centros urbanos, lançou um veículo de transporte público totalmente elétrico, denominado de e.City Gold, com capacidade para 88 passageiros e que não emite qualquer GEE. Este veículo usa baterias de 85 kWh até 250 kWh e tem uma autonomia para cerca de 200 km, figura 2.10, (Caetano Bus, 2017).



Figura 2.10 – Autocarro elétrico - Caetano e.City Gold (Transportes e Negócios)

A Veeco, é a primeira empresa portuguesa a construir um automóvel elétrico. Lançado em 2013, tem uma autonomia entre 200 e 400 km e vem equipado com baterias de 16 kWh a 48 kWh de capacidade. Apesar de ainda não se encontrarem disponíveis para venda, estima-se que os preços variem entre os 23 e os 25 mil euros, figura

2.11, (Veeco, 2017).



Figura 2.11 – Automóvel elétrico português Veeco.

A Famel é uma empresa de veículos de duas rodas, e que irá produzir uma moto elétrica que será comercializada em meados de 2018 com uma autonomia de cerca de 100 km, figura 2.12, (Famel, 2017; Lusa).



Figura 2.12 – Moto elétrica portuguesa Famel (Lusa).

2.3 Pontos e técnicas de carregamento

Para se criarem condições ao uso de VE foi criada uma rede de mobilidade elétrica em Portugal, na qual se instalaram pontos de carregamento para que todos os utilizadores de VE pudessem carregar os seus veículos sem que houvesse custos adicionais.

Segundo dados da Electro Maps (2017), plataforma informativa sobre pontos de recarga por todo o mundo (com maior incidência na Península Ibérica), em Portugal existem mais de 1.000 pontos de carregamento públicos, instalados e por instalar, sendo que 70 dos que estão por instalar serão de carregamento rápido e os restantes de carregamento normal (Electro Maps, 2017; MOBI.E, 2017; UVE, 2017).

Deste modo, é necessário saber o que é um ponto de carregamento, quantos tipos existem e quais as diferenças entre eles.

2.3.1 Pontos de carregamento

De acordo com a MOBI.E, denomina-se de ponto de carregamento à estrutura capacitada com os componentes necessários ao carregamento de qualquer veículo elétrico normalizado. Estes pontos de carregamento podem ser rápidos ou normais, e são complementados com um módulo de comunicação entre o utilizador e a rede de energia. A comunicação é autenticada e permite ao utilizador ter acesso a registos de consumo, sendo que para isso é necessário o utilizador ter os seus dados registados na rede de mobilidade elétrica, figura 2.13 (MOBI.E, 2017).

Os postos de carregamento distinguem-se pelo tipo de tomadas que possuem para efetivar o carregamento e o tempo de carregamento, sendo que os postos de carregamento normais possuem tomadas incorporadas aos quais o utilizador acopla um cabo de carregamento, enquanto que os postos de carregamento rápidos possuem cabos próprios para ligar ao veículo (MOBI.E, 2017).



Figura 2.13 – Esquema de carregamento de veículos elétricos (MOBIE, 2017)

2.3.2 Tipos de pontos de carregamento

O abastecimento dos VE é um processo muito mais lento que o abastecimento dos veículos a combustão. Contudo a grande diferença é que os VE podem ser abastecidos em qualquer local privado, desde que haja uma instalação elétrica que permita a ligação de um cabo entre o veículo e uma tomada convencional. Por outro lado, o carregamento em via pública só pode ser efetuado nos locais apropriados, locais que possuam pontos de carregamento de veículos elétricos.

Nos últimos anos, a aposta nos veículos elétricos fez com que as tecnologias dos pontos de carregamento fossem melhoradas com vista à redução do tempo de carregamento dos veículos.

Atualmente existem três formas de carregamento de VE em via pública, carregamento normal, semi rápido e rápido, que se denominam de acordo com tempo de carga da bateria dos VE, tempo esse que varia de acordo com a capacidade e potência do carregador e da capacidade da bateria do veículo. Dentro destes tipos de carregamentos de VE, existem quatro modos de carregamento de acordo com a EN/NP61851 - padrão internacional que se aplica aos equipamentos de carregamento de VE com tensão de alimentação até 1000 V AC ou 1500 V DC e tensão de saída até 1000 V AC ou 1500 V DC (MOBIE, 2017).

O **modo de carga 1**, desde que tenha um disjuntor diferencial no lado da rede da alimentação, é considerado carregador doméstico e pode ser utilizado com as tomadas convencionais. As tensões não podem ser superiores a 250 V/480 V e a intensidade de corrente é não superior a 16 A por tomada com condutores de fase, neutro e terra de proteção. A utilização de um disjuntor diferencial de 30 mA permite uma maior segurança contra o risco de eletrocussão. Além disso as potências de carregamento estão entre os 3,7 e os 11 kW.

O **modo de carga 2**, permite que um veículo que só carrega no modo 3 possa também ser carregado neste modo. Isso possibilita que se possa carregar o veículo numa tomada doméstica até 32 A e com tensões até 250 V/480 V, através de um cabo com uma caixa de controlo que faz a ligação entre a tomada e o sistema de carregamento do veículo e que avisa se o carregamento está funcional. Neste modo de carregamento, além da caixa de controlo é ainda necessária a presença do disjuntor diferencial localizado entre o VE e a ficha, ou então incorporado na caixa de controlo integrada no cabo.

O **modo de carga 3**, é um sistema de carregamento para via pública que utiliza tomadas e fichas específicas dos veículos elétricos. Os sistemas do modo 3 fornecem energia elétrica à tensão nominal de 230 V/400 V e intensidades entre 16 A a 63 A. Os valores da intensidade de corrente dependem do tipo de conector utilizado pelo veículo, isto é, dentro do modo 3 existem três tipos de tomadas com características diferentes:

- Tipo 1, também conhecidas por tomadas *Yazaki* utilizadas em monofásico;
- Tipo 2 ou *Mennekes*, utilizadas em trifásico com 63 A por fase, com a particularidade de começarem a ser usadas em todos os carros futuros de fabrico europeu;
- Tipo 3 ou *Scame*, também utilizadas sistemas trifásicos limitados a 32 A por fase.

Por último, o **modo de carga 4**, é o exemplo dos carregamentos rápidos. Fornecem energia ao veículo através de corrente contínua. Este carregamento é efetuado com uma ligação direta à bateria do veículo. As principais técnicas deste modo de carregamento são a CHAdeMO, CCS – *Combined Charging System* e *Tesla Supercharger*. O modo 4 de carregamento é o que possui mais variantes em termos de tempo, uma vez que as técnicas utilizadas, a potência do carregador e a intensidade das suas tomadas, variam consoante os fabricantes de carregadores (Chademo, 2017; Direção Geral de Energia e Geologia, 2015; EFACEC, 2017; MOBI.E, 2017; SGORME, 2011). A tabela 2.1 apresenta as características dos carregadores utilizados.

Os modos 3 e 4 são alimentados por um SAVA (sistema de alimentação de veículos elétricos), que é constituído pelo cabo de carga (com condutores de fase, neutro, proteção e piloto), pelos conectores dos veículos elétricos, pelas fichas e por todos os outros acessórios referentes a este modo de carregamento (Direção Geral de Energia e Geologia, 2015).

Tabela 2.1 – Principais características dos carregadores de veículos elétricos.

Tipo de carregamento	Potência	Tomadas	Tensão	Tempo de carregamento
Doméstico	3,7 a 11 kW	16 A	230 V	Até 12 h
Normal	11k W	32 A	230 V	Até 8 h
Semi rápido	22 a 50 kW	32 A - 63 A	230 V - 400 V	Até 5 h
Rápido	A partir de 50 kW	Até 200 A	400 V	80% de carga em 30 mins

2.3.3 Instalação de pontos de carregamento

A instalação de pontos de carregamento em via pública tem restrições legais que se devem cumprir. Além das homologações propostas por padrões internacionais, como é o caso da norma IEC61851, referida anteriormente, a validação dos pontos é feita pela rede de mobilidade elétrica em Portugal e tem pressupostos a serem cumpridos tais como:

- Deve permitir a ligação à internet através de uma rede 3G;
- No caso de serem de carregamento normal, têm de ter tomadas *Mennekes* (tipo 2);
- No caso de serem postos de carregamento rápido têm de ter, pelo menos, cabos com conector tipo 2;
- Deve ser possível a leitura de cartões de circuito integrado, sem contacto, que servem de identificação do utilizador. Os cartões são cartões RFID de acordo com a ISO/IEC 14443A;
- Deve também ser possível, através de um sistema de comunicação, versão 1.5 ou posterior, que controla os padrões de cargas em postos de carregamento públicos para veículos elétricos, uma comunicação de acordo com o protocolo de comunicação OCPP – *Open Charge Point Protocol* (MOBI.E, 2017).

2.4 Balanço energético e uso de energias renováveis

Na sequência da Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), foram estabelecidas as primeiras metas de Portugal quanto ao uso das energias renováveis até 2020 e que, citando o Decreto-Lei n.º141/2010, “a meta de utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia deve ser de 31% e que, também em 2020, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo energético no sector dos transportes deve ser de 10%”. Deste modo, a partir do início do século XXI, houve uma grande aposta nas energias renováveis, sendo que a eólica foi o setor energético renovável com maior sucesso no nosso país. Além da eólica, também a energia solar (fotovoltaica ou solar térmica) foi alvo de grande aposta tanto na criação de parques solares como para os consumidores nas suas habitações. Quanto à energia hídrica, desde a década de 90, tem sido aposta regular no nosso país, figura 2.14 (APREN, 2017).

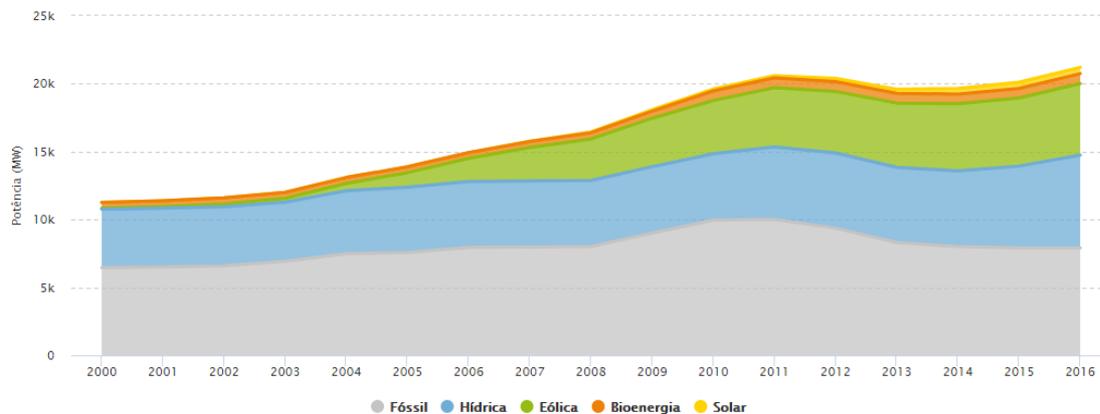


Figura 2.14 – Crescimento das energias renováveis em Portugal (APREN, 2017).

Uma das desvantagens da produção da energia renovável é a sazonalidade do tempo, isto é, um ano atípico pode influenciar fortemente a sua produção. Neste momento, potência instalada de eletricidade renovável em Portugal está acima dos 50%, mas, até ao momento, a sua quota de produção é de pouco mais de 40%, o que contrasta com os últimos anos. Este valor é explicado por 2017 ter sido um ano atípico, com condições de grande seca de que resultou uma baixa produção hidroelétrica, figura 2.15 (APREN, 2017).

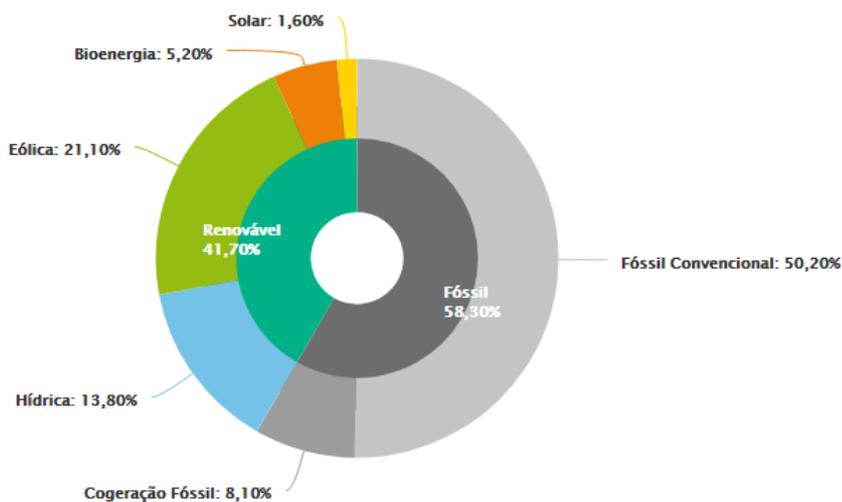


Figura 2.15 – Percentagem de energia renovável no mix energético nacional (APREN, 2017).

Apesar da produção de energias renováveis em Portugal ter aumentado nos últimos anos, o consumo final de energia ainda é muito dependente do petróleo. Segundo dados da DGEG (2017), o petróleo continua a ser a principal fonte de energia consumida no nosso país. De acordo com o relatório em questão, entre 2006 e 2015, o consumo de petróleo desceu cerca de 7%, enquanto que o consumo de eletricidade e gás natural subiram 5% e 3%, respetivamente. A figura 2.16 mostra o consumo de energia final por fonte (energia que chega ao consumidor), no ano de 2015 (DGEG, 2015, 2017).

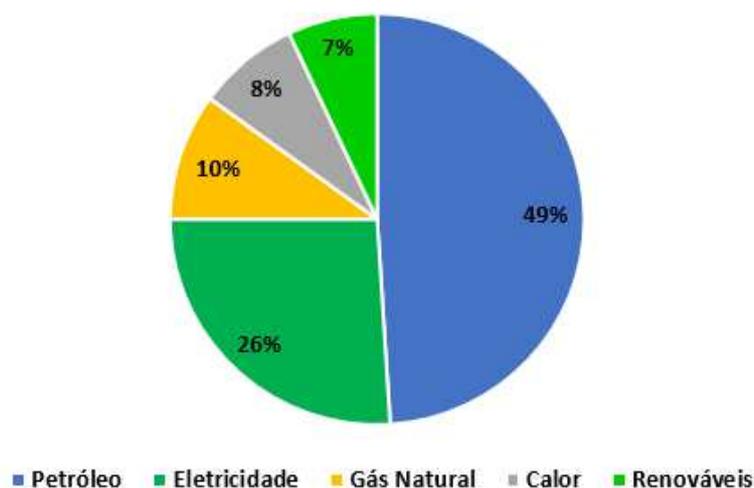


Figura 2.16 – Percentagem de energia consumida por fonte em Portugal DGEG (2017)

Considerando o consumo final por setor, figura 2.17, os transportes são, sem dúvida, o maior consumidor de energia final, sobretudo devido à maior parte dos veículos ainda serem movidos a combustíveis fósseis (o setor dos transportes são responsáveis por cerca de 74% do uso de petróleo a nível nacional) (DGEG, 2017).

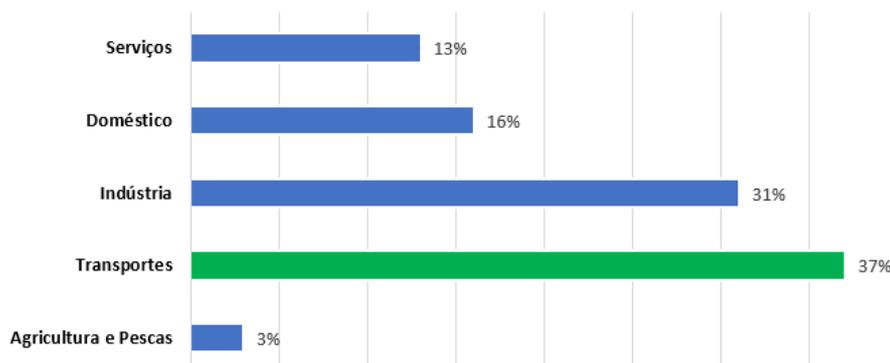


Figura 2.17 – Consumo de energia final, por setor, em Portugal.

Dos 26% de eletricidade consumida em Portugal em 2015, a sua maior aplicação é no setor da indústria, sendo que a menor aplicação é no setor dos transportes, figura 2.18 (DGEG, 2017).

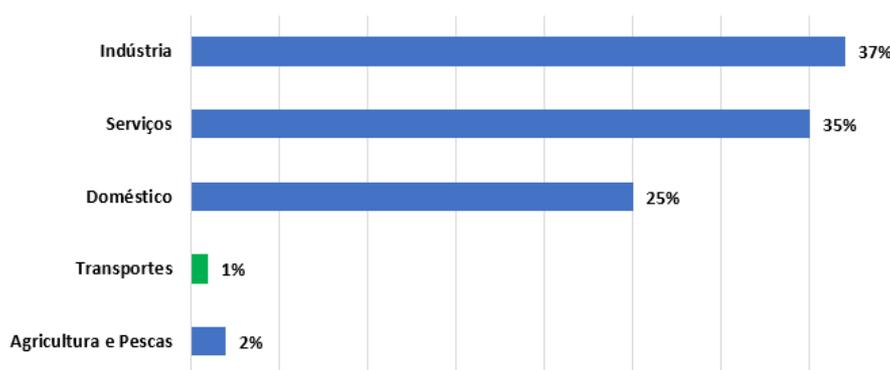


Figura 2.18 – Consumo de eletricidade final, por setor, em Portugal.

Sendo o setor dos transportes o maior consumidor de petróleo, e contrastando com o facto de ser o menor consumidor de energia elétrica, a procura de VE em Portugal pode ser o grande revolucionador do balanço energético do país, isto é, com o aumento da procura de VE, o consumo de eletricidade como “combustível” para a locomoção destes veículos também aumentará. Deste modo, o uso de energias renováveis, para fornecimento de eletricidade para carregamento de veículos elétricos,

poderá equilibrar o consumo de eletricidade, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para a redução da emissão de gases com efeito de estufa. As energias renováveis serão então um fator chave no futuro dos veículos elétricos. Existem então dois conceitos de carregamento inteligente de modo a introduzir o potencial das energias renováveis no setor dos transportes:

- *Vehicle to Grid (V2G)*;
- *Vehicle to Building (V2B)*.

Estes dois conceitos baseiam-se no carregamento indireto tendo em conta a produção de energia, isto é, o veículo, quando ligado à rede, é carregado nos momentos em que a energia elétrica está no seu menor preço, que coincide com as horas de pouca procura, ou então quando há excesso de energia na rede. Este tipo de carregamento permite uma melhor gestão da bateria, melhorando assim a sua vida útil (Richardson, 2013).

Vehicle to Grid (V2G)

O conceito de V2G surgiu pela primeira vez numa publicação na década de 90, e dizia que, quando conectados, os VE poderiam fornecer energia de emergência à rede elétrica de modo a suprir as necessidades energética em determinados picos de procura (Kempton and Letendre, 1997). Assumiu-se que V2G é a possibilidade de o veículo elétrico armazenar o excesso de energia na rede elétrica para a poder devolver nas horas em que a procura de energia é maior. Com a aplicação deste conceito, os veículos elétricos funcionam como regulador da rede elétrica, com o equilíbrio da procura e do fornecimento da energia, mas também como reserva de armazenamento e, se necessário, fornecedor de energia à rede (Richardson, 2013).

Vehicle to Building(V2B)

Este conceito é muito semelhante ao V2G, sendo que, a sua grande diferença é na escala de aplicação. Assim, no conceito V2B, um veículo elétrico promove troca de energia com um edifício, isto é, um edifício que possua nas suas instalações

sistemas renováveis para produção de energia elétrica, pode armazenar o excesso de energia produzida nas baterias dos veículos elétricos. Por outro lado, quando esse edifício possui um déficit de energia, os VE podem fornecer energia das suas baterias para colmatar essa falta de energia. V2B é então um relação de simbiose ótima entre o veículo elétrico e os edifícios, podendo ser aplicado muito mais facilmente que o conceito de V2G (Kuang et al., 2017). A aplicação do V2B permite aos edifícios reduzirem os seus custos operacionais de energia elétrica, bem como reduzir as emissões de GEE, o que combinado com uma alta produção de energia renovável do edifício, torna este conceito um sistema ótimo (Kuang et al., 2017).

Tanto no V2G como no V2B, existe a possibilidade dos VE armazenarem energia elétrica durante os períodos de baixa procura ou de excesso de energia, podendo-a devolver à rede em questão quando necessário. Para o conceito de V2G ter uma grande eficiência, é necessário um vasto número de VE (Richardson, 2013).

2.5 Cenários de utilização

Em geral, os veículos têm uma taxa de utilização reduzida, passando a maior parte do tempo estacionados em casa ou nos locais de trabalho. Deste modo, os VE têm a vantagem de poderem ser carregados nestes momentos ou então serem utilizados como equilibradores da rede de energia elétrica, tal como foi mencionado anteriormente. Assim, com o aumento da procura de VE, é necessário criar condições necessárias à utilização deste tipo de veículos. Neste ponto serão abordados alguns sistemas existentes que poderão ser replicados futuramente tendo em vista o desenvolvimento da mobilidade elétrica no nosso país. Os conceitos de V2G e V2B são então fatores importantes para a massificação de VE, uma vez que são conceitos vantajosos para o equilíbrio das redes de energia.

A maioria dos veículos são utilizados para os utilizadores se moverem entre as suas casas e os locais de trabalho, ou seja, de um modo geral, os veículos passam mais tempo estacionados do que a andar nas estradas, assim, o aproveitamento do potencial de carregamento passa pela criação de infraestruturas que possibilitem troca

de energia entre os veículos e os edifícios. Neste momento, o conceito V2B é o que tem maior facilidade de implementação. Contudo, o desenvolvimento de parques de estacionamento inteligentes em edifícios é indispensável para a otimização deste tipo de sistemas.

Dentro de todo o tipo de sistemas já existentes, é importante salientar os que mais se aplicam ao tema desta dissertação, uma vez que o tema reforça um sistema de carregamento adequado ao setor de transportes de veículos elétricos ligeiros como bicicletas e automóveis ligeiros. Assim, é possível encontrar sistemas de carregamento combinados com sistemas de produção de energia renovável, sistemas de carregamento sem fios e sistemas de acoplamento para veículos pesados de passageiros.

2.5.1 Sistemas de energias renováveis

A produção de energia elétrica para carregamento de veículos pode ser feita de maneira autónoma ou com ligação à rede, sendo que ambos podem utilizar a mesma fonte de energia – solar e eólica. A única diferença entre sistemas autónomos ou com ligação à rede reside na presença de baterias para armazenamento da energia elétrica produzida.

Os sistemas fotovoltaicos produzem energia elétrica através da radiação solar, contudo, podem ser combinados com energia de origem eólica através de pequenos aerogeradores de eixo horizontal ou de eixo vertical, figura 2.19.

Nos sistemas de energias renováveis, a produção de energia é feita de modo convencional, em que os sistemas solares fotovoltaicos convertem a radiação solar em energia elétrica através das células semicondutoras. A capacidade dos sistemas solares fotovoltaicos diferem na sua dimensão, na eficiência das células e na orientação/inclinação.

Quanto à energia eólica, o aerogerador converte a energia cinética do vento em energia elétrica e a sua capacidade depende da velocidade do vento e da eficiência da conversão (Portal Energias Renováveis, 2017).



Figura 2.19 – Sistemas híbridos de produção de energia.

2.5.2 Sistemas de carregamento sem fios

A transferência de energia sem fios (*wireless*) é outro tipo de sistema que pode ser aproveitado para carregamento de VE. O carregamento *wireless* pode ser feito de três modos diferentes: estático, estacionário e dinâmico. O estático já é conhecido em aplicações domésticas como por exemplo telemóveis, e que aplicado aos VE tem o mesmo modo de funcionamento. Neste tipo de carregamento os veículos são estacionados nos lugares de parque e ficam acoplados a uma bobina que transfere energia através de indução eletromagnética. Por outro lado, o carregamento estacionário, tem um modo de funcionamento semelhante ao estático mas o veículo, ao invés de estar estacionado está parado momentaneamente. Relativamente ao carregamento dinâmico, este também é feito através de indução eletromagnética, no entanto o carregamento é efetuado durante a movimentação do veículo (Rosu et al., 2016).

Carregamento estático

O carregamento estático pode ser aplicado a qualquer tipo de veículos, mas tem tido maior aplicação no conceito de *sharing E-Bike*, que é a partilha de bicicletas

elétricas com ligação à rede publica num sistema de V2G.

Existem alguns projetos de partilha de bicicletas elétricas, tendo um deles sido introduzido pela Universidade de Tennessee-Knoxville em 2011. Este projeto, composto por duas estações autónomas com dez bicicletas cada uma, funciona com um sistema de carregamento *wireless*. As bicicletas desbloqueiam com um cartão de utilizador e são libertadas com pelo menos 75% de bateria e quando estacionadas começam logo a carregar (Langford et al., 2013).

O sistema de carregamento sem fios é composto por duas bobinas interligadas, uma conectada à rede e outra na bicicleta, que transmitem energia para ser armazenada na bateria da bicicleta (Pellitteri et al., 2013).

Um exemplo de sistema de carregamento sem fios foi sugerido por Pellitteri et al. (2013) e é composto por uma bateria de fosfato de ferro de lítio de 36 V/10 Ah com tensões entre 30 V e 43,8 V, tendo o sistema uma potência de 100 W. O sistema proposto é constituído por um transmissor de energia, uma rede ressonante, um recetor de energia e uma bateria de armazenamento, figura 2.20. O transmissor é conectado à rede de energia e inclui um conversor de AC/DC que converte em 72 V. O recetor está conectado à carga e converte de novo para AC. A rede ressonante, devido ao acoplamento magnético, faz com que ocorra uma transferência de energia para o recetor. O recetor tem um retificador transferindo a energia para a bateria, através de um controlador de carga (Pellitteri et al., 2013).

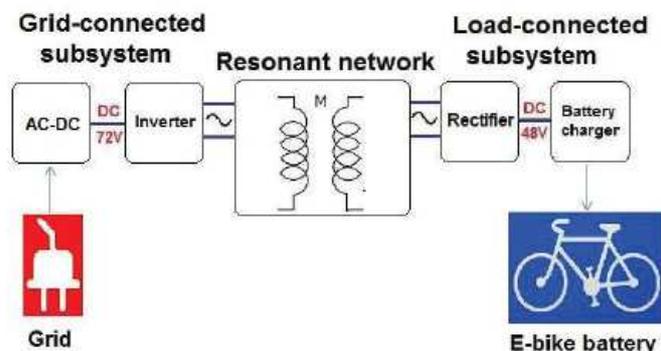


Figura 2.20 – Exemplo de modo de carregamento estático (Pellitteri et al., 2013).

Carregamento dinâmico

Um dos grandes problemas dos VE é a capacidade das baterias. O carregamento *wireless* dinâmico é um sistema que pode influenciar diretamente os custos associados às baterias, uma vez que este sistema ao ser aplicado cria a possibilidade dos veículos elétricos poderem usar baterias com menor capacidade, reduzindo assim o peso e o seu custo.

O carregamento dinâmico é feito através de indução eletromagnética e pode ser utilizado de dois tipos diferentes. Um deles é colocando uma bobina em toda a extensão da faixa de carregamento para que a transferência de energia seja feita de modo contínuo. Contudo, este tipo de estruturas tem um coeficiente de acoplamento demasiado baixo, causando grandes perdas de energia e a criação de campos eletromagnéticos perigosos a quem estiver exposto a eles. O outro tipo de carregamento dinâmico é com a colocação de bobinas separadas ao longo da faixa de carregamento. Deste modo, as perdas de energia serão menores e os campos magnéticos menos perigosos à exposição devido à sua área de implementação do sistema ser menor, figura 2.21. Por outro lado, este tipo de carregamento acarreta elevados custos pois as bobinas necessitam de um conversor DC/AC por cada bobina que atue de modo independente. Sendo a área de aplicação menor, o posicionamento das bobinas na faixa devem ser bem calculadas de modo a que o carregamento dinâmico seja mais preciso (Rosu et al., 2016).

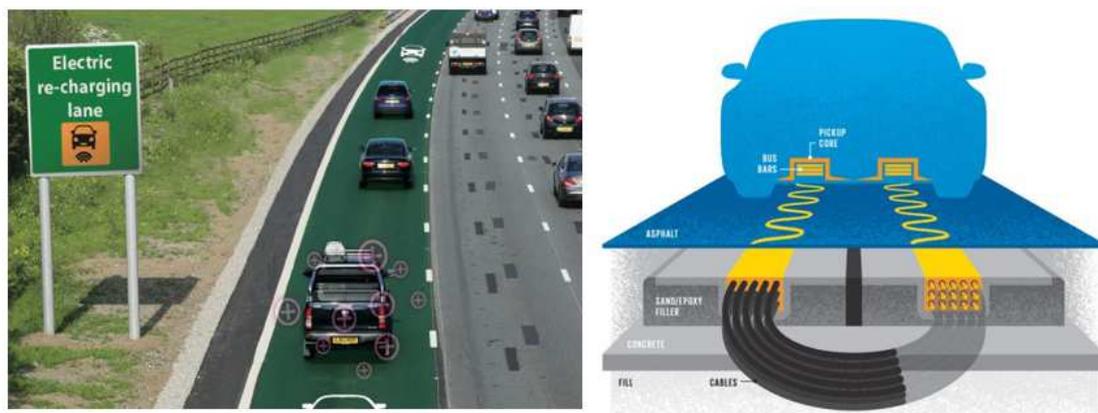


Figura 2.21 – Exemplo de modo de carregamento dinâmico.

A tecnologia sem fios surgiu com o objetivo de tentar acabar com o uso de cabos para se efetuar a recarga de baterias de veículos elétricos e assim facilitar o seu estacionamento para carregamento (Pellitteri et al., 2013).

A energia para este tipo de sistemas pode ser fornecida por um sistema autónomo de produção. Sendo os sistemas de carregamento tradicionais os que oferecem rendimentos mais elevados quando se trata de efetuar o carregamento dos veículos. Os sistemas de carregamento sem fios têm muitas perdas de eficiência na conversão de energia durante o carregamento quando comparados com os sistemas de carregamento por cabo (Pellitteri et al., 2013).

2.5.3 Sistemas de acoplamento para veículos pesados

O setor dos transportes são um dos grandes responsáveis pela libertação de GEE para a atmosfera, pelo que os transportes públicos têm tendência a acompanhar os investimentos feitos no setor elétrico rodoviário. Os *eBuses*, são a resposta aos problemas causados pelos transportes públicos relativamente à emissão de GEE, e contribuem para o transporte sustentável nas cidades. Estes veículos, devido ao número de viagens que efetuam por dia, necessitam de um maior número de estações de carregamento para suprir as necessidades energéticas das suas baterias.

A Siemens, desenvolveu um projeto denominado de *Offboard High Power Charger* e surgiu com o objetivo de eletrificar a rede de transportes públicos através de vários terminais de carregamento rápido instalados ao longo das rotas dos autocarros, figura 2.22. Este tipo de sistema permite uma grande flexibilidade na sua utilização pois os *eBuses* só necessitam de energia suficiente para viajar entre os terminais de carregamento. Além disso, este sistema mantém os autocarros em atividade ao longo de todo o dia, não estando restringidos à autonomia das suas baterias (Engineers Journal, 2017; Siemens AG, 2015; Siemens, 2015).



Figura 2.22 – Autocarro elétrico em recarregamento através do sistema *Siemens Offboard* (Engineers Journal, 2017).

Este sistema desenvolvido pela Siemens é composto por uma cabine elétrica e um pólo de carga. Por seu lado, o pólo de carga consiste em dois carregadores, um *Offboard* que está inserido no terminal de carregamento, e um *Onboard* que está inserido no autocarro. Os dois carregadores têm um pantógrafo que faz a ligação entre o autocarro e a fonte de energia, sendo que o pantógrafo do autocarro permite que este se ligue a catenárias de transito para manterem uma ligação direta à rede para as suas viagens (Siemens AG, 2015).

Quanto ao modo de funcionamento do sistema, este começa a funcionar quando há uma autenticação sem fios entre o eBus e o terminal de carregamento, fazendo descer o pantógrafo do terminal que ao conectar-se ao autocarro faz iniciar automaticamente o carregamento. O carregamento termina quando o estado de carga

definido estiver alcançado ou quando o motorista achar que a energia é suficiente para seguir a rota. O pantógrafo levanta-se e o autocarro segue a viagem até novo terminal de carregamento, figura 2.23 (Siemens AG, 2015; Siemens, 2015).

Os terminais de carregamento são de carregamento rápido com potências de 150, 300 ou 450 kW e o tempo de carga varia entre os 2 e os 9 minutos. A duração do carregamento depende do autocarro em serviço, das distâncias percorridas, do congestionamento do tráfego, das condições climáticas e do tamanho das baterias (Siemens, 2015).

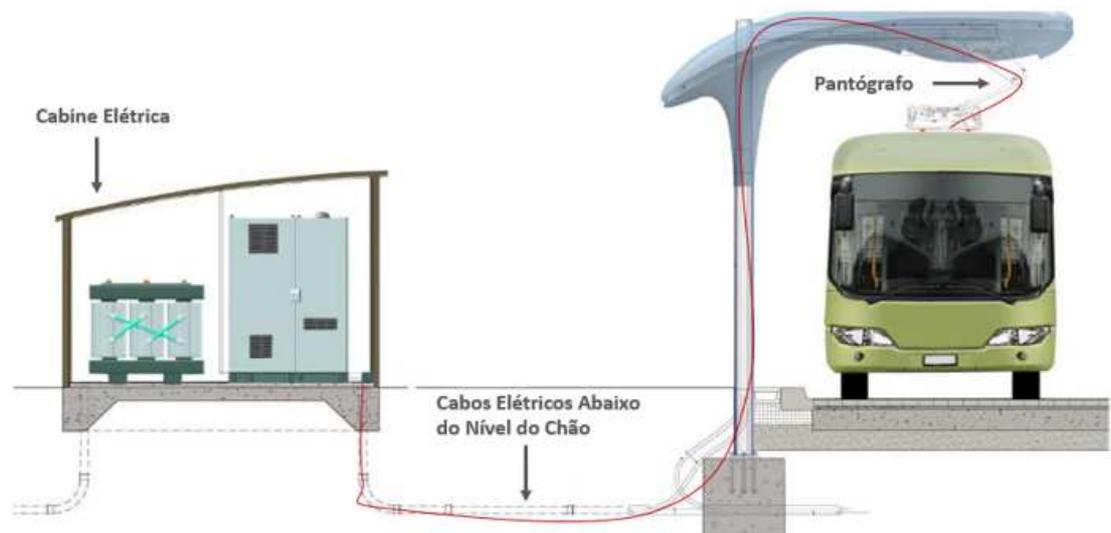


Figura 2.23 – Sistema de ligação do *Siemens Offboard High Power Charger* (Engineers Journal, 2017).

3

Tipos de Veículos Elétricos

Neste capítulo serão abordados: o funcionamento dos diferentes motores que constituem os automóveis, a percepção da utilização de motores elétricos em bicicletas e, uma vez que a energia elétrica tem sido o grande upgrade na locomoção terrestre, será ainda apresentada uma análise comparativa das vantagens e desvantagens entre os veículos convencionais e os veículos elétricos e, por último, a análise das especificações dos motores elétricos, normas de utilização e legislação aplicável no carregamento de veículos elétricos.

3.1 Motorização dos veículos elétricos

Apesar de algumas tecnologias de locomoção estarem a ser estudadas, até agora os veículos automóveis podem ser movimentados através de quatro recursos energéticos diferentes: energia mecânica, como é o caso de veículos de combustão interna; energia elétrica e energia mecânica, como é o exemplo de veículos híbridos; energia elétrica, onde os veículos são movidos através de motores elétricos de baterias recarregáveis; energia eletroquímica, que são veículos movidos a células de combustível, utilizando hidrogénio líquido como combustível. Além dos automóveis, também as bicicletas

são outro tipo de veículos onde se pode utilizar a energia elétrica como fonte de energia. A aplicação dos sistemas elétricos, utilizando a estrutura base de uma bicicleta convencional, permite aumentar as distâncias percorridas reduzindo o esforço utilizado durante a sua utilização. Paralelamente a isso, a aplicação destes sistemas permite ainda que este meio de transporte se torne mais prático, cómodo e acessível a todos os utilizadores.

3.1.1 Automóveis

Os **veículos de combustão interna**, figura 3.1, representam praticamente todo o setor rodoviário em Portugal. A combustão interna funciona a quatro tempos: admissão, compressão, explosão e escape. São considerados motores alternativos de ciclo Otto ou Diesel de acordo com o combustível utilizado, sendo que a gasolina está associada ao ciclo Otto e o gasóleo ao ciclo Diesel (Willard W. Pulkrabek, 1997). Motores de ciclo Otto são os motores mais utilizados nos veículos, sendo a gasolina o combustível mais utilizado do mundo. Este tipo de motor funciona por ignição de faísca, onde o pistão, ao executar os quatro estágios da combustão interna faz movimentar o veículo. O primeiro estágio a ser realizado pelo pistão é a admissão, onde o pistão desce no motor para aspirar a mistura de ar e combustível, sendo que, posteriormente, o pistão executa a compressão da mistura que explode (devido às condições termodinâmicas de compressão) quando é acionada a ignição. Por último, o pistão expulsa os gases produzidos pela combustão através do escape (Willard W. Pulkrabek, 1997).

O ciclo Diesel, baseado num motor alternativo de compressão, utiliza gasóleo como combustível. É semelhante ao ciclo Otto onde a única diferença a ser notada no estágio inicial de combustão. Nos motores de ignição por compressão, o ar é comprimido até uma temperatura acima da temperatura de autoignição do combustível, e a combustão é iniciada pelo contacto à medida que o combustível é injetado nesse ar quente, assim, a vela de ignição é substituída por um injetor de combustível nos motores de ciclo Diesel (Willard W. Pulkrabek, 1997).

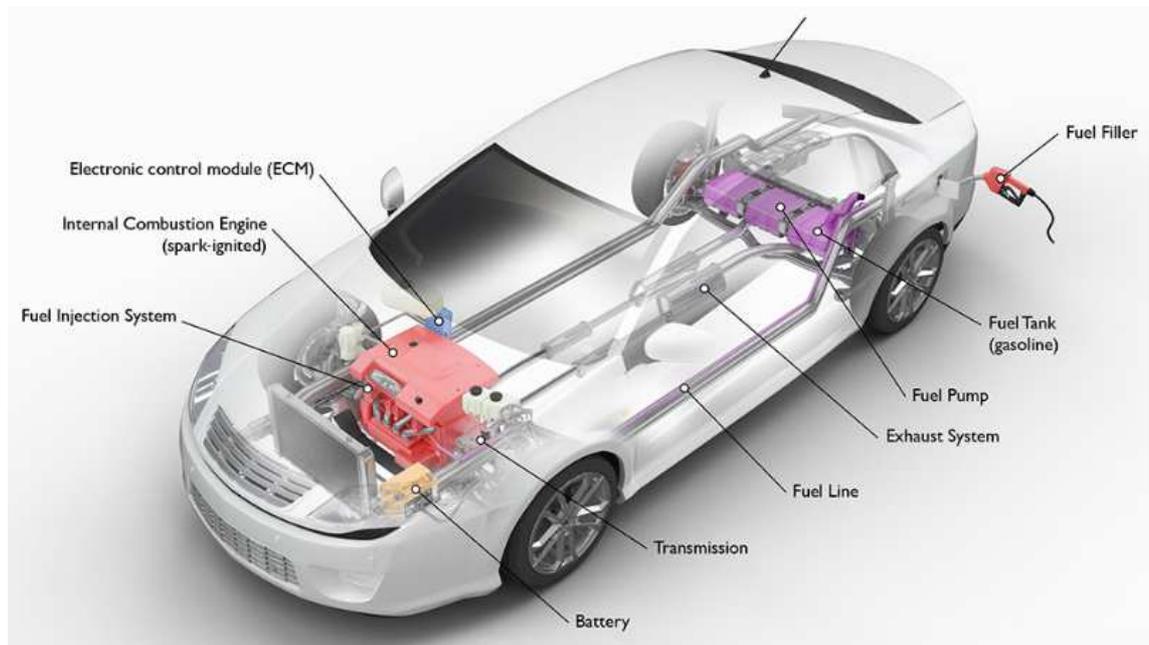


Figura 3.1 – Ilustração de um veículo a combustão interna (US Department of Energy, 2017).

Por outro lado, os **veículos híbridos** (HEV – Hybrid Electric Vehicles) são veículos que combinam o uso do motor elétrico e motor de combustão, figura 3.2, e utilizam um componente, denominado de *drivetrain*, que funciona como um conjunto de estruturas mecânicas e elétricas que fornecem energia do motor elétrico ou mecânico para as rodas do veículo. A posição do *drivetrain* determina o funcionamento do conjunto de motores, e podem ser classificados em híbridos em série, híbridos em paralelo ou híbridos paralelo/série. O design do *drivetrain* afeta a eficiência do veículo, o consumo de combustível e o preço do veículo (Byrne and Pedro, 2016).

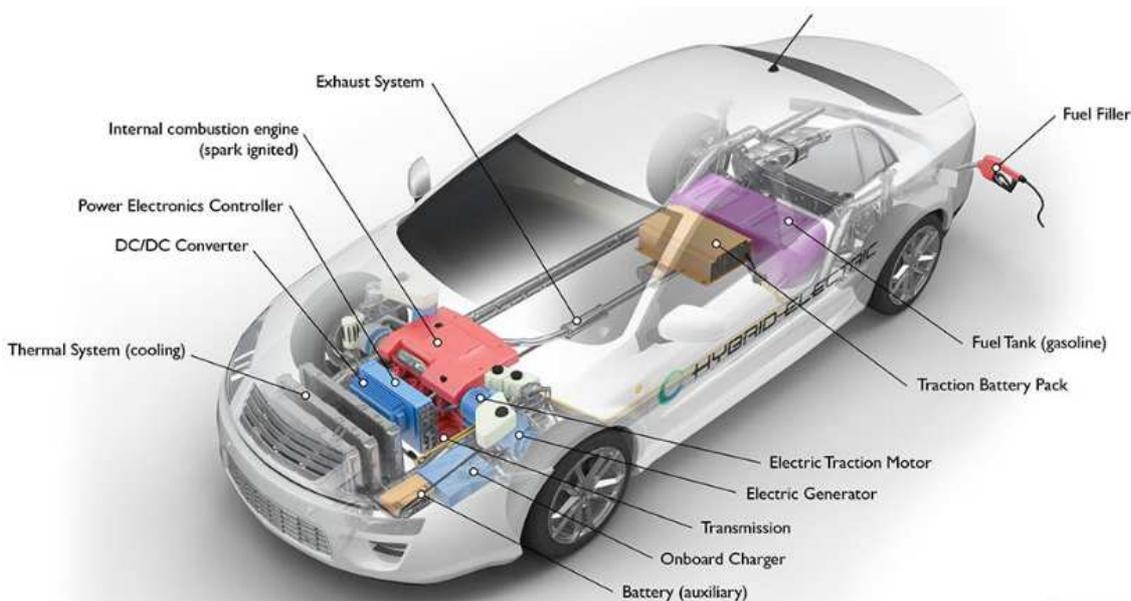


Figura 3.2 – Ilustração de um veículo híbrido (US Department of Energy, 2017).

Híbrido em série

É o modo de funcionamento mais simples, neste tipo de configuração o motor elétrico é o único que fornece energia às rodas. O motor recebe energia elétrica da bateria ou do gerador alimentado pelo motor de combustão. Os veículos têm ainda na sua estrutura um controlador que determina o nível de energia que o veículo necessita e a bateria pode ser recarregada através do sistema de travagem e/ou do motor de combustão. O controlador, na maior parte das vezes, controla o tipo de energia que alimenta o movimento do veículo, contudo este controlo pode ser feito pelo utilizador. O controlador tenta economizar ao máximo o motor, tornando assim qualquer viagem o mais eficiente possível (Union of Concerned Scientists, 2017).

Híbrido paralelo

Os motores de combustão e elétrico estão instalados de modo a fornecer a energia de propulsão isoladamente ou em conjunto. Os dois motores transmitem o movimento às rodas através de um sistema de embraiagem controlado automaticamente e que poderá combinar ou mudar a potência do motor de combustão e do elétrico. Este tipo

de veículo utiliza baterias menores do que os híbridos em série e também utilizam a travagem regenerativa para recarregar as baterias, bem como a geração de energia no motor quando os níveis de energia na bateria estão baixos. Os veículos híbridos paralelos são menos eficientes que os híbridos em série, porque, uma vez que o seu *drivetrain* está construído em paralelo a energia dissipada ao longo do movimento do veículo é mais elevada (Union of Concerned Scientists, 2017).

Híbrido série/paralelo

Este tipo de *drivetrain* baseia-se no conjunto dos dois motores híbridos já mencionados. Esta estrutura é a utilizada, por exemplo, pelo Toyota Prius, que utiliza o motor elétrico a baixas velocidades (utilizando mais o sistema híbrido em série), e a velocidades mais elevadas o motor de combustão entra em funcionamento, minimizando as perdas de energia, tornando neste sistema o mais eficiente dos três (Union of Concerned Scientists, 2017).

Para além destes três tipos de veículos híbridos, existe ainda uma outra opção denominada de veículo híbrido *plug-in*. Os **veículos híbridos *plug-in*** (PEV – Plug-In Electric Vehicles) são veículos que combinam o motor de combustão com um motor elétrico alimentado por baterias de iões de lítio, figura 3.3. Estes tipos de veículos necessitam de cabos de conexão e de uma tomada para recarregar as baterias. Contudo, este design permite que se façam viagens exclusivamente no modo elétrico, sendo que a autonomia do modo elétrico depende do tamanho e da eficiência da bateria. Por outro lado, este tipo de estrutura permite ao utilizador escolher em que modo prefere fazer a viagem (Union of Concerned Scientists, 2017).

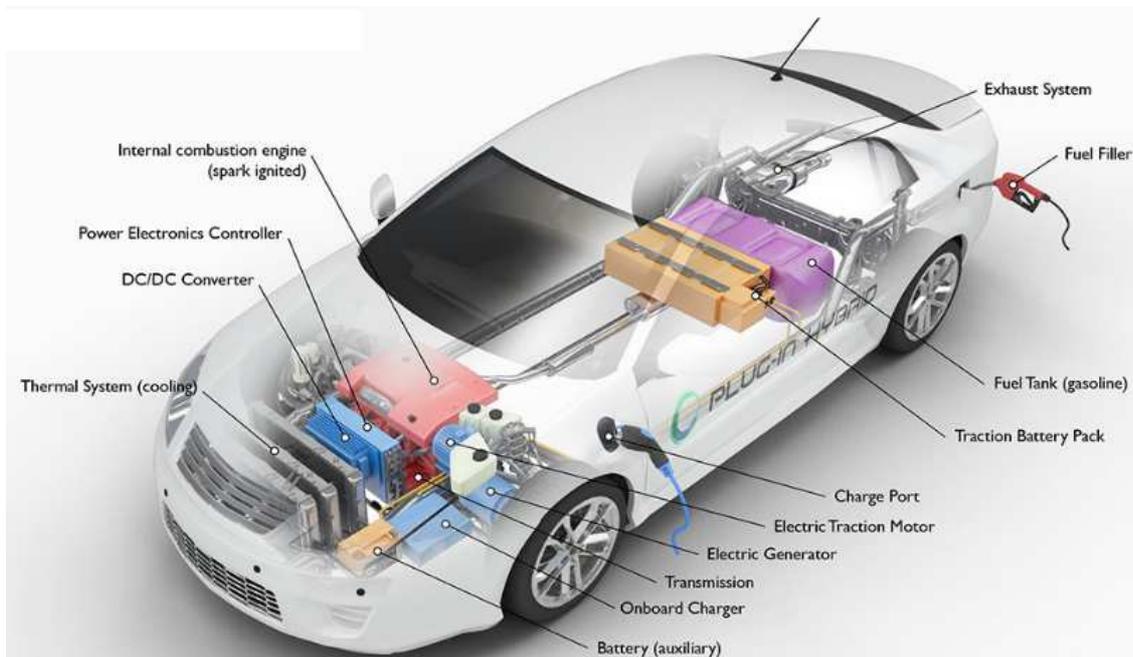


Figura 3.3 – Ilustração de um veículo híbrido *plug-in* (US Department of Energy, 2017)

Este tipo de veículos automóveis têm surgido com o objetivo de reduzir as emissões de GEE para a atmosfera, pelo que a aposta na comercialização de VE a baterias é um feito notável e que se avizinha com forte crescimento na indústria automóvel. Os **veículos a baterias** (BEV – Batteries electric vehicles), são veículos em que a sua locomoção depende exclusivamente de um motor elétrico que é alimentado por baterias recarregáveis, figura 3.4. A recarga é feita através de uma tomada e o tempo de carga depende da capacidade da bateria, da tensão e da potência de alimentação. A utilização de veículos elétricos é de uso limitado, pelo que é necessária a criação de pontos de carregamento, à semelhança dos pontos de abastecimento existentes para os utilizadores de veículos a combustíveis fósseis. No que diz respeito ao seu funcionamento, os VE convertem a energia elétrica, disponível nas baterias, em energia mecânica, sendo que no momento de aceleração disponibilizam todo o binário instantaneamente, o que faz com que a aceleração seja muito rápida. Para economizar a energia utilizada no movimento, este tipo de veículos utiliza a mesma tecnologia de travagem regenerativa, onde a energia cinética utilizada na travagem é utilizada para recarregar a bateria. Além do mais, tem o sistema de *Start and Stop*,

tecnologia esta que também é utilizada em veículos a combustão interna (Byrne and Pedro, 2016; Union of Concerned Scientists, 2017).

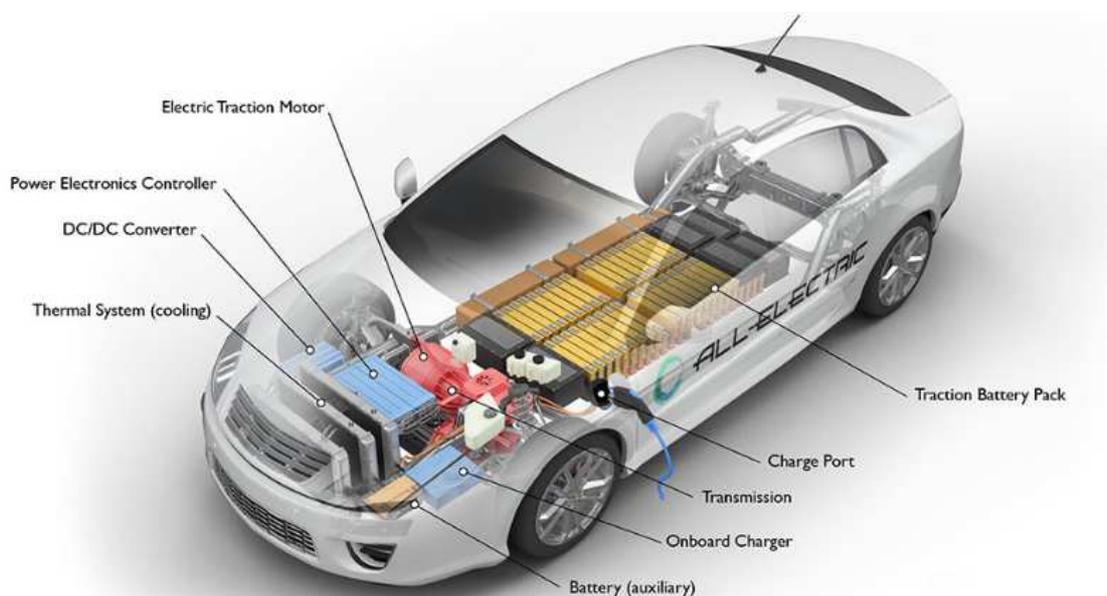


Figura 3.4 – Ilustração de um veículo elétrico (US Department of Energy, 2017).

Apesar da sua tecnologia estar ainda em desenvolvimento, existe ainda a utilização de energia eletroquímica para movimentar os veículos automóveis. Estes veículos utilizam o hidrogénio líquido como combustível e são denominados de **veículos a células de combustível** (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle), figura 3.5. Neste tipo de veículos, a forma mais comum de células de combustível é através de uma membrana eletrolítica onde o hidrogénio e o oxigénio estão presentes no ânodo e no cátodo, respetivamente. A energia é obtida através da combinação de eletrões e prótons libertado pelas reações eletroquímicas no catalisador de combustível. Quando comparados com os VE atuais, os FCEV reabastecem com maior velocidade, uma vez que o hidrogénio como combustível está presente num gás pressurizado que é injetado no veículo de uma maneira semelhante aos veículos de combustão interna (Byrne and Pedro, 2016; US Department of Energy, 2017).

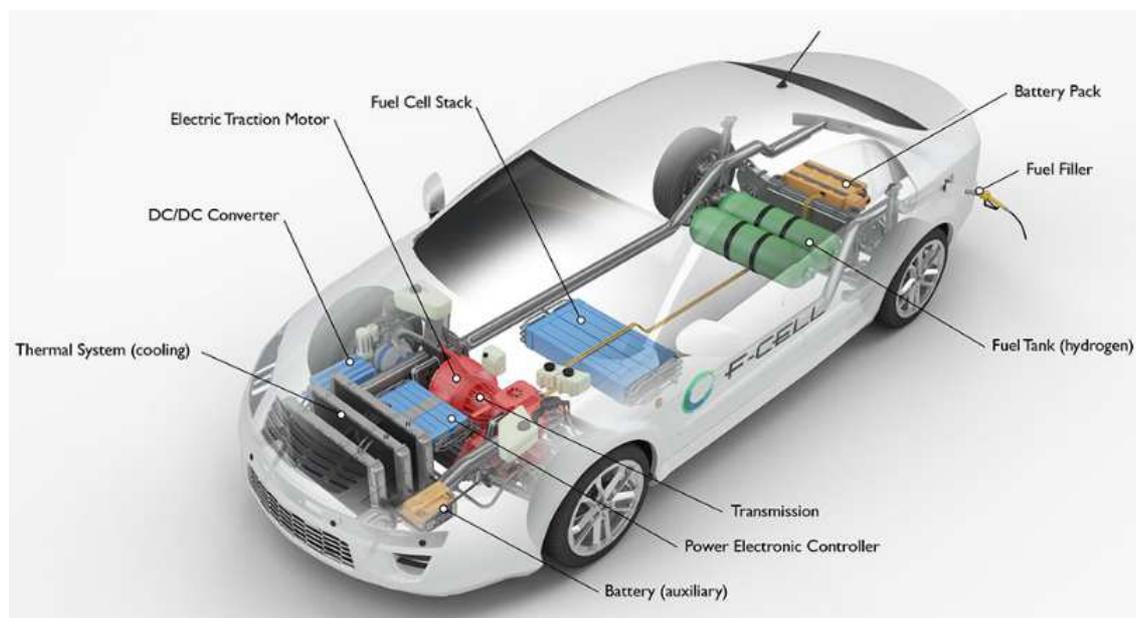


Figura 3.5 – Ilustração de um veículo a células de combustível (US Department of Energy, 2017).

3.1.2 Bicicletas

O funcionamento das bicicletas elétricas (BE) tem algumas semelhanças aos automóveis elétricos, isto é, apoiam-se num sistema composto por um motor elétrico, uma bateria, sendo que a única diferença é o *drivetrain* (conjunto da pedaleira, corrente e pinhão). Deste modo, o motor elétrico é o responsável pelo auxílio da locomoção do veículo e pode ser de três tipos diferentes: eixo frontal, eixo traseiro e eixo central (EVELO et al., 2017).

- **Eixo frontal:** o motor é colocado na roda da frente e o movimento do motor é responsável por girar a roda criando a sensação da bicicleta estar a ser puxada.
- **Eixo traseiro:** ainda que o motor seja colocado na roda traseira, o seu modo de funcionamento é semelhante ao motor de eixo frontal, contudo este tipo de motor torna o movimento da bicicleta mais parecida ao movimento de uma bicicleta convencional.

- **Eixo central:** o motor é colocado no quadro da bicicleta e auxilia o movimento dando potência no sistema de *drivetrain*, criando a sensação de um movimento natural.

Para além de um motor, este tipo de bicicletas possuem uma bateria que armazena energia elétrica do carregamento e que, dependendo das características da bateria, têm uma autonomia média de 50 km, figura 3.6. Existem essencialmente dois tipos de baterias: **bateria com assistência do pedal** no qual a bateria fornece energia quando os pedais estão a funcionar, e **sistema elétrico de baterias** que é quando a bateria fornece energia quando os pedais não estão a funcionar (EVELO et al., 2017).



Figura 3.6 – Ilustração de uma bicicleta elétrica.

O tempo de carregamento depende da qualidade e das características da bateria, isto é, uma bateria com menor qualidade, no caso das baterias de chumbo-ácido, demora entre 6 a 8 horas para fazer uma carga total e tem um ciclo de vida de cerca de 500 descargas, enquanto que uma bateria de maior qualidade, como é o caso das

baterias de lítio, tem um tempo de carga entre 2 a 4 horas e o seu ciclo de vida é de cerca de 1.000 descargas (e-Bike, 2017).

3.2 Normas de utilização

O carregamento de veículos elétricos em Portugal esta sujeito a normas de utilização. Para isso foi utilizado o Guia Técnico de Instalação Para Veículos Elétricos, que tem como base a aplicação das Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão – RTIEBT. As regras do guia técnico estão sujeitas a ligações de corrente alternada em baixa tensão destinados a alimentar as tomadas ou postos de carregamento de veículos elétricos em instalações novas ou até mesmo instalações já existentes, não se aplicando a outros processos que não a condução elétrica, como por exemplo sistemas de carregamento por indução eletromagnética.

Assim, como foi visto no capítulo anterior, existem quatro modos diferentes de efetuar o carregamento de VE e três tipos de conexão ao veículo elétrico, sendo que são reconhecidos, no guia de instalação, pela ordem numérica e ordem alfanumérica, respetivamente (Direção Geral de Energia e Geologia, 2015; RTIEBT, 2006).

3.2.1 Tipos de conexão de VE

O primeiro tipo de conexão é o **caso A** onde a conexão do VE à instalação de alimentação é feita em corrente alternada por meio de um cabo de carga, que inclui a ficha que está ligada ao veículo de forma permanente, figura 3.7. Este tipo de conexão pode ser efetuado de duas formas diferentes:

- **Caso A1:** O cabo de carga é ligado a uma tomada pertencente à instalação elétrica fixa.
- **Caso A2:** O cabo de carga é ligado a um posto de carregamento específico.

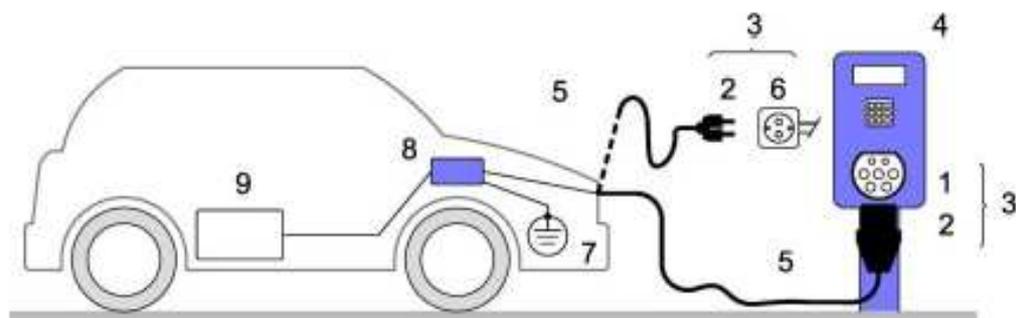


Figura 3.7 – Tipo de conexão - Caso A (RTIEBT, 2006).

Legenda: **1.** Tomada do posto de carregamento; **2.** Ficha; **3.** Sistema ficha/tomada; **4.** Posto de carregamento (PC); **5.** Cabo de carga; **6.** Tomada para usos domésticos ou industriais ou específica para carga de VE; **7.** Ligador de massa do VE; **8.** Carregador integrado no VE; **9.** Bateria de acumuladores (bateria de tração).

O segundo tipo de conexão é o **caso B** e trata-se de uma conexão do VE à instalação de alimentação em AC por meio de um cabo de carga que não está ligado ao veículo de forma permanente (separado) e que inclui o conector móvel do VE e o equipamento de alimentação AC, figura 3.8. Existem duas formas diferentes de conectar o veículo à rede:

- **Caso B1:** O cabo de carga é ligado a uma tomada pertencente à instalação elétrica fixa.
- **Caso B2:** O cabo de carga é ligado a um posto de carregamento específico.

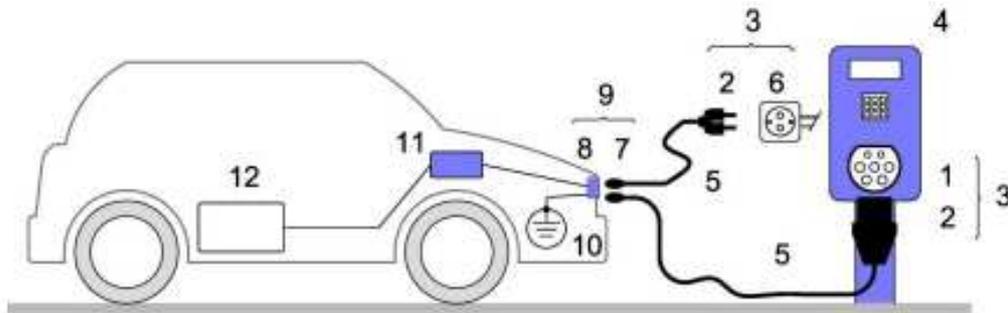


Figura 3.8 – Tipo de conexão - Caso B (RTIEBT, 2006).

Legenda: **1.** Tomada do posto de carregamento; **2.** Ficha; **3.** Sistema ficha/tomada; **4.** Posto de carregamento (PC); **5.** Cabo de carga; **6.** Tomada para usos domésticos ou para usos industriais ou específica para a carga de VE; **7.** Conector móvel do VE; **8.** Entrada do conector do VE; **9.** Sistema de conexão do VE; **10.** Ligador de massa do VE; **11.** Carregador integrado do VE; **12.** Baterias de acumuladores (bateria de tração).

O **caso C** é a última forma de conexão do veículo à rede e destina-se a uma conexão do VE à instalação de alimentação em AC por meio de um cabo de carga, que inclui um conector móvel de VE e que está ligado ao posto de carregamento de forma permanente, figura 3.9.

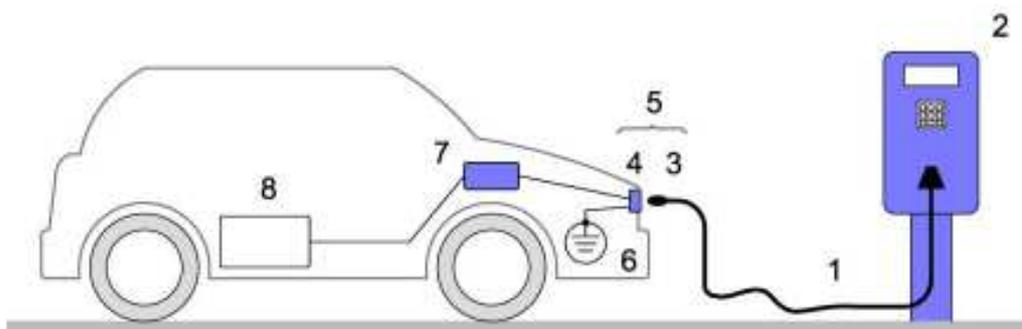


Figura 3.9 – Tipo de conexão - Caso C (RTIEBT, 2006).

Legenda: **1.** Cabo de carga; **2.** Posto de carregamento (PC); **3.** Conector móvel do VE; **4.** Entrada do conector do VE; **5.** Sistema de conexão do VE; **6.** Ligador de massa do VE; **7.** Carregador integrado no VE; **8.** Bateria de acumuladores (bateria de tração).

3.3 Especificações dos motores elétricos

Os motores elétricos têm tido uma vasta procura na aplicação aos transportes. Contudo a sua utilização depende das necessidades dos veículos dependendo da sua mobilidade, isto é, dependendo do tipo de veículo.

É certo que automóveis e bicicletas, devido às suas características como o seu peso, o uso que lhe é dado ou até mesmo às distâncias que se podem percorrer, têm aplicações de sistemas elétricos para locomoção diferentes. Deste modo, as baterias têm um desempenho fundamental nos sistemas elétricos dos veículos, uma vez que quanto maior for a capacidade da bateria maior será a autonomia do veículo. Além do mais, os tempos de carga, a duração da mesma e os ciclos de vida diferem de veículo para veículo e de marca para marca.

Muitas marcas têm apostado na venda de veículos elétricos devido e é natural que a procura deste tipo de veículos venha a aumentar ao longo dos próximos anos, apoiada com a maior oferta e melhores desempenhos.

Analisando os automóveis elétricos mais vendidos em Portugal e o modelo S P100D da Tesla (melhor desempenho do mercado em Portugal), podemos comparar através da tabela 3.1 os tipos de baterias e as características dos motores e perceber as diferenças entre elas (EAFO, 2017; UVE, 2017). Todos os modelos considerados são constituídos por baterias de iões de Lítio.

É importante perceber que o tempo de carga dos veículos depende de fatores como: estado de carga da bateria, tipo de carregador utilizado (que pode variar entre carregadores domésticos, normais ou rápidos) e corrente utilizada no carregamento (a utilização de corrente DC permite um carregamento mais rápido devido a não ser necessária a conversão no carregamento) (UVE, 2017).

Tabela 3.1 – Características de alguns automóveis elétricos vendidos em Portugal (BMW, 2017; Mercedes, 2017; Mitsubishi, 2017; Nissan, 2017; ZEEV, 2017).

Veículo	Autonomia	Tempo de carga	Carregador	Bateria	Carregamento
BMW 330e (PHEV)	40 km	4 h	-	7,6 kWh	-
BMW i3 (BEV)	200 km	8 h (80 %)	11 kWh	33 kWh	50 kWh CCS
Mercedes C350e (PHEV)	65 km	2 h	-	6,2 kWh	-
Mitsubishi Outlander (PHEV)	54 km	6h30m	-	12 kWh	-
Nissan Leaf (BEV)	250 km	12 h	6,6 kWh	24/30 kWh	50 kWh CHAdeMO
Renault Zoe (BEV)	240 km	8 h	43 kWh	22 kWh	-
Tesla Model S P100D (BEV)	570 km	9 h	16,5 kWh	100 kWh	50 kWh CHAdeMO, 135 kWh <i>Supercharger</i>

Do mesmo modo, para conhecermos as motorizações das bicicletas elétricas, foram comparados alguns modelos de BE, vendidos em Portugal, de modo a perceber as diferenças, entre elas a autonomia e o tempo de carga. Todos os modelos considerados são constituídos por baterias de íões de Lítio. A tabela 3.2 apresenta as características de algumas BE em Portugal.

Tabela 3.2 – Características de algumas bicicletas elétricas vendidas em Portugal (e-Bike, 2017).

Modelo	Autonomia	Tempo de carga	Bateria	Motor	Vel. máx.
A2B Hybrid 24	65 km	5 h	-	250 W	25 km/h
Baboe Big.e	80 km	7 h	13,5 Ah	250 W	25 km/h
Conor 6.700	55 km	5 h	10,4 Ah	250 W	30 km/h
Fat Bike Megamo	50 km	5 h	10,4 Ah	250 W	25 km/h
Geocycle	60 km	6 h	10 Ah	250 W	25 km/h

3.4 Legislação aplicável

Devido à evolução tecnológica nos VE, Portugal tornou-se num dos países pioneiros a apostar neste setor. Tendo em conta a aposta das energias renováveis no setor energético, foi necessário haver uma estruturação na legislação nacional. Como tal, a legislação tem vindo a sofrer pequenas alterações ao longo dos últimos anos, pois para uma utilização adequada dos serviços energéticos, é preciso que existam regras no uso dos VE. Convém referir que toda a legislação nacional tem como base a legislação existente na União Europeia, pelo que este ponto apresenta as principais leis que se sobrepõem à utilização dos VE.

3.4.1 Legislação Nacional

A primeira referência legislativa à introdução de veículos elétricos em Portugal surge na Resolução do Conselho de Ministros em 2009 (Diário da República, 2009a). Neste ano, surge a introdução do programa de mobilidade elétrica em Portugal, tendo em conta o Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética, onde o governo pretendia a criação de condições necessárias com vista à massificação do uso de VE, desenvolvendo um modelo de serviço que permitisse que qualquer cidadão ou organização fizesse uso deste programa. Neste mesmo documento foram introduzidos como objetivos: o enquadramento legal e regulamentar para a execução do programa, definição do modelo de mobilidade elétrica em Portugal, definição do plano de trabalho e responsabilidades de todos os envolvidos na rede de mobilidade elétrica, definição e implementação do plano de comunicação orientado para os diferentes intervenientes do lado da oferta e/ou da procura (Diário da República, 2009b).

No mesmo ano, e novamente em Conselho de Ministros (RCM 81/2009), houve uma regularização da organização da rede de mobilidade elétrica. O programa de mobilidade elétrica é focado na redução da dependência energética e no combate às alterações climáticas, pelo que a criação deste programa permite que a utilização dos veículos elétricos crie competitividade face aos veículos convencionais, havendo

ainda a criação de infraestruturas de carregamento de veículos elétricos adequadas à evolução deste programa em Portugal. Os objetivos implementados pelo RCM 81/2009 tem como objetivos: aceleração do processo de adoção de veículos elétricos, incentivar a criação de condições atrativas ao investimento no setor de VE, fomentar a utilização de energias renováveis (assegurando os objetivos do protocolo de Quioto), garantir ao utilizador a equidade e universalidade no acesso ao carregamento de VE com a introdução de pontos de carregamento em parceria com os municípios (Diário da República, 2009b).

Meses depois surge o Decreto Lei nº39/2010, que retificou a rede de mobilidade elétrica o que permitiu posicionar o país como pioneiro na adoção estratégica de VE e que definiu como objetivos: incentivar a utilização de veículos elétricos, garantir que o carregamento de baterias de VE é realizada através de uma rede de carregamento integrada, consagrar um regime de universalidade e equidade no acesso aos serviços de mobilidade elétrica. Foram ainda implementadas as condições para a utilização de VE através da regulamentação de toda a estrutura da rede de mobilidade elétrica (comercialização, operação e gestão da rede de mobilidade elétrica).

Entre os anos de 2010 e 2012 houve, no entanto, alterações ou acrescentos à legislação já existente, com a introdução do Decreto Lei nº170/2012 e do Decreto Lei nº90/2014, onde foram feitas as revisões necessárias para a mobilidade elétrica, formalizando a utilização de dístico identificativo nos VE.

Após a aprovação do DL 90/2014, houve a necessidade de implementar uma evolução na estratégia e na potenciação da mobilidade elétrica. Tendo em conta todas as alterações efetuadas desde a criação do programa de mobilidade elétrica, foi importante consolidar todas as ações e foi então elaborado, através do Despacho nº8809/2015, o Plano de Ação para a Mobilidade Elétrica, onde os objetivos principais se impõe no aumento da eficácia e eficiência dos transportes nacionais (com vista na redução de dióxido de carbono para a atmosfera); redução da dependência energética externa de Portugal no que respeita à importação de combustíveis fósseis; internacionalização, competitividade e modernização da indústria portuguesa; dinamização da sociedade civil, promovendo a mobilidade elétrica. Foi ainda tido em

conta a evolução do paradigma de carregamento de VE e da atividade de operação dos pontos de carregamento, isenção de taxas na aquisição de VE, evolução tecnológica dos pontos de carregamento; introdução de novos serviços como o carregamento inteligente integrado, entre outros (Diário da República, 2015).

Até ao ano de 2016, foram introduzidas na legislação portarias, entre elas a Portaria nº240/2015 (fixou os valores das taxas das licenças de comercialização para a mobilidade elétrica e de operação de pontos de carregamento), a Portaria nº241/2015 (estabeleceu os requisitos técnicos para o exercício da atividade de operação de pontos de carregamento da rede de mobilidade elétrica), a Portaria nº854/2015 (definiu o programa de mobilidade elétrica com o propósito de criar condições para a massificação do veículo elétrico), a Portaria nº220/2016 (estabeleceu as potências mínimas e as regras técnicas a que devem satisfazer as instalações de carregamento de veículos elétricos em edifícios), a Portaria nº221/2016 (regulamentou a organização, acesso e exercício das atividades de mobilidade elétrica e criou condições jurídicas para o estabelecimento de uma rede piloto de mobilidade elétrica), a Portaria nº222/106, de 11 de Agosto de 2016 (estabeleceu os termos aplicáveis às licenças de utilização privativa de domínio público para a instalação de pontos de carregamento) (UVE, 2017).

Desde então e até ao presente, tendo em conta a importância relevante na utilização de veículos elétricos, foi publicado o RCM nº49/2016 que prevê a segunda fase da rede de mobilidade elétrica (MOBI.E, 2017). Neste documento pudemos ver o número de pontos de carregamento espalhados pelo país e toda a estruturação para o desenvolvimento da segunda fase da Mobi.E. Além disso, saiu ainda um novo despacho (Despacho nº1612-B/2017) com o novo regulamento sobre o incentivo na aquisição de VE.

3.4.2 Legislação Europeia

Como referido anteriormente, a legislação portuguesa aproveita a base da legislação europeia, com metas relativas ao clima, energia e transportes, a serem apoiadas

pelos estados membros. Deste modo, surgem como principais diretivas as diretivas 2009/28/CE e a 2009/30/CE.

Na diretiva 2009/28/CE, relativa à promoção da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, definiu como objetivo, até 2020, que o investimento em energias renováveis deve ser melhorado de maneira a atingir 20 % de fontes renováveis totais na energia final, enquanto que a quota no setor dos transportes deve ser 10 % de energia proveniente de fontes renováveis (Parlamento Europeu, 2009).

Relativamente à diretiva 2009/30/CE, que se refere às especificações dos combustíveis utilizados, a Comunidade Europeia comprometeu-se, até 2020, a reduzir os gases com efeito de estufa em 30 %, sendo que a contribuição do setor dos transportes neste valor é de 6 %, uma vez que os transportes são responsáveis por 20 % dos gases de estufa emitidos para a atmosfera.

Já em 2014, foi definido em Parlamento Europeu a criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos. Esta implementação está presente na Diretiva 2014/94/EU onde surge o incentivo para o desenvolvimento de novas tecnologias e de inovação, sobretudo relacionadas com a descarbonização dos transportes, fazendo uma salva para o potencial que a eletricidade tem no aumento da eficiência energética no setor dos transportes. Neste caso, os Estados Membros devem assegurar a instalação de pontos de carregamento acessíveis ao público, a fim de permitir a circulação de veículos elétricos em zonas urbanas. O número de pontos de carregamento está diretamente relacionado com o número de veículos, uma vez que deve existir um ponto de carregamento por cada 10 automóveis elétricos.

4

Sistemas de carregamento

A energia elétrica disponível nos sistemas de carregamento pode ser obtida através de vários processos, podendo ser utilizados sistemas de energias renováveis, que podem fornecer energia de forma autónoma ou complementar com a rede, resultando numa otimização do fornecimento de energia ao carregamento de baterias.

Tendo como base o tema desta dissertação, e sabendo que existem vários sistemas de produção de energia elétrica, serão avaliados neste capítulo o modo de funcionamento dos pontos de recarregamento, bem como dois tipos de sistemas de produção de energia: os sistemas fotovoltaicos e os sistemas híbridos.

O objetivo deste capítulo é dar a entender o método de funcionamento de cada sistema para posteriormente serem aplicados num conceito de V2B, tendo em conta o campus da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

4.1 Sistemas de carregamento: topologias e funcionamento

Para se efetuar o carregamento de um VE é necessário um sistema de carregamento. Estes sistemas de carregamento podem ser de dois métodos: métodos controlados ou descontrolados. O método controlado passa pelo conceito de V2G, onde é necessário ter em atenção o preço da energia, a capacidade da rede elétrica, o estado da bateria e a vida útil da mesma. Por outro lado, o método descontrolado de carregamento é o que mais se utiliza, onde basta ligar o veículo à rede elétrica e deixá-lo a recarregar. Este último método pode provocar sobrecarga na rede elétrica caso não haja uma correta utilização dos sistemas de carregamento. Assim, é cada vez mais importante ter em conta a regulação da rede de energia, uma vez que os VE passam muito tempo parados em locais de estacionamento. Neste momento, o desafio passa pela criação de redes inteligentes de energia, com o objetivo de reduzir os custos de energia e simultaneamente alcançar um equilíbrio sustentável entre a produção e o consumo de energia. Para isso, os sistemas de carregamento podem ser combinados com sistemas renováveis de produção de energia (Monteiro et al., 2012).

A maioria dos sistemas de carregamento são feitos através do contacto físico entre o veículo e o carregador. O carregamento mais lento é feito através de corrente alternada e o carregamento mais rápido através de corrente contínua (Monteiro et al., 2012). Por esta razão, é necessário ter em conta o tipo de veículo que se pretende carregar, pois existe neste momento uma grande variedade de baterias, que vão desde os 0,5 kWh até aos 100 kWh de capacidade e com fluxos de carga variáveis. Quando se comparam as características de veículos como bicicletas e automóveis, é sabido que as suas necessidades elétricas são diferentes, isto porque as bicicletas têm baterias com baixa capacidade e não têm na sua estrutura componentes de carga, uma vez que o objetivo é poupar peso e manter um baixo custo de utilização. Por outro lado, os automóveis, por percorrem maiores distâncias, têm necessidades energéticas maiores, e trazem consigo componentes de carregamento para não haver dependência de se efetuar apenas carregamento doméstico (Electropaedia, 2017).

Existem quatro modos de carga que se podem dividir em 3 níveis de acordo com a estrutura e potência do sistema de carregamento. Os sistemas de nível 1 e 2 são sistemas de baixa potência e o sistema de nível 3 é um sistema de alta potência.

4.1.1 Sistemas de carregamento de nível 1 e 2

Um sistema de carregamento de nível 1, representa os sistemas de carregamento domésticos em que a potência máxima de carregamento é de cerca de 3,7 kW. A corrente no sistema é alternada monofásica, que funciona a partir de uma tomada convencional de 16 A ou 32 A para tensões de 230 V. Já o sistema de nível 2, representa um sistema de carregamento até 20 kW de potência, com corrente alternada monofásica ou trifásica até 80 A para tensões de 230 V/400 V. Este tipo de sistema já é desenvolvido para carregamento normal público, sendo necessário a instalação de um sistema de comunicação entre o veículo e o ponto de carregamento (Electropaedia, 2017).

Os sistemas de nível 1 e 2 têm na sua constituição um sistema de gestão de bateria, denominado por BMS, que monitoriza a tensão de carga, temperatura da bateria do sistema e controla o fluxo de carga com o objetivo de se terem tensões e correntes constantes. Além disso, o BMS ativa o circuito de proteção quando os limites da bateria são excedidos. A figura 4.1 ilustra um sistema de carregamento de nível 1 e 2.

A maior contrapartida deste tipo de sistemas é a sua taxa de conversão, uma vez que as tensões injetadas no sistema são variáveis. Além disso, estes sistemas necessitam de um disjuntor diferencial com ligação à terra, que funciona como interruptor do circuito em situações de falha na bateria ou no carregador ou curto-circuito.

Ambos os sistemas são projetados tendo em conta a flexibilidade do carregamento, uma vez que o objetivo do sistema é poder utilizar diferentes tipos de conectores para o carregamento dos VE (Electropaedia, 2017; MOBI.E, 2017).

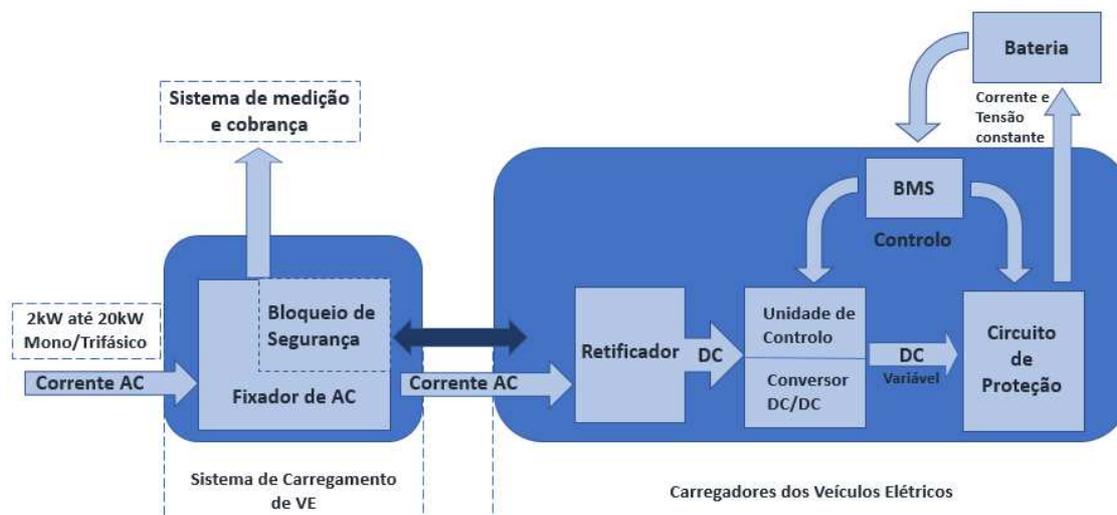


Figura 4.1 – Sistema de carregamento de nível 1 e 2.

4.1.2 Sistemas de carregamento nível 3

Os sistemas de nível 3, são projetados tendo em conta grandes potências de carregamento. Como tal, são sistemas de carregamento rápido, com correntes contínuas até 400 A e 600 V, e com potências que atingem os 240 kW.

Estes tipos de sistemas são muito mais caros devido à complexidade dos seus componentes que, ao invés dos carregadores de nível 1 e 2, são instalados na estação de carregamento de modo a poderem ser compartilhados por muitos utilizadores.

No caso destes sistemas, o BMS comunica com a estação de carga de modo a controlar a tensão e a corrente. Quanto ao controlo do fluxo de carga, esse é feito através de um sistema de gestão que está introduzido nos veículos elétricos, figura 4.2.

Para a instalação deste tipo de sistemas é necessário haver uma linha de energia dedicada que seja capaz de fornecer potências elevadas.

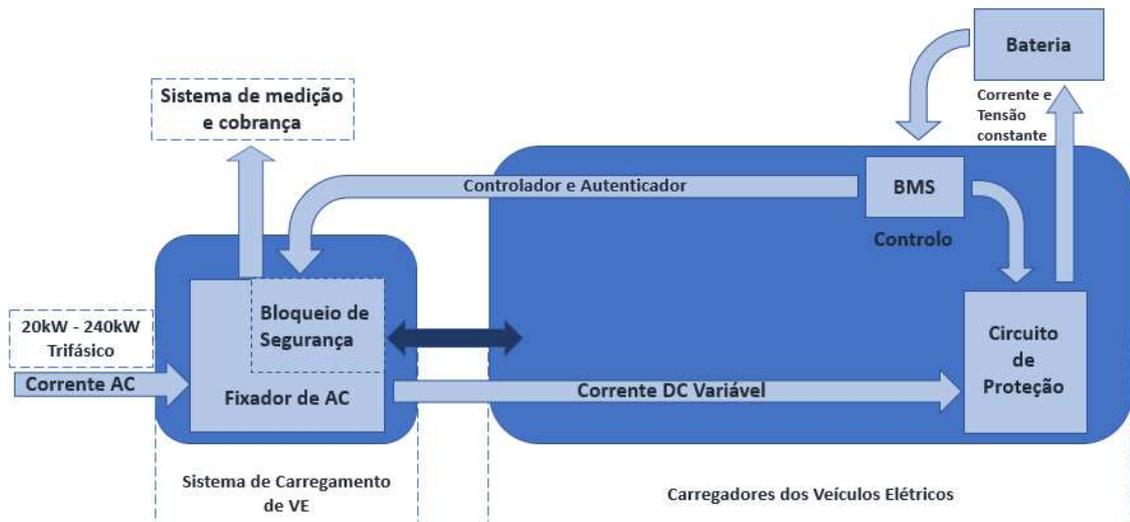


Figura 4.2 – Sistema de carregamento de nível 3.

Um exemplo deste tipo de sistemas é o CHAdeMO, que foi proposto tendo em vista uma normalização universal. Este sistema fornece potências até 62,5 kW com tensões entre os 50 V DC e os 500 V DC. O CHAdeMO é de origem japonesa e permite que o VE seja o controlador da função de carregamento. Contudo existe sempre um sistema de deteção e correção de erros que a cada 0,1 segundos faz a comunicação entre o veículo e o sistema de carregamento de modo a configurar a velocidade de transmissão de carga, ajustes de tensões e configuração de prioridades (Chademo, 2017; Electropaedia, 2017).

4.2 Produção de energia

A introdução excessiva de veículos elétricos no setor dos transportes pode ter um impacto negativo na rede de energia, uma vez que podem originar quebras ou flutuações nas redes de energia, o que poderá levar à instabilidade dos sistemas de carregamento.

Uma medida para reduzir os problemas associados à integração de VE na rede, é

a combinação dos sistemas de carregamento com sistemas de produção de energia renovável e sistemas de armazenamento. Para isso é necessário que o sistema de carregamento esteja ligado a um barramento de corrente, sendo que o método mais eficaz é a utilização de redes contínuas de média tensão (MTDC). Este método ajuda a reduzir o número de conversores necessários para a saída de energia e permite que haja uma ligação direta entre as necessidades da rede e dos utilizadores dos sistemas de carregamento.

A aplicação das energias renováveis no carregamento de VE representa um grande potencial na aplicação das redes MTDC, pois permite uma maior eficiência, uma redução de custos e uma maior flexibilidade quando comparadas com as redes de média tensão em corrente alternada. Além disso, a produção de energia renovável poderá colmatar as necessidades das redes, e os sistemas de armazenamento poderão garantir uma maior estabilidade quando existe muita procura de energia na rede (Torreglosa et al., 2015).

4.2.1 Sistema fotovoltaico

Como referido anteriormente, a introdução de sistemas de produção de energia renovável em sistemas de carregamento traz várias vantagens aos sistemas de carregamento de VE, sendo os sistemas de produção fotovoltaica um desses exemplos.

Portugal assume-se como um dos melhores países da Europa para aproveitamento da energia solar, com uma produção de 845 GWh (DGEG, 2017). Em média, Portugal Continental tem entre 2.000 e 3.000 horas de sol por ano, com uma média da irradiação entre 1.400 e 1800 kWh/m². Em Vila Real, local onde será aplicado o sistema de carregamento, esse valor ronda os 1500 kWh/m², figura 4.3, ADENE (2016).



Figura 4.3 – Mapa de irradiação solar em Portugal Continental.

Os painéis fotovoltaicos produzem energia elétrica a partir da radiação solar através do efeito fotoelétrico. Estes painéis são compostos por módulos de células fotovoltaicas, constituídas por materiais semicondutores, geralmente silício, que ao ser adicionado substâncias dopantes cria as condições necessárias à realização do efeito fotoelétrico ADENE (2016); Proença (2007).

Os sistemas solares fotovoltaicos são constituídos por um painel solar, que produzem uma tensão DC e por um inversor de corrente alternada que é posteriormente fornecida à rede elétrica ou então armazenada em baterias (ADENE, 2016).

A energia produzida pelos painéis fotovoltaicos varia de acordo com a radiação solar,

número de módulos e eficiência dos painéis, sendo que cada célula fotovoltaica produz cerca de 1,5 W correspondentes a uma tensão de 0,5 V e corrente de 3 A (Costa, 2013; Proença, 2007). Para se comparar quais os melhores painéis solares a serem utilizados neste tipo de sistemas, temos de avaliar as condições STC (*Standard Test Conditions*), onde os painéis são submetidos a condições de referência com radiação solar de 1.000 W/m² e à temperatura ambiente de 25°C. Contudo, devido à variabilidade dos painéis e das condições de exposição, estas condições ocorrem muito raramente. Para além dos valores de referência STC, existe também os valores de referência NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*), onde se considera a radiação solar de 800 W/m² e temperatura ambiente de 20°C (Costa, 2013; Krinat Solar, 2017).

4.2.2 Sistemas eólicos

A energia eólica, responsável por cerca de 20 % da energia renovável em Portugal, com uma produção anual de cerca de 12 GWh (APREN, 2017; DGEG, 2017), tem potencial suficiente para cobrir uma taxa de penetração de VE de praticamente 50 %, isto considerando apenas a produção pública de energia eólica (Freire et al. (2010)).

Os sistemas de produção de energia eólica, quando combinados com os sistemas de produção de energia fotovoltaica trazem uma maior eficiência ao sistema de carregamento de VE, isto porque, devido à variabilidade na produção de energia elétrica, os sistemas híbridos podem produzir energia durante todo o dia, ao contrário de um sistema solar fotovoltaico que apenas produz energia elétrica durante o dia.

A energia de origem eólica é produzida a partir de torres eólicas, denominadas de aerogeradores, que podem ser de eixo vertical ou horizontal, mas que usam o mesmo princípio de funcionamento. Essas torres eólicas são compostas por pás, conectadas a uma turbina que, de acordo com a velocidade do vento incidente, fazem girar um gerador para produção de eletricidade (US Department of Energy, 2017). Quanto à energia produzida, essa depende da localização, da potência dos geradores, e do

coeficiente de potência do aerogerador.

Relativamente à região de Vila Real, esta é uma das regiões do país com maior índice de eolicidade, sendo que no primeiro trimestre de 2017, a subzona do Marão e Alvão, zona no qual está inserido este projeto, foi a quarta subzona do país com maior índice de eolicidade com 133%, o que significa que a produção nesta zona foi superior à média anual, figura 4.4, (Megajoule and APREN, 2017).

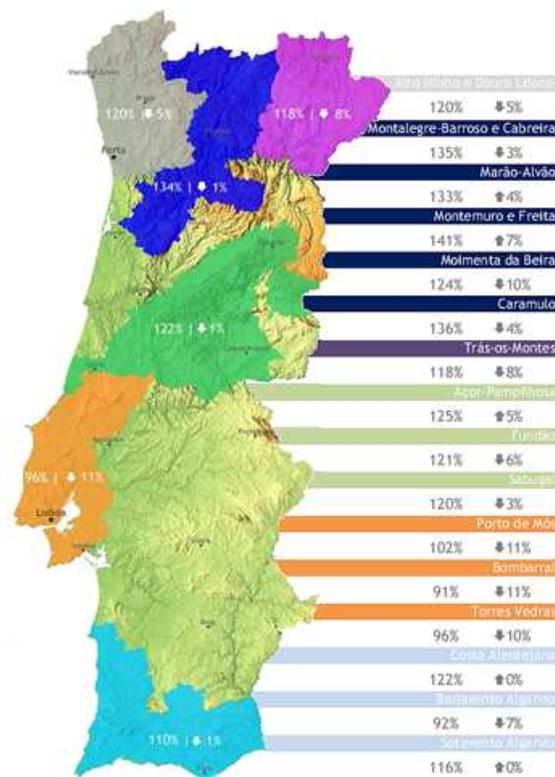


Figura 4.4 – Índice eolicidade em 2017, em Portugal.

4.2.3 Limitações dos sistemas de produção de energia renovável

Os sistemas de produção de energias renovável podem ser enquadrados em Unidades de Pequena Produção (UPP), onde toda a energia produzida é injetada na rede elétrica, ou em Unidades de Produção de Autoconsumo (UPAC), onde é utilizada a

energia produzida para consumo próprio, sendo o excedente armazenado ou injetado na rede. A limitação das UPP, a potência máxima de ligação, em cada ano tem de ser igual ou inferior à potência contratada e não pode ser superior a 250 kW. Este regime de produção não pode ser combinado com nenhum outro sistema de produção e a potência de ligação, em cada ano civil, não pode ser superior à quota anual de 20 MW. Relativamente ao regime de UPAC, pode ser combinado com outros sistemas de energias renováveis, e a potência instalada tem de ser inferior, ou igual, ao dobro da potência contratada e a sua produção anual não pode exceder o dobro do consumo (Bright Solar, 2017; Diário da República, 2014; Pereira, 2015).

4.3 Produção de energia para sistemas de carregamento

Tendo em conta a utilização mais adequada das redes de energia no carregamento de VE, a utilização de sistemas de produção de energia renovável é mais vantajosa em redes de MTDC. Deste modo, é possível a criação de redes eficientes de energia, com a redução de perdas no sistema, influenciadas pela menor taxa de conversão ao longo de todo o sistema, sendo que permanecem quase inalteradas as condições de curto circuito, diferenças de tensão, fluxos de energia e ângulos de fase (Torreglosa et al., 2015). Assim, podemos distinguir os sistemas de carregamento de VE combinados com sistemas de produção de energia renovável em três situações distintas: com ligação direta à rede, ligação direta ao veículo e com a utilização de um sistema de armazenamento.

4.3.1 Exemplo de funcionamento de um sistema de carregamento

Um exemplo de um sistema com ligação a baterias de armazenamento foi utilizado apresentado por Torreglosa et al. (2015) onde usaram um sistema composto por duas unidades de carregamento rápido de 48kW, em modo de carga 4 e nível 2. O sistema

carrega os VE em corrente contínua com tensões abaixo de 500 V e correntes abaixo de 200 A. Cada unidade de carregamento possui um conversor DC/DC que faz o controlo de cobrança, uma bateria de 22,9 kWh/6 V/1,3 Ah de chumbo-ácido para armazenamento de energia produzida por um sistema de produção fotovoltaica, em que cada módulo tem uma potência de 180 W e uma potência atual de 119 kWp. O sistema de carregamento, ligado a um barramento de baixa tensão DC de 1.500 V, está ligado à rede de energia local tal como ilustrado na figura 4.5.

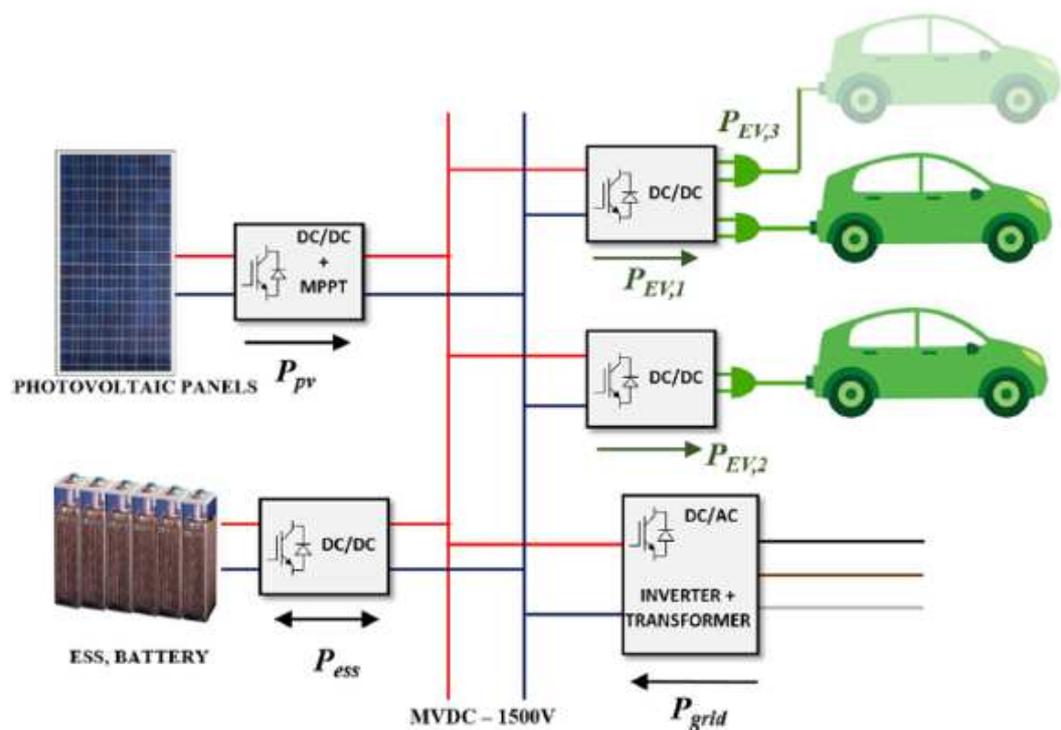


Figura 4.5 – Exemplo dum sistema de carregamento de VE (Torreglosa et al., 2015).

Quanto ao modo de funcionamento, o sistema em condições normais produz toda a energia necessária ao carregamento através do sistema fotovoltaico, que funciona em MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), sendo que nestes momentos, é o sistema de armazenamento que controla a tensão de barramento de média tensão com a conexão com a rede de energia aberta.

O barramento tem a função de controlar o sistema já que define o dimensionamento ideal para todas as fontes, sendo que a procura pela melhor fonte de energia ocorre devido a mudanças na tensão do barramento. O número de veículos não interfere diretamente com o sistema de produção de energia, uma vez que é o sistema de armazenamento que funciona como equilibrador entre a energia produzida e a energia necessária ao carregamento de VE.

O sistema de carregamento funciona em três controlos de estado distintos, tal como esquematizado na figura 4.6:

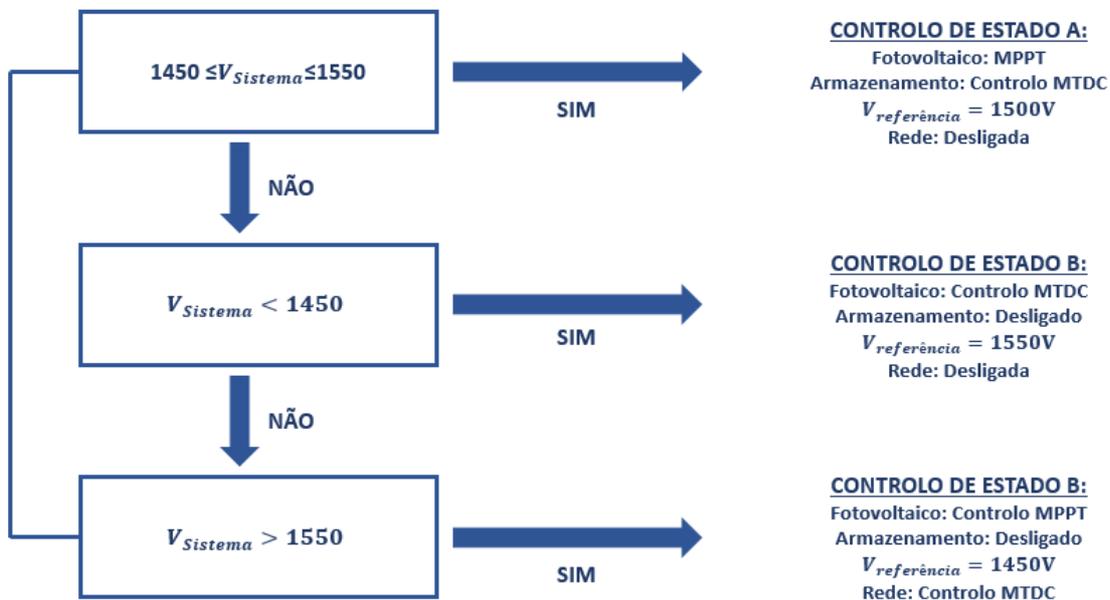


Figura 4.6 – Exemplo de um esquema de controlos dum sistema de carregamento (Torreglosa et al., 2015).

Este tipo de sistemas são projetados para trabalhar sem o apoio da rede elétrica, com o sistema de produção de energia a trabalhar de acordo com as necessidades de energia, estado de carga do sistema de armazenamento e nível de tensão do barramento. Além disso, estes sistemas podem trabalhar com um sistema combinado de produção de energia elétrica segundo o mesmo princípio de funcionamento do exemplificado por Torreglosa et al. (2015), figura 4.7.

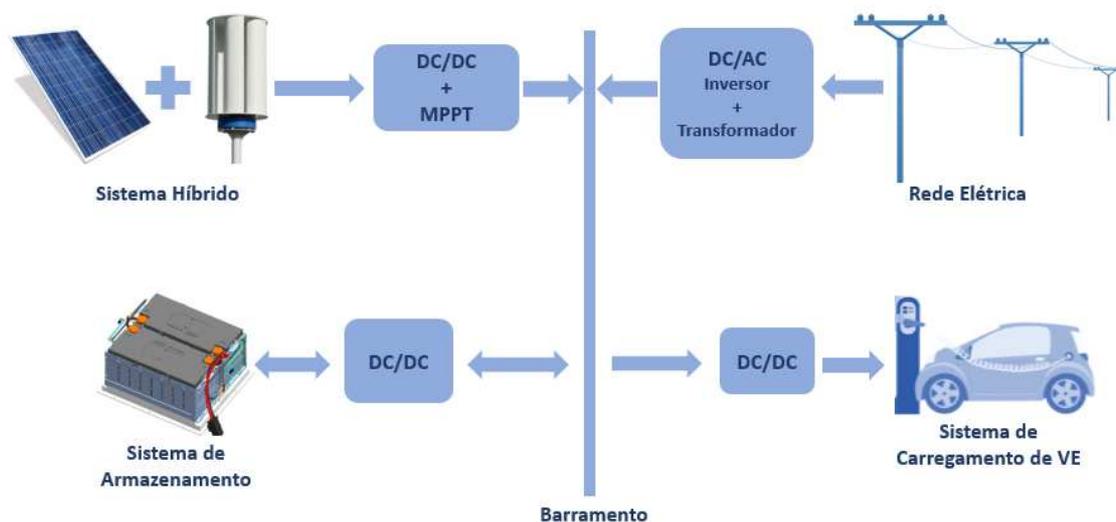


Figura 4.7 – Sistema combinado de produção de energia para carregamento de veículos.

4.4 Casos de estudo

Já existem alguns projetos de sistemas de carregamento de veículos elétricos que usam sistemas de produção de energia renovável, quer através de sistemas fotovoltaicos, quer através de sistemas híbridos.

Um desses exemplos foi realizado pela Martifer Solar, uma empresa sediada em Portugal, que instalou, em 2010, em Los Angeles, um *SmartPark*, que consistia numa estrutura fixa, com estacionamento coberto por um sistema fotovoltaico com uma potência superior a 368 kWp (Martifer Solar, 2010).

A ZEEV (*Zero Emissions Energy and Vehicles*), empresa especializada em soluções integradas de mobilidade elétrica, instalou também em 2011, numa empresa da Lourinhã, um sombreador solar, figura 4.8, que consiste num estacionamento coberto por painéis fotovoltaicos com potência de 275 kW, com carregadores de modo 3 capazes de carregar veículos elétricos (ZEEV, 2017).

Relativamente a instalações com sistemas híbridos, a InnoVentum, empresa Sueca sediada em Malmo, responsável por soluções de energias renováveis, instalou um

sistema híbrido de carregamento de VE. A estrutura, ilustrado na figura 4.9, é composta por uma eólica montada a 12 metros de altura e 24 módulos solares. Este sistema, que está instalado na cidade de Malmo, é capaz de produzir entre 10 a 20 MWh por ano, fornecendo energia ao longo de todo o dia e com capacidade para suportar carregamento a dois veículos elétricos (InnoVentum, 2017).



Figura 4.8 – Sombreador solar ZEEV (ZEEV, 2017).



Figura 4.9 – Exemplo dum sistema híbrido de carregamento de veículos (InnoVentum, 2017).

5

Conceção de um sistema de carregamento de VE num campus universitário

Neste capítulo é abordada a conceção de um sistema de carregamento de VE, enquadrado no futuro eco Campus da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Para que a escolha do sistema fosse a mais adequada possível à realidade do eco Campus, foram analisados diferentes tipos de sistemas de carregamento e estudada a viabilidade de cada um deles. O local escolhido para a instalação do sistema de carregamento de veículos elétricos foi um dos parques de estacionamento que rodeiam os edifícios referentes ao Polo I da Escola de Ciências e Tecnologia.

5.1 Análise de requisitos

Para o melhor desempenho possível de um parque de carregamento de VE, é necessário que sejam escolhidos os componentes mais adequados ao seu objetivo, tendo em conta um conjunto de requisitos mínimos. A comparação entre sistemas é baseada na estrutura do sistema e não nos seus componentes, uma vez que estes são os mesmos independentemente do sistema abordado.

Por se tratar dum sistema instalado num edifício público, prevê-se que a sua utilização seja cerca de 6 horas diárias durante a semana laboral, isto é, de segunda a

sexta feira. As fontes de energia renováveis possíveis são a solar e a eólica e deverá ser analisada o uso da energia produzida e a venda do excedente.

5.1.1 Sistema de produção fotovoltaico

A instalação de sistemas de produção de energia renovável tem como principal objetivo a rentabilização do sistema de carregamento através do aumento da capacidade de fornecimento de energia ao sistema.

O clima em Vila Real permite o uso de energia fotovoltaica, sendo que neste projeto existe uma área disponível de cerca de 900 m² para a instalação de um solução de produção de energia fotovoltaica (Costa, 2013).

O painel escolhido para a matriz fotovoltaica é um painel de silício policristalino da empresa REC. O modelo é o REC Peak Energy, com uma potência de 275 W, figura 5.1, (REC Group, 2017a).



Figura 5.1 – Painel fotovoltaico REC Peak Energy 275 Wp (REC Group, 2017a).

A tabela 5.1 apresenta as características gerais do painel escolhido para o sistema.

Tabela 5.1 – Características principais do painel (REC Group, 2017b).

Tipo de células	Silício policristalino
Número de células	60
Rendimento	16,7 %
Temperatura da operação (NOCT)	45,7 °C
Área	1,65 m ²
Preço unitário	209,1 €

A tabela 5.2 apresenta as condições STC e NOCT deste painel, condições essas que permitem que ao fim de um ano de utilização, a energia produzida pelo painel seja igual à necessária para a produção do mesmo (REC Group, 2017b).

Tabela 5.2 – Condições STC e NOCT do painel REC Peak Energy (REC Group, 2017b).

	STC	NOCT
Potência máxima	275 Wp	202 Wp
Tensão máxima (V_{max}^r)	31,5 V	28,8 V
Corrente máxima (I_{max}^r)	8,74 A	7,02 A
Tensão circuito aberto (V_{CA}^r)	38,7 V	36 V
Corrente curto circuito (I_{CC}^r)	9,25 A	7,4 A

5.1.2 Sistema de produção eólico

Para produção de energia renovável de origem eólica, a escolha tem de incidir sobre um aerogerador eólico de baixa potência, sendo que estes podem ser de eixo horizontal, as mais utilizadas neste tipo de sistemas, ou de eixo vertical, como por exemplo aerogeradores do tipo *Savonius*. A oferta para os aerogeradores de baixa potência é maior no caso destes serem de eixo horizontal, sendo esta a principal razão pela escolha desse tipo para o sistema estudado.

De todas as gamas existentes no mercado, a escolha incidir sobre um aerogerador da marca EcoSolar com potência nominal de 1000 W, figura 5.2. Dentro da gama de

aerogeradores de 1000 W, este aerogerador tem um rendimento elevado e um preço acessível, pelo que esse foi o fator determinante para a escolha do mesmo (Damia Solar, 2018). A tabela 5.3 apresenta as principais características do aerogerador.



Figura 5.2 – Aerogerador EcoSolar (Damia Solar, 2018).

Tabela 5.3 – Principais características do aerogerador escolhido (Damia Solar, 2018).

Tipo de aerogerador	Tripla hélice
Área de varrimento	6,61 m ²
Potência	1 kW
Rotações	500 rpm
Alternador	48 V
Velocidade cut-in	2 m/s
Velocidade de cut-out	Não disponível
Velocidade de potência nominal	8 m/s
Coefficiente de potência máximo	0,4
Preço unitário	1.315 €

5.1.3 Sistema de armazenamento de energia

Quando não existe produção de energia renovável, os sistemas de armazenamento são utilizados como suporte de alimentação ao sistema de carregamento. Por outro lado, a utilização combinada de um sistema de armazenamento permite que o excesso produzido pelos sistemas de energia renovável seja injetado num sistema de baterias, o que não impede que todo o sistema esteja, de igual modo, integrado na rede.

Considerando o uso de sistemas de produção de energia renovável, existem então dois métodos de utilização de baterias de armazenamento, com e sem ligação à rede.

A diferença entre os dois métodos de utilização prende-se com o conceito de *Depth of Discharge* – DOD, percentagem de descarga permitida para a bateria utilizada. Assim, os sistemas sem ligação à rede estão configurados para operar com menor percentagem de DOD, enquanto que nos sistemas com ligação à rede a percentagem de DOD é mais elevada. Ambos os métodos são configurados com o objetivo de maior durabilidade das baterias (Civic Solar, 2018).

Tendo em conta a utilização dos dois métodos, as baterias poderiam ser de chumbo-ácido ou de iões de Lítio. Contudo, devido ao objetivo de criar um sistema viável de baixo custo, a escolha recaiu sobre baterias de chumbo-ácido. De entre a gama de oferta de baterias deste tipo, a bateria escolhida foi a BAE Secura PVS 140 PPol, figura 5.3, por ser uma bateria que não necessita de grande manutenção e que é adequada para sistemas solares ou híbridos, como é o caso do sistema pretendido. Esta bateria permite um número alargado de ciclos de operação, mesmo quando utilizadas em sistemas de grandes dimensões (BAE, 2018; FF Solar, 2018).

De um modo geral, as baterias, quando o sistema não está ligado à rede, são configuradas para funcionar entre os 20 % e os 50 % de DOP, enquanto que quando o sistema está ligado à rede, elas operam acima de 50 %. A curva de DOP da bateria BAE está representada na figura 5.4.



Figura 5.3 – Bateria BAE Secura PVS 140 PPol (BAE, 2018).

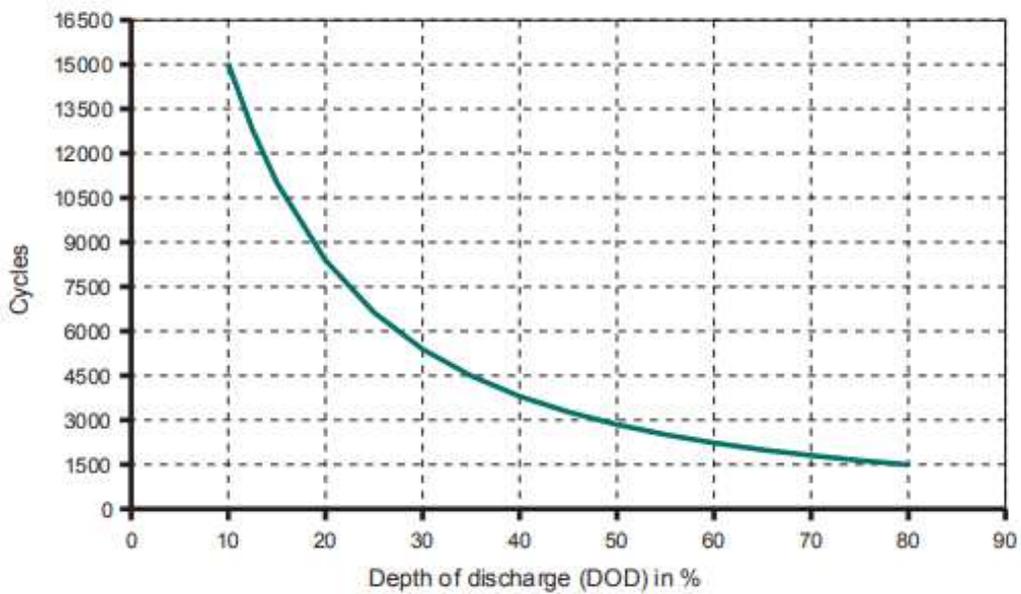


Figura 5.4 – Variação da DOD no número de ciclos da bateria BAE Secura PVS 140 PPol (BAE, 2018).

As principais características da bateria escolhida estão apresentadas na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Características das baterias do sistema de armazenamento (BAE, 2018).

Marca	BAE Secura PVS Solar
Modelo	2 PVS 140
Tipo	Chumbo-ácido
Capacidade C20	127 Ah
Capacidade C100	143 Ah
Tensão	2 V
Preço unitário	110,06 €

Nos sistemas sem ligação à rede, a produção de energia através dos sistemas renováveis permite que a bateria seja carregada diariamente, com o objetivo de manter o DOD o mais perto possível dos 0 %. Contudo, é sempre necessário o uso de energia armazenada de modo a evitar a sulfatação da bateria (formação irreversível de grandes cristais de sulfato de chumbo que afetam o desempenho das baterias). Assim, o carregamento das baterias deve ser feito quando os sistemas renováveis funcionam em MPPT (Rolls, 2018).

Quando o sistema está ligado à rede, a bateria opera até 20 % da carga e existem dois modos de funcionamento. O modo de utilização mais comum é quando a bateria funciona como *back up*, onde o objetivo é fornecer energia quando existem quebras na rede elétrica. O outro modo utiliza a bateria como gestor do sistema de cargas, onde o objetivo é gerir e “vender” a energia em excesso, permitindo o equilíbrio entre a procura de energia e o excesso produzido (Rolls, 2018).

5.1.4 Carregador de VE

A escolha dos carregadores de VE recaiu sobre produtos da empresa nacional EFA-CEC, já que esta empresa tem estado na vanguarda neste tipo de carregadores. Esta empresa tem carregadores domésticos, públicos, rápidos, ultra rápido e sem fios.

Como a utilização prevista deste sistema é de acordo com o horário de trabalho dos

utilizadores, o carregador escolhido foi o público, permitindo ao utilizador poder deixar o seu veículo a carregar ao longo do dia. Este cenário é assim compatível com carregadores com menor intensidade de corrente já que o período de utilização pode ser coincidente com a duração da carga, numa média de 6 horas de utilização.

De acordo com as gamas apresentadas pela EFACEC para este tipo de carregamento, existem os modelos EV Public Charger e o EV Pole Mount, figura 5.5. As características destes dois sistemas são muito semelhantes, e ainda que não haja informações sobre os preços dos sistemas, a grande diferença entre eles é o preço e a simplicidade de instalação.



Figura 5.5 – EV Public Charger (esq.) e EV Pole Mount (dir.) (Efacec Electric Mobility, 2017a,b).

- **EV Pole Mount**

Este tipo de carregador externo é o mais simples e mais barato da gama de carregadores públicos. Tem como principais vantagens o pouco espaço necessário para ocupação, a possibilidade de instalação em escala e a sua versatilidade, uma vez que pode ser combinado com sistemas de produção de energia renovável. O estado de carga é controlado por um sistema de gestão integrado no carregador. O EV

Pole Mount não possui display para visualização do estado do carregamento. Para se efetuar o carregamento dos veículos basta passar o cartão de utilizador e ligar o veículo à tomada do carregador. A tabela 5.5 mostra as principais características deste carregador (Efacec Electric Mobility, 2017a).

Tabela 5.5 – Características técnicas do EV Pole Mount

Potência nominal	3,7 / 7,4 / 11 / 22 (kVA)
Corrente	16 / 32 (A)
Tensão	230 / 400 (V)
Tomada	Tipo 2 (<i>Mennekes</i>)
Tipo de carregamento	Simple (Modo 3)

EV Public Charger

Em comparação com o EV Pole Mount, este tipo de carregador externo possibilita o carregamento de dois veículos ao mesmo tempo, sendo o sistema de gestão interno a controlar o estado de carregamento de ambas as saídas com este a ser mostrado no display de controlo. O início do carregamento é igual ao do EV Pole Mount, com a ligação entre o veículo e a tomada a ser efetuada após passar o cartão de utilizador. A tabela 5.6 mostra as principais características deste carregador (Efacec Electric Mobility, 2017b).

Tabela 5.6 – Características técnicas do EV Public Charger.

Potência nominal	3,7 / 7,4 / 11 / 22 (kVA)
Corrente	16 / 32 (A)
Tensão	230 / 400 (V)
Tomada	Tipo 2 (<i>Mennekes</i>)
Tipo de carregamento	Simple ou duplo (Modo 3)

Como ambos os carregadores são adequados para utilização pública, a escolha do carregador, por questões práticas, recaiu sobre o EV Public Charger já que permite o carregamento de dois veículos ao mesmo tempo, poupando assim espaço na

instalação do sistema.

5.2 Necessidades energéticas do sistema e solução de produção autónoma de energia

O grande objetivo deste projeto é arranjar a melhor solução de carregamento em que a produção autónoma cubra as carências de carregamento dos veículos elétricos considerados no sistema. Para isso, é necessário fazer o levantamento das necessidades energéticas dos veículos que irão atuar diretamente no sistema de carregamento.

5.2.1 Necessidades energéticas

Por se tratar de um edifício público, considerou-se uma utilização média de 6 horas diárias de todos os veículos que necessitem de carregamento. Contudo, devido a haver uma vasta gama de modelos elétricos em ambos os segmentos, considerou-se, por defeito, veículos com as características referidas na tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Características dos veículos elétricos analisados.

Veículo elétrico	Tensão de serviço	Bateria	Tipo de carregador
Automóvel	230 V	50 kWh	AC
Bicicleta	36 V	0,38 kWh	AC

Deste modo, e de acordo com as características dos veículos considerados, para se efetuar a carga da totalidade da bateria numa hora é necessária uma potência de 50 kW para automóveis e 0,38 kW para bicicletas. A equação (5.1) representa a energia necessária à utilização do sistema para o máximo da sua utilização (2 automóveis e 10 bicicletas).

$$E = (2 \times 50) + (10 \times 0,38) = 103,8 \text{ kWh} \quad (5.1)$$

Por outro lado, como o sistema está projetado para uma utilização de 6 horas diárias, logo a potência necessária por hora, considerando a utilização máxima do sistema de carregamento de acordo com as características dos veículos, é dada pela equação (5.2):

$$P = \frac{(2 \times 50) + (10 \times 0,38)}{6} = 17,3 \text{ kW} \quad (5.2)$$

É então expectável que a utilização contínua do sistema leve a que seja necessário um sistema de produção de energia de, pelo menos, 17,3 kW de potência instalada.

5.2.2 Solução de sistema autónomo de produção de energia

Para o sistema de produção de energia, foi usado como base um estudo realizado por (Costa, 2013), projeto esse que estudava a produção fotovoltaica para o mesmo edifício público deste estudo, sendo que a diferença entre os dois estudos reside no número de painéis necessários para produção de energia, acrescentando-se ainda a este projeto um aerogerador, tornando assim este sistema híbrido. De maneira a cobrir as necessidades de energia do sistema de carregamento, a energia produzida vai depender do número de painéis instalados. Como referido anteriormente, a escolha dos painéis recaiu sobre os módulos da marca REC Peaky Energy de 275 W potência nominal, sendo que a fórmula (5.3) indica o número de painéis que cobrem as necessidades do sistema.

$$\text{N}^\circ \text{ painéis} = \frac{\text{Potência do sistema}}{\text{Potência nominal}} = \frac{17.300 \text{ W}}{275 \text{ W}} = 62,9 \text{ módulos} \quad (5.3)$$

De acordo com Costa (2013), o Bloco A tem na sua distribuição uma instalação de 64 módulos, o que é o número que mais se enquadra ao valor pretendido. Assim, a potência instalada num conjunto de 64 módulos do modelo considerado é apresentada na equação (5.4):

$$P = 64 \times 275 = 17,6 \text{ kW} \quad (5.4)$$

Considerando que os painéis produzem durante as 6 horas de funcionamento o equivalente à sua potência de pico, a energia produzida pelos painéis é dada pela equação (5.5).

$$E = 17,6 \times 6 = 105,6 \text{ kWh} \quad (5.5)$$

A disposição é essencial para o dimensionamento dos inversores, pelo que foi usado o *software* Sunny Design 2.3 para que a escolha dos inversores fosse a mais acertada. Neste software foi simulada a disposição dos painéis que, tal como em (Costa, 2013), é composta por duas strings em paralelo com 21 módulos cada ligados em série, e uma string com 22 módulos ligados em série, tal como indicado na figura 5.6, (Sunny Design, 2018).

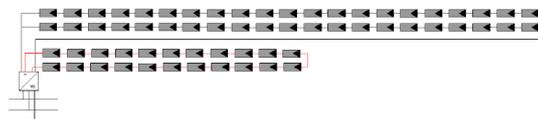


Figura 5.6 – Matriz fotovoltaica utilizada no sistema de carregamento (Sunny Design, 2018; Costa, 2013).

A esta disposição fotovoltaica, foi adicionado um sistema de produção de energia de origem eólica. Relativamente a esse sistema, considera-se o aerogerador instalado num dos telhados dos blocos a que correspondem a Escola de Ciências e Tecnologia da UTAD. A aerogerador escolhido é o EcoSolar Aero de 1 kW cujas características principais estão apresentadas no início deste capítulo. Deste modo, considera-se que o aerogerador funciona sempre à potência nominal, ou seja, a energia produzida pelo aerogerador ao longo das 6 horas de funcionamento do sistema de carregamento é apresentada na equação (5.6).

$$E = 1 \times 6 = 6 \text{ kWh} \quad (5.6)$$

Deste modo, o sistema híbrido oferece uma capacidade energética de 111,6 kWh.

5.3 Casos de estudo do sistema de carregamento

Foram considerados seis casos de estudo onde é necessário realizar uma análise de desempenho. Os componentes principais de todo o sistema de carregamento são os painéis fotovoltaicos e o aerogerador, que formam o sistema híbrido de produção autónoma de energia, o carregador de veículos elétricos, constituído por um carregador de automóveis com duas saídas e dois carregadores de bicicletas com cinco saídas cada um, um sistema de armazenamento de energia e a rede elétrica. Todos estes sistemas são interligados através de um barramento de 600 V AC. Os casos de estudo variam consoante a existência ou não de determinada configuração. Foi também considerado que todos os processos de conversão são afetados por um fator de 0,85.

Painéis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos têm uma potência instalada de 17,6 kW o que, após conversão, se traduz em cerca de 14,96 kW de potência disponível no barramento. Contudo, este valor de potencia poderá sofrer alterações devido às condições ambientais, isto é, a radiação solar, a temperatura e o ângulo de incidência do sol são fatores que influenciam os valores disponíveis de tensão e corrente. Para que a potência não sofra grandes variações, é necessário a ligação de um sistema MPPT, que consiste num conversor DC/DC que ajusta a tensão de entrada em função do nível de tensão do ponto MPP. Este conversor otimiza os valores de saída em função da razão de potência (corrente pela tensão) para valores mais próximos da potência nominal dos painéis fotovoltaicos (Greenpro, 2004; Neo Solar, 2018).

Aerogerador

O aerogerador tem uma potência nominal de 1 kW à tensão nominal de 48 V. Deste modo a corrente por ele fornecida é apresentada na equação 5.7:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1.000}{48} = 20,83 \text{ A} \quad (5.7)$$

Após a conversão, o aerogerador aumenta em 850 W o valor de potência instalada como fonte.

Carregador de automóveis elétricos

Para o carregamento de automóveis elétricos foi escolhido uma potência de ligação de 3,7 kVA por entrada, perfazendo uma potência de 7,4 kVA, o que antecedendo a conversão este valor se traduz em 8,7 kVA de potência que é necessário retirar ao barramento DC.

Carregador de bicicletas elétricas

O carregamento de bicicletas está dividido em duas entradas com 5 pontos de carregamento cada uma. Cada ponto de carregamento necessita de 0,38 kW de potência, o que faz um total de 1,9 kW por entrada. Este valor antes da conversão é de 2,24 kW de potência por entrada de carregamento.

Sistema de armazenamento

De acordo com as características da bateria escolhida, optou-se por um sistema de armazenamento com 6 células de armazenamento (12 V), sendo que cada célula tem um valor de 143 Ah, o que faz com que o sistema necessite de uma potência de 10,3 kW, valor que após conversão contribui para o barramento com 8,75 kW.

Rede elétrica

Para a energia de suporte ao sistema, escolheu-se uma rede de baixa tensão com 20,7 kVA de potência, valor que após conversão contribui com 17,6 kVA de potência para o barramento.

5.3.1 Caso 1: Alimentação a partir do sistema de produção

O primeiro caso de estudo diz respeito a um sistema de carregamento alimentado exclusivamente pela energia transformada através da conversão da radiação solar e da energia cinética do vento, figura 5.7.

As unidades de carregamento, para um funcionamento de 6 horas, necessitam de pelo menos 105,6 kWh de energia. Por outro lado, o sistema de produção de energia renovável está dimensionado para fornecer 111,6 kWh de energia.

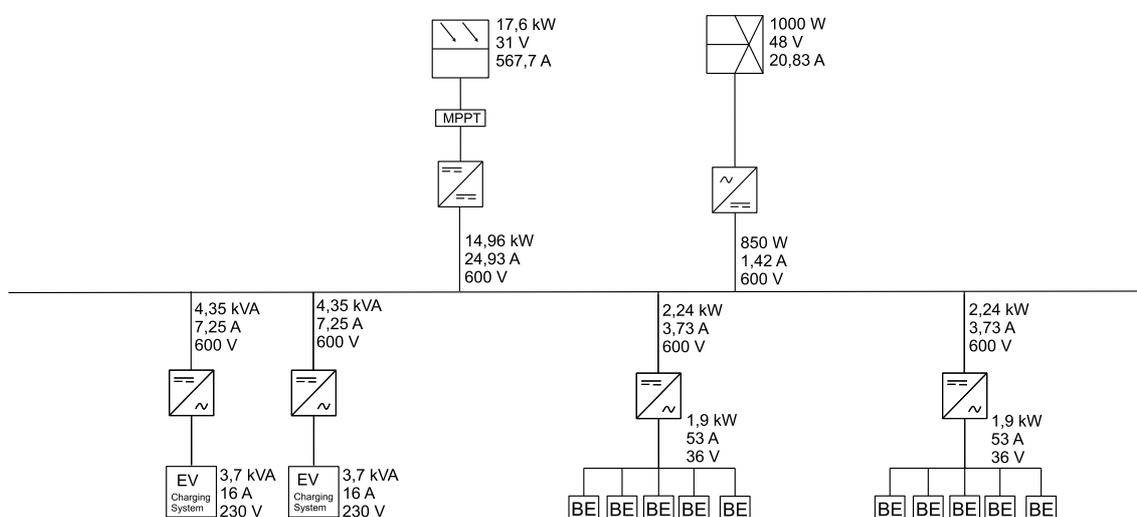


Figura 5.7 – Esquema de alimentação através da produção de energia renovável.

Este caso de estudo é o mais simples de todos e o que necessita de menos componentes elétricos para o seu funcionamento. Contudo, este não é o sistema mais viável em termos energéticos, isto é, assumindo que as unidades de carregamento estão a ser utilizadas ao longo das 6 horas (2 automóveis elétricos e 10 bicicletas elétricas), a variabilidade da radiação solar e da velocidade do vento não permite a mesma produção de energia ao longo de todo o tempo de utilização, uma vez que há meses onde a radiação é mais forte (nos meses de verão) e meses onde a radiação é menos intensa (meses de inverno). Além disso, existe a condicionante de utilização do sistema, uma vez que este é exclusivo para dias de semana, não sendo utilizado durante os fins de semana e alturas de férias, devido a coincidir com os momentos

em que a academia se encontra encerrada. Durante estas alturas toda a energia produzida pelo sistema não tem aproveitamento.

5.3.2 Caso 2: Alimentação a partir do sistema de produção com *backup* da energia da rede

O segundo caso de estudo é muito semelhante ao primeiro, com a única diferença a residir na ligação de uma rede de baixa de tensão de 20,7 kVA. A energia da rede surge com o objetivo de dar apoio às unidades de carregamento durante o pico de utilização, e apenas quando o sistema de produção não consegue cobrir as necessidades de carregamento, figura 5.8.

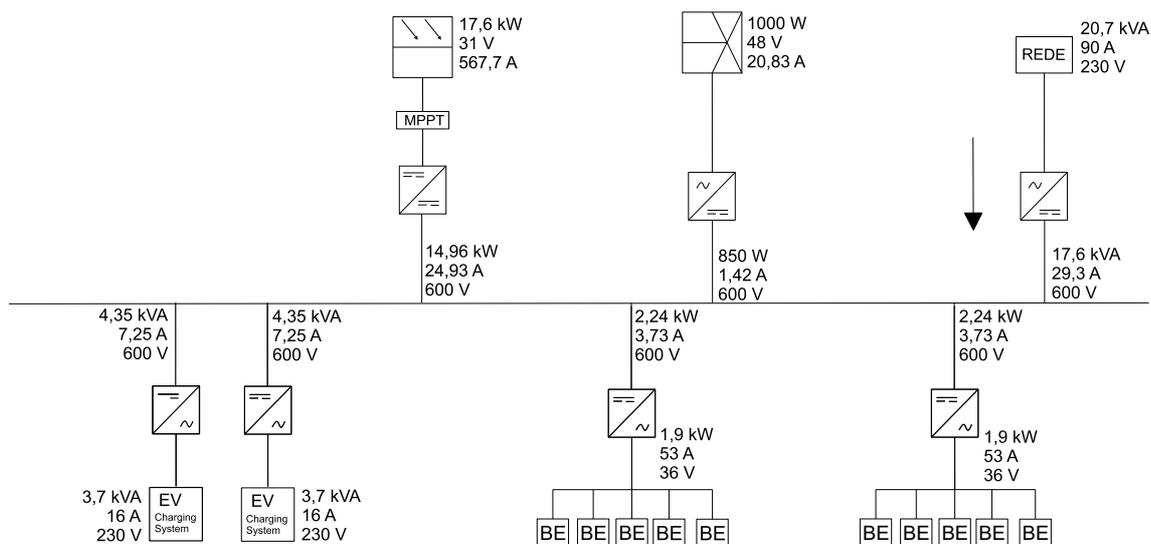


Figura 5.8 – Esquema de alimentação das unidades de carregamento com suporte da energia da rede.

Por outro lado, este caso de estudo ainda tem a condicionante de utilização, persistindo o problema da energia produzida sem aproveitamento durante o tempo em que a academia se encontra encerrada.

5.3.3 Caso 3: Alimentação a partir do sistema de produção com *backup* da energia da rede e venda do excedente

Neste caso de estudo, o funcionamento do conversor de ligação à rede passa a ter uma função bidirecional. O objetivo deste tipo de rede é tornar o sistema mas ótimo possível, com o máximo aproveitamento do sistema de produção de energia renovável, figura 5.9.

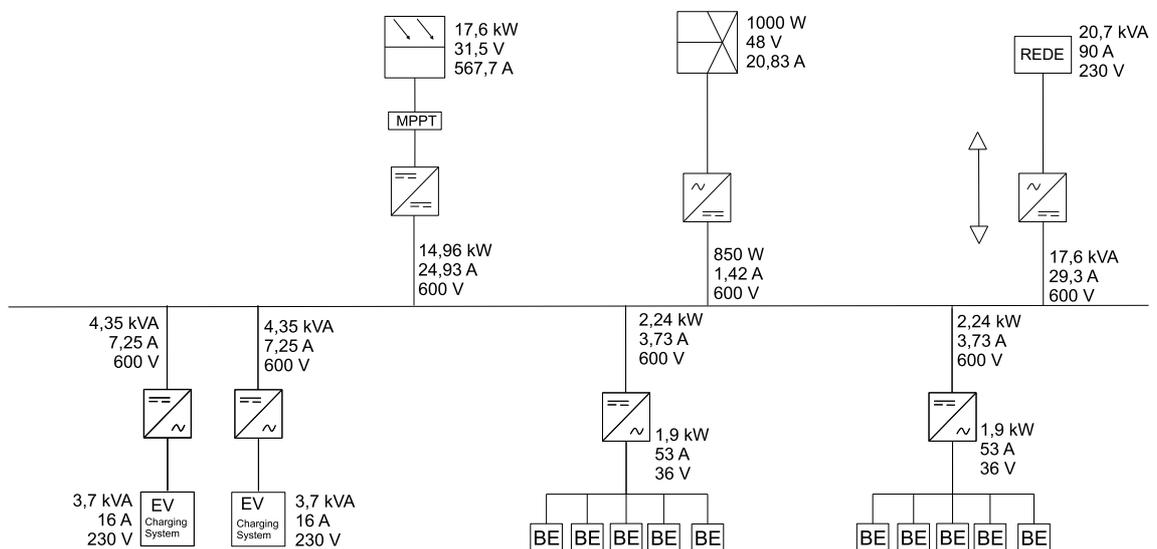


Figura 5.9 – Esquema de alimentação com conversão bidirecional da rede de energia.

Assim, a utilização da rede com fluxos de energia bidirecionais, permite que a energia produzida em excesso, quando a academia está encerrada, seja vendida à rede de modo a rentabilizar energeticamente o sistema. Por outro lado, permite que, nos dias em que as unidades de carregamento não estejam a ser todas utilizadas, o excesso de energia produzida seja também vendido à rede. Além disso, quando há escassez de produção de energia (principalmente nos meses de inverno), a rede funciona como suporte ao sistema de produção.

5.3.4 Caso 4: Alimentação a partir do sistema de produção e armazenamento do excedente

No quarto caso de estudo, que é muito semelhante ao primeiro caso, analisa-se o desempenho do sistema acrescentando um sistema de armazenamento de energia, figura 5.10.

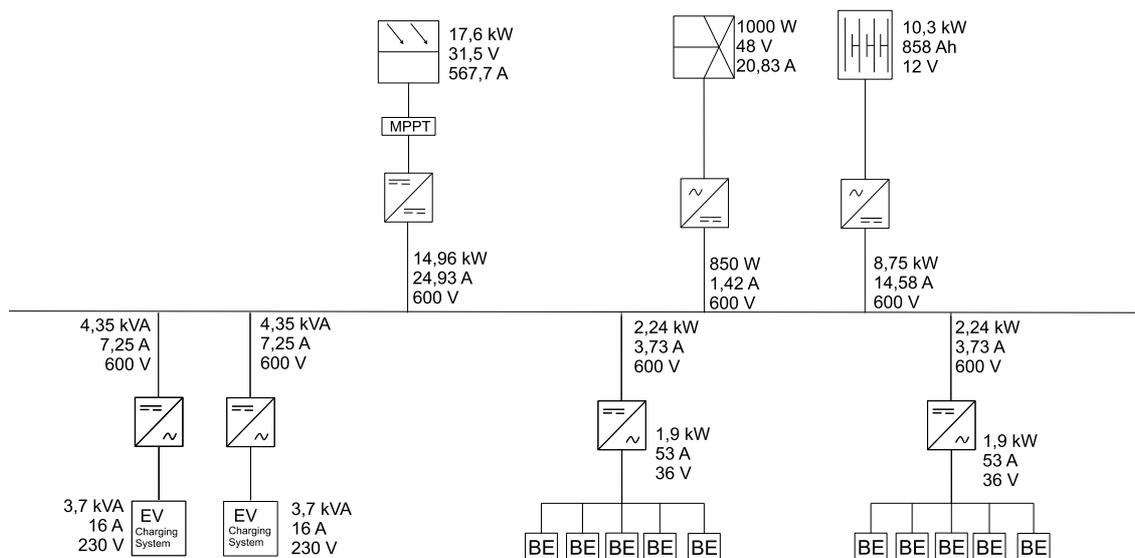


Figura 5.10 – Esquema de alimentação através de energia renovável com armazenamento do excedente.

Este sistema de armazenamento permite um armazenamento de cerca de 10,3 kW, o que equivale a cerca de 10% das necessidades de carregamento dos veículos, o que poderá ser útil no aproveitamento da energia produzida pelo aerogerador ao longo da noite ou o excesso produzido ao longo do dia, que poderá também ser armazenada nas baterias para posterior utilização pelas unidades de carregamento.

Comparativamente ao primeiro caso de estudo, este sistema é mais dispendioso, mas bastante útil, principalmente durante os meses de inverno quando há menos energia fotovoltaica e mais energia eólica produzida. Por outro lado, as baterias não têm capacidade para armazenar toda a energia produzida ao longo dos meses coincidentes com o encerramento da academia, existindo o mesmo problema relativo

ao uso condicionado das unidades de carregamento, ou seja, a energia produzida ao longo desses momentos não tem aproveitamento. Além disso, as baterias não têm capacidade para solucionar a falta de energia produzida durante os meses de inverno.

5.3.5 Caso 5: Alimentação a partir do sistema de produção com *backup* da energia rede e armazenamento do excedente

Este caso de estudo é semelhante ao caso 2, sendo que a única diferença é o sistema de armazenamento de energia, figura 5.11.

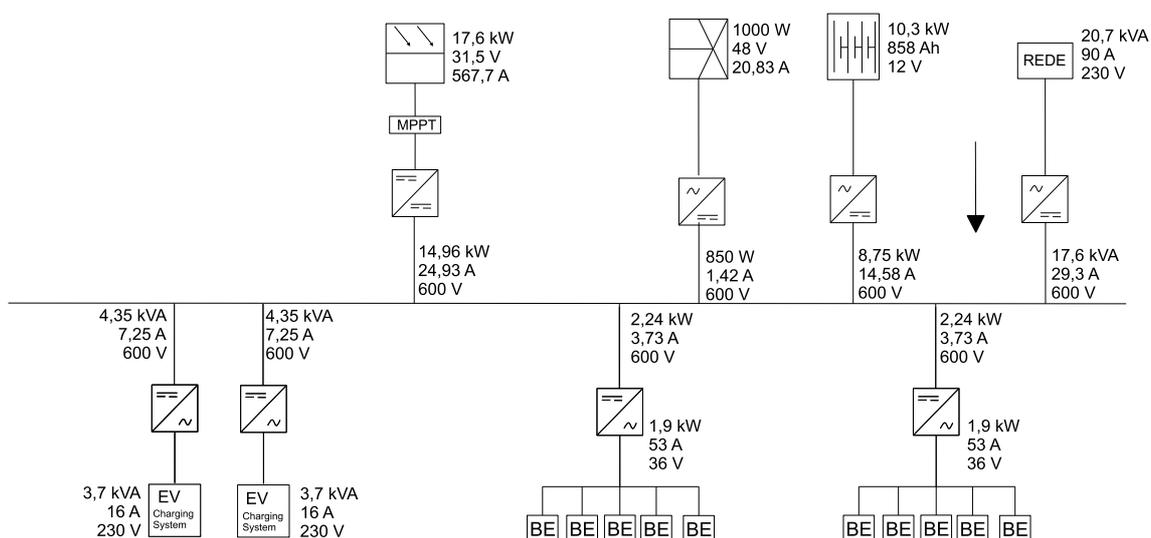


Figura 5.11 – Esquema de alimentação com armazenamento do excedente e apoio da rede de energia.

Comparando ao caso anterior, a integração de uma rede de baixa tensão permite dar apoio às unidades de carregamento quando o sistema híbrido não produz a energia necessária para o carregamento dos veículos ou quando a bateria se encontra sem capacidade de injetar energia para carregamento.

A desvantagem deste sistema prende-se ao facto da rede de baixa tensão funcionar apenas como suporte às unidades de carregamento, não solucionando totalmente o

problema, uma vez que continua a haver produção de energia durante fins de semana e alturas de férias escolares.

5.3.6 Caso 6: Alimentação a partir do sistema de produção com *backup* da energia rede e armazenamento e venda do excedente

O último caso de estudo é de todos os mais dispendioso, pois é o que necessita de maior eletrónica, contudo é o mais óptimo de todos os casos estudados, figura 5.12.

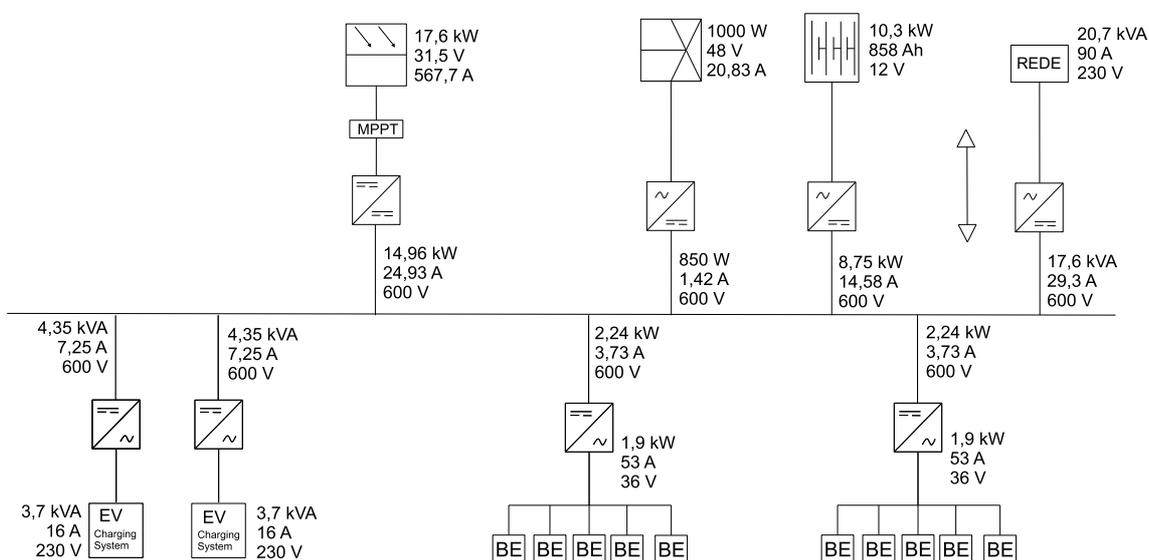


Figura 5.12 – Esquema de alimentação com armazenamento do excedente e rede com fluxo de energia bidirecional.

Neste caso, a rede de baixa tensão é bidirecional, permitindo a entrada e saída de energia, funcionando como apoio às unidades de carregamento quando não existe produção renovável suficiente e ainda permite que, quando não há utilização contínua das unidades de carregamento, o excesso de energia produzida seja vendido à rede. Além disso, as baterias permitem o armazenamento da energia produzida durante a noite ou quando há excesso de produção durante o dia, funcionando em situações de emergência, permitindo o uso continuado do sistema quando necessário.

Este sistema é o mais próximo de um sistema de carregamento autónomo de veículos elétricos, pois possibilita o carregamento dos veículos em todas as situações, ou seja, quando há défice de energia, a rede de baixa tensão e o sistema de armazenamento dão o apoio necessário às unidades de carregamento, por outro lado, quando há excesso de produção é possível vender esse excesso, rentabilizando o sistema. Este sistema permite ainda que o carregamento seja feito primeiramente com a energia produzida pelo sistema híbrido, tornando-se num sistema equilibrado de carregamento de VE.

5.4 Análise do potencial energético

A análise energética do sistema é o cálculo da energia produzida estimada pelo sistema fotovoltaico e pelo aerogerador. Para isso é necessário fazer uma análise do número de horas de sol e do perfil das velocidades do vento para a cidade de Vila Real.

5.4.1 Potencial fotovoltaico

Relativamente ao sistema fotovoltaico, que é composto por 64 módulos de 275 W de potência, a estimativa de energia produzida é feita através da análise das características do painel escolhido e do clima da cidade de Vila Real, nomeadamente a temperatura média mensal e a irradiação média mensal. A partir da plataforma PVGIS, foi possível o acesso aos dados do clima do ponto de instalação, figura 5.13, (PVGIS, 2018).

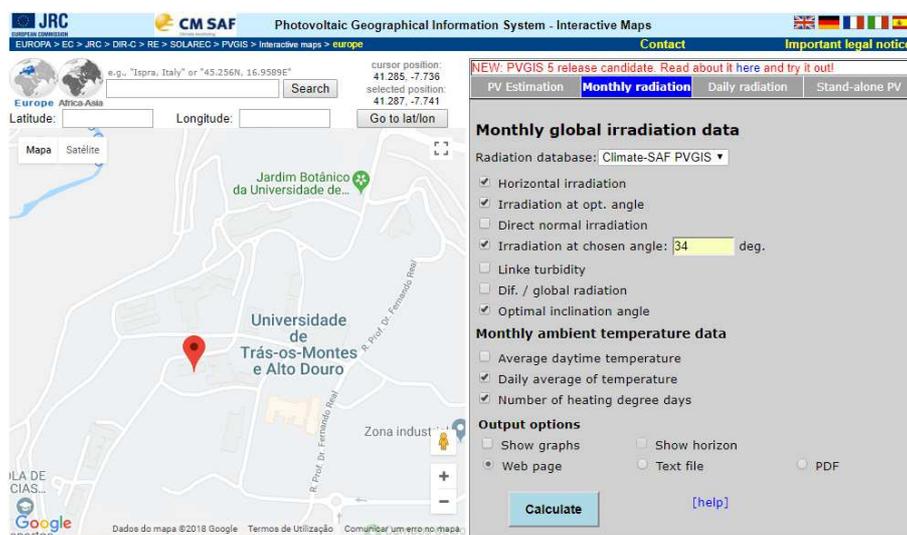


Figura 5.13 – Método de recolha de dados da irradiação solar e da temperatura (PVGIS, 2018).

A tabela 5.8 indica as temperaturas médias e a irradiação solar média mensal ao longo de todo o ano na cidade de Vila Real.

Tabela 5.8 – Dados climáticos da cidade de Vila Real

	Irradiação Solar (G) (W/m ²)	Temperatura (θ_a)(°C)
Janeiro	115,8	7,7
Fevereiro	184,6	7,6
Março	229,2	10,7
Abril	231,2	13,2
Maio	262,5	15,8
Junho	287,9	18,8
Julho	305	21,4
Agosto	303,3	21,2
Setembro	268,8	19,6
Outubro	198,3	15,9
Novembro	138,3	10,7
Dezembro	112,9	8,2

Com os dados das tabelas 5.2 e 5.8 é efetuado o cálculo do potencial fotovoltaico de cada painel, calculando-se primeiro os parâmetros globais como o fator de idealidade m , equação (5.8), o fator de idealidade equivalente m' , equação (5.10) e a corrente inversa de saturação I_0^r , equação (5.11).

$$m = \frac{V_{max}^r \times V_{CA}^r}{V_T^r \times \ln \left(1 - \frac{I_{max}^r}{I_{CC}^r} \right)} \quad (5.8)$$

Onde V_T^r é dado calculado através de 5.9, sabendo que T é o valor absoluto da temperatura de operação em Kelvin:

$$V_T = \frac{k \times T}{q} \quad (5.9)$$

Sabendo o fator de idealidade do diodo, calcula-se o fator de idealidade equivalente onde N_{SM} é o número de células ligadas em série indicado na tabela 5.2:

$$m' = \frac{m}{N_{SM}} \quad (5.10)$$

$$I_0^r = \frac{I_{CC}^r}{e^{\left(\frac{V_{CA}^r}{m' \times V_T^r} \right)} - 1} \quad (5.11)$$

Determinados os valores dos parâmetros globais, calculam-se os parâmetros específicos, para cada mês, tendo em conta os valores da tabela 5.8. Inicialmente é calculado o valor da temperatura média das células fotovoltaicas (θ_c), sabendo que G é o valor da irradiação solar média mensal, equação (5.12).

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G \times (T_{NOCT} - 20)}{800} \quad (5.12)$$

A tensão equivalente de temperatura V_T é calculado através da equação (5.9), substituindo o valor de T pelo valor absoluto de θ_c , para cada mês, calculado na equação (5.12).

Após o cálculos destes parâmetros, é necessário calcular os valores mensais de tensão máxima da célula V_{max} e corrente máxima da célula I_{max} através das equações (5.13) e (5.15), respetivamente.

$$V_{max} = m \times V_T \times \ln \left(\frac{\frac{G}{G_r} \times (I_{CC}^r - I_{max}^r)}{I_0} \right) \quad (5.13)$$

Onde I_0 é a corrente de saturação inversa do díodo dado pela equação (5.14), onde ϵ representa o hiato de silício (1,12 eV):

$$I_0 = I_0^r \times \left(\frac{T}{T^r} \right)^3 \times e^{\frac{\epsilon}{m' T} \times (\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T})} \quad (5.14)$$

A corrente máxima mensal é calculada através da equação (5.15):

$$I_{max} = \frac{G}{G_r} \times I_{max}^r \quad (5.15)$$

Finalmente, o produto entre a tensão, equação (5.13) e a corrente máxima, (5.15), dá-nos o valor da potência máxima, por painel, indicado na equação (5.16):

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \quad (5.16)$$

Os valores dos parâmetros globais e dos parâmetros específicos, para o painel fotovoltaico selecionado, foram calculados com base nas equações apresentadas e indicados nas tabelas 5.9 e 5.10.

Tabela 5.9 – Valores dos parâmetros globais para painel utilizado no sistema de carregamento.

V_T^r	0,0309 V
m	80,43
m'	1,3405
I_0^r	1,59E-9 A

Tabela 5.10 – Valores dos parâmetros específicos para o painel utilizado no sistemas de carregamento.

Meses	θ_c (°C)	V_T	V_{max} (V)	I_{max} (A)	P_{max} (W)
Jan	11,42	0,0245	34,30	1,01	34,72
Fev	13,53	0,0247	35,03	1,61	56,52
Mar	18,06	0,0251	35,05	2,00	70,22
Abr	20,63	0,0253	34,84	2,02	70,40
Mai	24,23	0,0257	34,78	2,29	79,80
Jun	28,05	0,0260	34,64	2,52	87,16
Jul	31,20	0,0263	34,49	2,67	91,93
Ago	30,94	0,0262	34,50	2,65	91,44
Set	28,24	0,0260	34,48	2,35	81,00
Out	22,27	0,0255	34,38	1,73	59,59
Nov	15,14	0,0249	34,30	1,21	41,47
Dez	11,83	0,0246	34,31	0,99	33,76

Considerando que o rendimento do MPPT instalado é de 85 %, a energia produzida, por módulo fotovoltaico, é dada pela equação (5.17), onde Δt representa o número de horas diárias e N_{DM} o número de dias do mês correspondente:

$$E = 0,85 \times \Delta t \times N_{DM} \times \sum_{i=1}^{12} P_{max}^i \quad (5.17)$$

Então, aplicando a fórmula da equação (5.17) obtemos a energia total produzida mensal por cada módulo. Os valores da energia mensal está representado na tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Energia produzida mensal (por módulo).

Meses	Energia mensal (Wh)
Jan	21.955
Fev	32.283
Mar	44.407
Abr	43.087
Mai	50.464
Jun	53.342
Jul	58.136
Ago	57.829
Set	49.573
Out	37.682
Nov	25.377
Dez	21.350
Total:	495.485

Tendo em conta que o sistema fotovoltaico tem na sua totalidade 64 módulos fotovoltaicos, a energia produzida pela sistema é dada pela equação (5.18):

$$\text{Energia total} = 495.485 \times 64 = 31.711.040 \text{ Wh} = 31,7 \text{ MWh/ano} \quad (5.18)$$

5.4.2 Potencial eólico

Por outro lado, para o cálculo do potencial do aerogerador, foi necessário recolher dados das velocidades do vento em Vila Real. Esses dados encontram-se disponíveis na plataforma Meteoblue (Meteoblue, 2018), que analisa as velocidades de vento médias ao longo dos últimos 30 anos, figura 5.14.

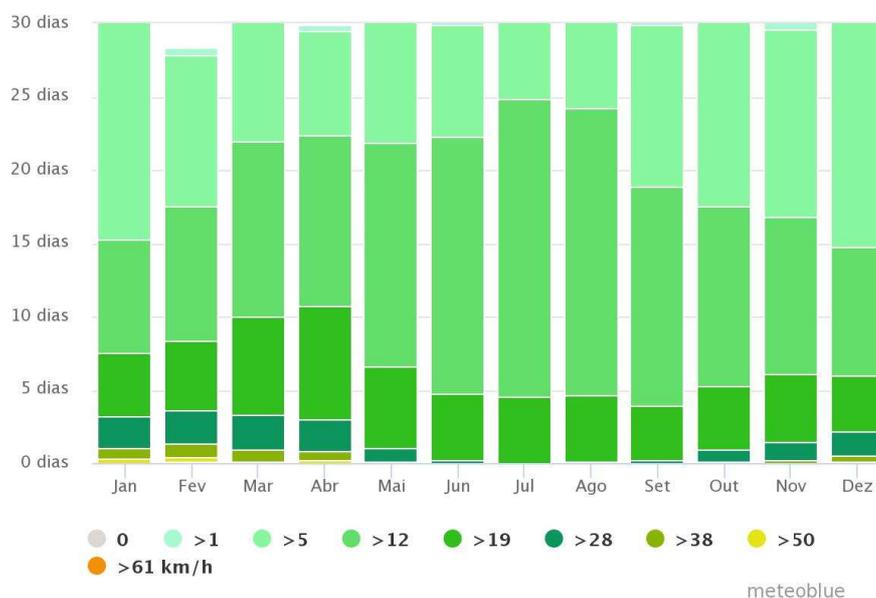


Figura 5.14 – Dias de vento em Portugal nos últimos 30 anos (Meteoblue, 2018).

Tendo em conta as características do aerogerador escolhido, que funciona com potência máxima com velocidade de vento de 8 m/s, foram analisadas apenas os dias em que a velocidade do vento se encontra entre 5 m/s e 12 m/s, representados na tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Dias de vento dentro do intervalo considerado.

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho
14 dias	10 dias	8 dias	7 dias	8 dias	7 dias
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
6 dias	6 dias	11 dias	13 dias	12 dias	15 dias

Assumindo que a velocidade do vento ao longo de cada dia foi de 8 m/s (a média do intervalo é de 8,5 m/s), a representação das horas de vento ao longo de cada mês esta traduzida na tabela seguinte:

Tabela 5.13 – Horas de vento correspondente aos dias considerados.

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
336 horas	240 horas	192 horas	168 horas	192 horas	168 horas
Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
144 horas	144 horas	264 horas	312 horas	288 horas	360 horas

O número de horas estimadas de funcionamento a 8 m/s é de 2.808 horas. De acordo com a potência do aerogerador a energia total é dada pela equação (5.19):

$$E = 2.808 \times 1000 = 2.808.000 \text{ Wh} = 2,81 \text{ MWh/ano} \quad (5.19)$$

Considerando então o sistema híbrido, a energia total produzida por ano é dada através da equação (5.20):

$$E = 31,7 + 2,81 = 34,51 \text{ MWh} \quad (5.20)$$

Assumindo que existe uma utilização continuada do sistema de carregamento ao longo de 365 dias, a energia necessária para suprir o carregamento de todas as unidades é dada pela equação (5.22):

$$E = 365 \times 103,8 = 37.887 \text{ kWh} = 37,89 \text{ MWh} \quad (5.21)$$

É expectável que este valor sofra alterações uma vez que, por se tratar dum edifício escolar público, sabe-se que durante fins de semana, feriados e férias escolares (períodos nos quais o edifício está encerrado), o sistema de carregamento não estará funcional. Deste modo, tendo em conta o calendário escolar de 2017/2018, as necessidades energéticas de carregamento são dadas pela equação:

$$E = 221 \times 103,8 = 22.939,8 \text{ kWh} = 22,94 \text{ MWh} \quad (5.22)$$

Deste modo, é expectável que o sistema de produção de energia satisfaça as necessidades de carregamento ao longo do ano.

5.5 Análise económica

Na análise económica é necessário fazer o cálculo da energia produzida pelo sistema híbrido que entra na rede de energia e o valor dos componentes do sistema. Por se tratar dum edifício público, no cálculo da energia produzida definiram-se três horários diferentes, relativos aos dias de aulas, dias de época de exames e fins de semana e dias de férias. As horas de funcionamento consideradas para cada intervalo de produção foram de 18 horas (relativas aos dias de aulas, considerando que as unidades de carregamento têm uma utilização de 6 horas, equivalentes a 100 % do uso), 21 horas (relativas à época de exames, que devido à escassez de alunos foi considerado um uso de 3 horas das unidades de carregamento, equivalentes a 50 % do uso) e 24 horas, relativas aos dias em que a academia se encontra encerrada, não havendo utilização das unidades de carregamento.

A tabela 5.14 representa a energia produzida mensal do sistema fotovoltaico tendo em conta o calendário escolar de 2017/2018.

O valor total da energia produzida, por módulo, ao longo do ano escolar é de 516,97 kWh. A este valor é necessário acrescentar o valor do rendimento do MPPT (85 %) e o número total de painéis fotovoltaicos (64), equação (5.23).

Tabela 5.14 – Energia produzida, por painel, para injeção na rede.

Meses	Potência mensal (W)	Funcionamento (Horas)	Funcionamento (Dias)	Energia produzida mensal (kW)
Jan	34,72	18	7	4,38
		21	13	9,48
		24	11	9,17
Fev	56,52	18	11	11,20
		21	7	8,31
		24	10	13,56
Mar	70,22	18	17	21,49
		24	14	23,59
Abr	70,40	18	19	24,08
		24	11	18,59
Mai	79,80	18	21	30,16
		24	10	19,15
Jun	87,16	18	6	9,41
		21	14	25,63
		24	10	20,92
Jul	91,93	21	22	42,43
		24	9	19,86
Ago	91,44	24	31	68,03
Set	81,00	18	10	14,58
		21	11	18,71
		24	9	17,50
Out	59,59	18	21	22,53
		24	10	17,50
Nov	41,47	18	21	15,68
		24	9	8,96
Dez	33,76	18	12	7,29
		21	6	4,25
		24	13	10,53

$$E_{PV} = 0,85 \times 64 \times 516,97 = 28.123,17 \text{ kWh} = 28,12 \text{ MWh} \quad (5.23)$$

Relativamente ao aerogerador, considera-se que toda a sua produção, apresentada na equação (5.19) entra nos valores relativos à análise económica. Deste modo, a energia produzida para o cálculo da análise económica é representada na equação (5.24).

$$E_{total} = 28,12 + 2,81 = 30,93 \text{ MWh} \quad (5.24)$$

Para os casos de estudo que têm um sistema de armazenamento na sua configuração, assumiu-se a entrada de energia produzida em 198 dias, relativos a todos os dias de utilização das unidades de carregamento, sendo que, devido à não utilização nos restantes dias do ano, não há entrada de energia no sistema de armazenamento. A equação (5.25) representa este valor tendo em conta a capacidade do sistema de armazenamento.

$$E_{bateria} = 198 \times 10,3 = 2.039,4 \text{ kWh} = 2,04 \text{ MWh} \quad (5.25)$$

Relativamente ao preço dos componentes do sistema, apenas foi considerado o preço dos painéis fotovoltaicos, do aerogerador e do sistema de armazenamento, uma vez que são os principais componentes do sistema. Devido ao protocolo da empresa, não é possível apresentar o valor relativo às unidades de carregamento. A tabela 5.15 representa os valores dos componentes considerados.

Tabela 5.15 – Valor de mercado dos componentes do sistema.

Componente	Unidades	Preço unitário	Total
Painéis Fotovoltaicos	64	209 €	13.382 €
Aerogerador	1	1.315 €	1.315 €
Baterias	6	110 €	660 €

5.5.1 Comparação económica dos casos de estudo

Neste ponto compara-se o valor necessário para o investimento tendo em conta a estimativa de retorno anual, com a venda do excedente à rede. Devido à liberalização do mercado de energia, assumiu-se um valor de 0,10 €/kWh enquadrado nos valores atuais de venda de energia para sistemas de produção. A tabela 5.16 representa o valor de investimento para cada caso de estudo e em quantos anos é possível recuperar o investimento a partir da venda da energia produzida.

Tabela 5.16 – Valor necessários ao investimento.

Caso de estudo	Valor da configuração	Venda anual de energia	Recuperação do investimento
Caso 1	14.697,2 €	3.093 €	4 anos e 10 meses
Caso 2	14.697,2 €	3.093 €	4 anos e 10 meses
Caso 3	14.697,2 €	3.093 €	4 anos e 10 meses
Caso 4	15.357,56 €	2889 €	5 anos e 4 meses
Caso 5	15.357,56 €	2889 €	5 anos e 4 meses
Caso 6	15.357,56 €	2889 €	5 anos e 4 meses

6

Conclusão e trabalho futuro

Neste capítulo resumem-se as principais conclusões retiradas na sequência deste projeto de dimensionamento de um sistema de carregamento de veículos elétricos. Em suma:

- O mercado de VE tem crescido ao longo dos últimos anos e perspectiva-se que continue a crescer nos próximos anos;
- A crescente procura do mercado de VE tem levado a que haja desenvolvimento de novas tecnologias que permitem maior capacidade das baterias e que influenciam diretamente num aumento da autonomia dos veículos;
- As tecnologias de carregamento têm sofrido vários avanços tecnológicos tendo em vista uma utilização mais descomplicada;

Todos os dimensionamentos realizados tiveram sempre uma base empírica para os cenários considerados. Não há dúvida que face às alterações climáticas que temos vindo a observar, as condições meteorológicas já não são tão constantes como foram no passado o que acarreta sempre alguma variabilidade no que diz respeito quer às

previsões de exposição solar em condições NOCT quer à disponibilidade de energia eólica.

Torna-se claro que um sobredimensionamento do parque fotovoltaico suplementa as necessidades diárias de praticamente todos os utentes considerados mas o seu investimento poderá ser exagerado. Outros cenários poderão ser equacionados como a diminuição do parque fotovoltaico e o aumento de turbinas eólicas. É também notório que o excedente energético pode ser injetado na própria rede elétrica do Campus ao invés da venda à distribuidora, escolha essa que poderá ser feita com base em critérios económicos.

Em termos de trabalho futuro, equaciona-se o desenvolvimento de uma aplicação informática que possa fazer toda esta análise para o Campus da UTAD, isto é, dado o espaço existente em cada local para um ponto de carregamento, realizar o seu dimensionamento e apresentar uma possível solução. Neste caso, perspectiva-se uma aplicação onde o critério de entrada seria a configuração de clientes (número de VE de quatro e de duas rodas) e a saída do dimensionamento, além do custo envolvido, a configuração de painéis fotovoltaicos e de turbinas eólicas. Isto tendo também como base a exposição do ponto de carregamento considerado.

Também a falta de tempo ditou que o projeto de dimensionamento passa-se para uma fase de construção de um possível protótipo, quanto mais não fosse para se testar com bicicletas elétricas, já que com veículos de duas rodas as questões materiais poderiam ser ainda alguns entraves à demonstração da previsão/resultados medidos. Contudo, pensa-se que este trabalho apresenta um conjunto de metodologias (cenários) que podem ser sempre equacionados para a construção deste tipo de infraestruturas que certamente iremos ver proliferar num futuro próximo.

Referências bibliográficas

- ACEA (2017). ACEA Report - Vehicles in use Europe 2017. Technical report. [6](#)
- ADENE (2016). Saiba mais sobre Sistemas Solares Fotovoltaicos. [58](#), [59](#)
- APREN (2017). Apren | Associação de Energias Renováveis. [2](#), [21](#), [22](#), [60](#)
- BAE (2018). Photovoltaic - Sales BAE solar batteries | Secura. [71](#), [72](#), [73](#)
- Ban, J., Arellano, L., Alawami, A., Aguilera, R., and Tallett, M. (2016). *World Oil Outlook - Organization of the Petroleum Exporting Countries*. OPEC Secretariat, 10 edition. [6](#), [9](#)
- BMW (2017). BMW Série 3 Berlina : BMW iPerformance. [48](#)
- Bright Solar (2017). Bright Solar – Engenharia de Sistemas Solares. [62](#)
- Byrne, C. and Pedro, P. (2016). *Vencer o Desafio da Mobilidade Elétrica em Portugal*. Plataforma para o crescimento Sustentável. [2](#), [12](#), [13](#), [37](#), [41](#)
- Caetano Bus (2017). Caetano Bus - Grupo Salvador Caetano - e.City Gold. [15](#)
- Chademo (2017). V2x – Chademo Association. [20](#), [57](#)

- Civic Solar (2018). How does Depth of Discharge factor into Grid Connected battery systems? | CivicSolar. [71](#)
- Costa, M. (2013). *A minigeração fotovoltaica em edifícios escolares - Um caso de Estudo*. PhD thesis, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. [60](#), [68](#), [77](#), [78](#)
- Damia Solar (2018). Aerogerador Ecosolar Aero 1000 48v – Potência Máx. 3000w. [70](#)
- DGEG (2015). Energia em Portugal - 2015. Technical report, Direção Geral da Energia e Geologia. [23](#)
- DGEG (2017). Estatísticas Rápidas - Renováveis. Technical Report 153, Direção Geral da Energia e Geologia. [23](#), [24](#), [58](#), [60](#)
- Direção Geral de Energia e Geologia (2015). Guia Técnico das Instalações Elétricas Para a Alimentação de Veículos Elétricos. [20](#), [44](#)
- Diário da República (2009a). Resolução do Conselho de Ministros, nº20/2009. [49](#)
- Diário da República (2009b). Resolução do Conselho de Ministros nº81/2009. [49](#), [50](#)
- Diário da República (2013). Resolução do Conselho de Ministros, nº20/2013. [2](#)
- Diário da República (2014). Decreto-Lei n.º153/2014. [62](#)
- Diário da República (2015). Despacho nº8809/2015. [51](#)
- e-Bike (2017). Bicicletas Elétricas Kit e-Bike. [44](#), [48](#)
- EAFO (2017). EAFO | European Alternative Fuels Observatory. [9](#), [10](#), [11](#), [14](#), [47](#)
- EFACEC (2017). Efacec. [15](#), [20](#)
- Efacec Electric Mobility (2017a). EV Pole Mount - Public Charging Station. [74](#), [75](#)
- Efacec Electric Mobility (2017b). EV Public Charger - Public Charging Station. [74](#), [75](#)

- Electro Maps (2017). Todo sobre el vehículo eléctrico y puntos de recarga. Electro-maps. [17](#)
- Electropaedia (2017). Electropaedia, Energy Sources and Storage and History of Technology. [54](#), [55](#), [57](#)
- Engineers Journal (2017). Engineers Journal - Ireland's Engineering News Source. [32](#), [33](#)
- Euler Hermes (2017). Global Sector Report: Automotive - Euler Hermes Economic Research. Technical report. [6](#)
- EVELO, Seattle, I. . t. A., and WA (2017). What Are Electric Bikes? How Do They Work? [42](#), [43](#)
- Famel (2017). Famel. [16](#)
- FF Solar (2018). FF Solar - Energias Renováveis. [71](#)
- Freire, R., Delgado, J., Santos, J., and Almeida, A. (2010). Integration of Renewable Energy Generation with EV Charging Strategies to Optimize Grid Load Balancing. page 5, Madeira Island. IEEE. [60](#)
- GOP República Portuguesa (2016). Grandes Opções do Plano 2016-2019. [14](#)
- GOP República Portuguesa (2018). Grandes Opções do Plano. [14](#)
- Greenpro (2004). Energia Fotovoltaica - Manual sobre tecnologias, projeto e instalação. [79](#)
- GSEAA (2016). República Portuguesa - Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e do Ambiente. [14](#)
- IEA (2017). Global EV Outlook 2017 - Two Million and Counting -International Energy Agency. Technical report. [7](#), [8](#), [9](#)
- InnoVentum (2017). InnoVentum - Giraffe 2.0. [66](#)

- Kempton, W. and Letendre, S. E. (1997). Electric Vehicle As a New Power Source For Electric Utilities. *Elsevier*, 2(3):157–175. [25](#)
- Krinat Solar (2017). NOCT x STC: Entenda a diferença entre estas condições. [60](#)
- Kuang, Y., Hu, M., Dai, R., and Yang, D. (2017). A collaborative Decision Model for Electric Vehicles to Building Integration. volume 105, pages 2077–2082. *Energy Procedia*. [26](#)
- Langford, B. C., Cherry, C., Yoon, T., Worley, S., and Smith, D. (2013). North America’s First E-Bike Share: A Year of Experience. *Transportation Research Record*, page 20. [29](#)
- Lusa. Famel quer voltar à estrada com tecnologia do futuro. [16](#)
- Martifer Solar (2010). Martifer Solar - SmartPark. [65](#)
- McKinsey (2017). Electrifying Insights: How Automakers Can Drive Electrified Vehicle Sales and Profitability. [14](#)
- Megajoule and APREN (2017). Índice de Eolicidade de Portugal Continental - 1º Trimestre de 2017. Technical report. [61](#)
- Mercedes (2017). Mercedes-Benz Car. [48](#)
- Meteoblue (2018). Clima Vila Real. [92](#), [93](#)
- Mitsubishi (2017). Mitsubishi Outlander PHEV. [48](#)
- MOBIE (2017). MOBIE. [17](#), [18](#), [20](#), [21](#), [51](#), [55](#)
- Monteiro, V., Gonçalves, H., Ferreira, J., and Afonso, J. (2012). Batteries Charging Systems for Electric and Plug-In Hybrid Electric Vehicles. In *New Advances in Vehicular Technology and Automotive Engineering*. InTech. [54](#)
- Neo Solar (2018). NeoSolar: Energia Solar Fotovoltaica | Vem Pro Sol. [79](#)
- Nissan (2017). Nissan LEAF - Carro elétrico. [48](#)

- Parlamento Europeu (2009). Diretiva 2009/28/CE. [52](#)
- Pellitteri, F., Boscaino, V., Tommaso, A. O. D., Genduso, F., and Miceli, R. (2013). E-Bike Battery Charging: Methods and Circuits. *IEEE*, page 8. [29](#), [31](#)
- Pereira, P. (2015). *A Produção Fotovoltaica em Portugal - Análise da Legislação em Vigor e do Custo/Benefício*. PhD thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. [62](#)
- Portal Energias Renováveis (2017). Portal Energias Renováveis. [27](#)
- Proença, E. (2007). *A energia solar fotovoltaica em Portugal - Estado da Arte e Perspetivas de Desenvolvimento*. PhD thesis, Instituto Superior Técnico. [59](#), [60](#)
- PVGIS (2018). PV Geographical Information System. [87](#), [88](#)
- REC Group (2017a). Home. [68](#)
- REC Group (2017b). REC Peak Energy Series - High Performance Solar Panels. [69](#)
- Richardson, D. B. (2013). Electric Vehicles and Electric Grid: A Review of Modeling Approaches Impacts and Renewable Energy Integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19:247–254. [25](#), [26](#)
- Rolls (2018). Battery User Manual. [73](#)
- Rosu, S. G., Khalilian, M., Cirimele, V., and Guglielmi, P. (2016). A Dynamic Wireless Charging System for Electric Vehicles Based on DC/AC Converters with SiC MOSFET-IGBT Switches and Resonante Gate-Drive. *IEEE*, page 6. [28](#), [30](#)
- RTIEBT (2006). Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão. [44](#), [45](#), [46](#)
- SGORME (2011). Formas de Carregamento de Veículos Elétricos em Portugal. [20](#)
- Siemens (2015). Siemens Offboard High Power Charger. [32](#), [33](#)
- Siemens AG (2015). Charge Your Future - With the Siemens eBus Charging Infrastructure. [32](#), [33](#)

- Statista (2015). Number of vehicles in use worldwide 2015 | Statistic. [5](#), [7](#)
- Sunny Design (2018). SMA Sunny Design Web. [78](#)
- Torreglosa, J., Triviño, P., Ramirez, L., and Jurado, F. (2015). Decentralized Energy Management Strategy Based on Predictive Controllers for a Medium Voltage Direct Current Photovoltaic Electric Vehicle Charging Station. *Energy Conversion and Management*, 108:1–13. [58](#), [62](#), [63](#), [64](#)
- Transportes e Negócios. T&N Veículos Comerciais |. [15](#)
- Union of Concerned Scientists (2017). Series vs Parallel vs Series/Parallel Drivetrains. [38](#), [39](#), [41](#)
- US Department of Energy (2017). Alternative Fuels Data Center: Fuel Cell Electric Vehicles. [37](#), [38](#), [40](#), [41](#), [42](#), [60](#)
- UVE (2017). Associação de Utilizadores de Veículos Elétricos. [17](#), [47](#), [51](#)
- Veículos Elétricos (2017). Veículos Elétricos - Mobilidade Elétrica. [12](#), [13](#)
- Veeco (2017). Veeco. [16](#)
- Willard W. Pulkrabek (1997). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. [36](#)
- ZEEV (2017). ZEEV | Zero Emission Energy & Vehicles. [48](#), [65](#), [66](#)