

• U • C •



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Rita Sofia Correia Salgueiro

Impacto da utilização em larga escala de veículos elétricos no mix de geração

Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Área de especialização em Energia

setembro de 2017



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



**Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Impacto da utilização em larga escala de veículos elétricos no mix de geração

Rita Sofia Correia Salgueiro

Presidente do júri:

Professor Doutor Aníbal Traça de Carvalho Almeida

Vogal:

Professora Doutora Dulce Helena Carvalho Coelho

Orientador:

Professor Doutor Pedro Manuel Soares Moura

Coimbra
setembro de 2017

Resumo

Ao longo das duas últimas décadas, as fontes renováveis de energia têm vindo a ocupar uma posição muito importante na geração de energia elétrica em Portugal, sendo atualmente mais de metade da produção nacional de eletricidade de fonte renovável. No entanto, devido à intermitência das fontes renováveis, torna-se difícil controlar ou prever a energia que será gerada por estas fontes, surgindo então excessos de geração face ao consumo de energia. Como a exportação de energia nem sempre se demonstra rentável, o aproveitamento destes excessos poderia ser utilizado para outro fim.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar o impacto do carregamento de veículos elétricos nos períodos em que o excesso de geração de fonte renovável é significativo. Para tal, começou-se por estudar o consumo e a durabilidade do carregamento de um veículo elétrico, para depois se poder analisar o impacto deste carregamento para vários cenários de grandes frotas de veículos (100 k, 500 k e 1 M).

Tendo em consideração que o quotidiano típico de um cidadão europeu se caracteriza pela sua chegada a casa ao fim do dia e partida para o emprego na manhã do dia seguinte e, sabendo que a maioria do excesso de geração coincide com essas horas, analisou-se o impacto do carregamento dos veículos durante esse intervalo de tempo para três dias representativos do ano de 2016. Porém, nem sempre existiram excessos elevados de geração nos períodos com mais veículos em carregamento, pelo que foi feita uma adaptação dos cenários de perfis de carregamento para os horários em que existiam maiores excessos de geração renovável.

Os resultados obtidos com este trabalho permitiram concluir que o carregamento de veículos elétricos poderá ser uma opção futura para compensar os excessos de geração renovável.

Palavras-chave: Energias Renováveis, Excessos de Geração, Veículos Elétricos, Gestão de Carregamentos, Gestão da Procura

Abstract

Over the last two decades, renewable energy sources have ensured a very important role in the generation of electricity in Portugal, and currently, more than half of the national generation of electricity is from renewable sources. However, due to intermittence of renewable sources, it becomes difficult to control or forecast the energy that will be generated by these sources, resulting in generation surplus relatively to the energy consumption. Since the energy export is not always profitable, the generation surplus could be used for other purposes.

Therefore, the objective of this work is to analyze the impact of electric vehicles charging in the periods when the generation surplus of renewable source is high. To do this, the consumption and duration of the charging of an electric vehicle was studied in order to analyze the impact of this load on several scenarios of large vehicle fleets (100k, 500 k and 1 M).

Taking into account that the typical daily life of a European citizen is characterized by his arrival at home at the end of the day and departure for employment at the morning of the following day and, knowing that most of the generation surplus coincides with such hours, it was assessed the impact of the vehicles charging during this time period for three representative days of 2016. However, there were not always high generation surplus during the periods with more vehicles charging. Then, an adaptation of the scenarios of the charging profiles to the periods with higher generation surplus was developed.

The results obtained with this work allowed to conclude that the charging of electric vehicles could be a future option to compensate the generation surplus of renewable generation.

Keywords: Renewable Energies, Generation Surplus, Electric Vehicles, Charging Management, Demand-Side Management

Agradecimentos

Este trabalho encerra a maior etapa da minha vida até então, a finalização do meu curso. Foi mais uma peregrinação do que uma caminhada, pois existiram momentos em que os meus pés se sentiram cansados demais para continuar. No entanto, surgiram bons samaritanos no meu caminho que me apoiaram e ajudaram a prosseguir.

Gostaria de expressar um profundo agradecimento ao meu orientador Professor Doutor Pedro Manuel Soares Moura, por ter sido uma pessoa incansável a todos os níveis e de me ter dado esta oportunidade. Agradeço toda a motivação, compreensão e disponibilidade que teve comigo. Todo o trabalho aqui apresentado só foi possível graças à sua constante orientação.

Aos meus pais e irmão por sempre me apoiarem ao longo do meu percurso académico e ensinarem-me a não esmorecer perante as vicissitudes da vida.

Aos meus amigos e colegas de curso que me apoiaram e encorajaram na finalização desta etapa. Estarão sempre no meu pensamento! Um obrigada à minha colega e amiga Soraia que me deu uma ajuda imprescindível no encerrar desta página.

Um agradecimento especial ao meu melhor Amigo, porque sem Ele nada disto valeria a pena!

*“Quem não puder fazer grandes coisas,
faça pelo menos o que estiver na medida das suas forças;
certamente não ficará sem recompensa”*

Santo António

Conteúdo

Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Lista de Acrónimos	xvii
Lista de Figuras	xix
Lista de Tabelas	xxi
Capítulo 1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
Capítulo 2 Veículos Elétricos e a Rede Elétrica	5
2.1 Cenário Atual e Geração de Energia Elétrica.....	5
2.2 Veículos Elétricos	6
2.2.1 Veículos Elétricos em Portugal.....	8
2.2.2 Veículos Elétricos no Mundo	9
2.3 Impacto na Rede Elétrica	10
Capítulo 3 Análise da intermitência	13
3.1 Variabilidade de geração renovável e excessos de geração	13
3.2 Excessos de geração e tarifas de exportação.....	16
Capítulo 4 Consumo do VE	19
4.1 Importância do processo de carregamento	19
4.2 Modos de Carregamento	20

4.2.1 Modo 1	20
4.2.2 Modo 2	21
4.2.3 Modo 3	22
4.2.4 Modo 4	22
4.3 Capacidade das Baterias	23
4.4 Fatores que influenciam o carregamento	24
4.5 Perfil típico de carregamento.....	27
Capítulo 5 Casos de estudo	29
5.1 Cenários de perfis de carregamento.....	29
5.1.1 Veículos Elétricos Disponíveis	29
5.1.2 Veículos Elétricos em Carregamento	30
5.1.3 Consumo dos VEs em carregamento	32
5.2 Dias de Estudo	32
5.2.1 Dia de inverno.....	33
5.2.2 Dia de verão	34
5.2.3 Dia de primavera	35
Capítulo 6 Análise dos impactos dos casos de estudo	37
6.1 Impacto do Carregamento dos VEs nos dias de estudo	37
6.1.1 Dia de inverno.....	37
6.1.2 Dia de verão	39
6.1.3 Dia de primavera	41
6.2 Adaptação do Carregamento de VEs à variação de Geração Renovável diária	43
6.2.1 Dia de inverno.....	44
6.2.2 Dia de verão	45
6.2.3 Dia de primavera	47

Capítulo 7 Conclusões e trabalho futuro.....	49
7.1 Conclusões.....	49
7.2 Trabalho futuro.....	51
Bibliografia	53
Anexos.....	57
Anexo A Casos de Estudo: Perfis de Carregamento	57
Anexo B Análise do impacto dos Casos de Estudo: Adaptação do Carregamento de VEs à variação de Geração Renovável diária.....	63

Lista de Acrónimos

AC	<i>Alternating Current</i>
BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
DC	<i>Direct Current</i>
EV	<i>Electric Vehicle</i>
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
ISR	Instituto de Sistemas e Robótica
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PHEV	<i>Plug-In Hybrid Electric Vehicle</i>
REN	Redes Energéticas Nacionais
SEE	Sistemas de Energia Elétrica
VE	Veículo Elétrico

Lista de Figuras

Figura 2.1: Tipos de Veículos Elétricos	7
Figura 2.2: Previsão das Vendas de VEs a nível global para 2015-2040 (milhões de VEs vendidos por ano, %) [16]	9
Figura 2.3: Diagrama de Carga Diário demonstrando o impacto do carregamento de um VE durante uma noite de fim de semana, no modo de carregamento rápido [8]	10
Figura 2.4: Impacto do carregamento de VEs nos períodos de baixo consumo [17]	11
Figura 2.5: Diagrama de carga diário típico de inverno na ilha de S. Miguel [17]	11
Figura 3.1: Diagrama de Carga de 14 de fevereiro de 2016 [24]	15
Figura 3.2: Excesso Diário de dois dias de inverno	16
Figura 3.3: Excesso Diário de dois dias de primavera	16
Figura 3.4: Variação ao longo do dia 10 de janeiro de 2016 dos preços do MIBEL [23]	18
Figura 3.5: Variação ao longo do dia 14 de fevereiro de 2016 dos preços do MIBEL [23]	18
Figura 4.1: Carregamento normal de um VE [28]	20
Figura 4.2: Modo 1 de carregamento [30]	21
Figura 4.3: Modo 2 de carregamento [30]	21
Figura 4.4: Modo 3 de carregamento [30]	22
Figura 4.5: Modo 4 de carregamento [30]	23
Figura 4.6: Relação entre tipo de carregador, potência e tempo [31]	23
Figura 4.7: Percentagem típica de carregamentos efetuados ao longo do dia por um taxista [34]	25
Figura 4.8: Carregamentos efetuados ao longo do dia por um residente [34]	26
Figura 4.9: Distribuição das horas correspondentes à primeira e última viagem do dia [35]	26
Figura 4.10: Padrão de estacionamento residencial [35]	27
Figura 4.11: Carregamento de um VE no laboratório do Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra	28
Figura 4.12: Perfil de carregamento de um VE de 9 kWh	28

Figura 5.1: Percentagem de VEs disponíveis	30
Figura 5.2: Número de VEs disponíveis para três diferentes frotas	30
Figura 5.3: Percentagem de VEs em carregamento.....	31
Figura 5.4: Número de VEs em carregamento para três diferentes frotas.....	31
Figura 5.5: Diagrama de Carga relativo ao consumo de três diferentes frotas de VEs ..	32
Figura 5.6: Diagrama de Carga da noite 17-18 de fevereiro de 2016 (Geração Renovável e Consumo+Bombagem)	33
Figura 5.7: Excesso de Renovável da noite 17-18 de fevereiro de 2016	34
Figura 5.8: Diagrama de Carga da noite 16-17 de agosto de 2016	35
Figura 5.9: Excesso de Renovável da noite 16-17 de agosto de 2016	35
Figura 5.10: Diagrama de Carga da noite 13-14 de maio de 2016 (Geração Renovável e Consumo+Bombagem).....	36
Figura 5.11: Excesso de Renovável da noite 13-14 de maio de 2016.....	36
Figura 6.1: Impacto do carregamento de três diferentes frotas no Diagrama de Carga entre 17-18 fevereiro de 2016.....	38
Figura 6.2: Impacto do carregamento de três diferentes frotas no Diagrama de Carga entre 16-17 agosto de 2016.....	40
Figura 6.3: Impacto do carregamento de três diferentes frotas no Diagrama de Carga entre 13-14 maio de 2016	42
Figura 6.4: Impacto do carregamento adaptado de 1 M de VEs no Diagrama de Carga entre 17-18 fevereiro de 2016.....	44
Figura 6.5: Impacto do carregamento adaptado de 1 M de VEs no Diagrama de Carga entre 16-17 agosto de 2016.....	46
Figura 6.6: Impacto do carregamento adaptado de 1 M de VEs no Diagrama de Carga entre 13-14 maio de 2016	47

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: TOP 5 de Vendas de VEs (BEV+PHEV) em Portugal para o ano de 2016 [11]	8
Tabela 2.2: Vendas Totais de VEs (BEV+PHEV) em Portugal [14]	8
Tabela 3.1: Excessos Médios Mensais para os meses em estudo.....	14
Tabela 3.2: Máximos Excessos Diários para os meses em estudo	14
Tabela 3.3: Preços Médios Mensais do MIBEL [23]	17
Tabela 4.1: VEs por posto de carregamento [25]	19
Tabela 4.2: Capacidade total produzida pelos principais produtores de baterias [32] ...	24
Tabela 4.3: Autonomia e capacidade das baterias de marcas de VEs	24
Tabela 4.4: Fatores que influenciam o comportamento do utilizador face ao seu carregamento [34].....	25
Tabela 6.1: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 100 k VEs (17-18 fevereiro).....	38
Tabela 6.2: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 500 k VEs (17-18 fevereiro).....	39
Tabela 6.3: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs (17-18 fevereiro)	39
Tabela 6.4: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 100 k VEs (16-17 agosto).....	40
Tabela 6.5: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 500 k VEs (16-17 agosto).....	41
Tabela 6.6: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs (16-17 agosto)	41
Tabela 6.7: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 100 k VEs (13-14 maio)	42
Tabela 6.8: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 500 k VEs (13-14 maio)	43
Tabela 6.9: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs (13-14 maio).....	43

Tabela 6.10: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs com consumo adaptado (17-18 fevereiro).....	45
Tabela 6.11: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs com consumo adaptado (16-17 agosto)	46
Tabela 6.12: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs com consumo adaptado (13-14 maio)	48
Tabela A.1: Percentagem de VEs disponíveis para os principais horários de carregamento	57
Tabela A.2: Número de VEs disponíveis para carregamento para três diferentes frotas	58
Tabela A.3: Percentagem de VEs em carregamento	59
Tabela A.4: Número de VEs em carregamento	60
Tabela A.5: Consumo dos VEs em carregamento	61
Tabela B.1: Percentagem de VEs em carregamento (17-18 fevereiro de 2016)	63
Tabela B.2: Número de VEs em carregamento (17-18 fevereiro de 2016).....	64
Tabela B.3: Consumo de VEs em carregamento (17-18 fevereiro de 2016).....	65
Tabela B.4: Percentagem de VEs em carregamento (16-17 agosto de 2016)	67
Tabela B.5: Número de VEs em carregamento (16-17 agosto de 2016).....	68
Tabela B.6: Consumo de VEs em carregamento (16-17 agosto de 2016).....	69
Tabela B.7: Percentagem de VEs em carregamento (13-14 maio de 2016).....	71
Tabela B.8: Número de VEs em carregamento (13-14 maio de 2016)	72
Tabela B.9: Consumo de VEs em carregamento (13-14 maio de 2016).....	73

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

Desde sempre o homem procurou criar mecanismos que fossem capazes de reduzir o seu esforço e aumentar o seu conforto. Então, como resultado desse espírito de procura pelo conhecimento, foi inventado o automóvel, que se tornou num dos principais meios de transporte utilizados pelo homem.

No fim do século XIX, o motor de combustão interna de grande velocidade foi inventado por Gottlieb Daimler [1]. Depois, em conjunto com Karl Benz, foi desenvolvido o automóvel movido a gasolina como o conhecemos atualmente. Também no século XIX foram desenvolvidos os primeiros veículos elétricos (VE) e, no início do século XX, nos EUA, cerca de 28% dos veículos produzidos já eram elétricos [2].

Apesar de terem sempre estado tecnologicamente bem à frente em termos de eficiência, os VEs sofriam do problema da autonomia, tempo de carregamento e preço das baterias [3]. Assim, o declínio dos VEs deu-se com a melhoria das estradas e acessos que requeriam uma autonomia maior, o crescimento da exploração do petróleo e o início da produção em série dos motores de combustão interna. Todavia, com o início da crise do petróleo (1970) o interesse nestes veículos ressurgiu e, nas últimas décadas, a maioria das marcas de automóveis desenvolveram novos modelos elétricos.

Atualmente, devido à maior fiabilidade e qualidade dos sistemas de energia elétrica (SEE) nos países desenvolvidos, cada vez mais os SEE se encontram preparados para garantir o carregamento em larga escala deste tipo de veículos.

Também, a geração de energia a partir de fontes renováveis tem vindo a ocupar uma importante fatia do setor de produção elétrica, nomeadamente em Portugal. Durante o ano de 2016, 58 % da produção de energia foi de origem renovável (22 % eólica, 30 % hídrica, 5 % bioenergia e 1 % solar) [4]. Essa geração renovável assegurou 64 % do consumo e permitiu a redução do preço médio no mercado ibérico da eletricidade (MIBEL), que se

situou nos 39,4 €/MWh, quando em 2015 foi de 50,4 €/MWh, com uma contribuição das renováveis de 48 % [5].

Porém, devido à dependência que as renováveis têm das condições climáticas, estas são caracterizadas por uma elevada intermitência e variabilidade. Surgiram então algumas soluções para compensar a intermitência, tais como o uso de centrais de reserva, sendo as centrais hídricas e de ciclo combinado as mais usuais [6]. Outras opções passam pelo armazenamento de energia ou pela alteração da procura para compensar as variações da geração renovável [7]. Neste contexto os VEs surgem como uma alternativa para assegurar a minimização da intermitência, pois estes carregam maioritariamente durante a noite, que coincide com o período de maior excesso de geração renovável face ao consumo e o seu ciclo de carregamento pode ser alterado para corresponder a períodos de maior excesso.

1.2 Objetivos

Com esta dissertação pretende-se apresentar novas soluções para o uso do excesso de geração renovável, como o carregamento de VEs.

Pretende-se analisar todos os dias do passado ano de 2016 e, assim avaliar quais os excessos diários e mensais associados a cada estação do ano e se a exportação de energia excessiva poderá ser uma ação vantajosa.

Sabendo que durante as horas de vazio (em que a procura é menor) o excesso de geração renovável poderá chegar a valores elevados, seria adequado e vantajoso em termos económicos para o utilizador do veículo colocá-lo a carregar durante esses períodos de tempo. Também se pretende analisar o consumo de um VE durante o espaço de tempo em que estiver a carregar e, desta forma, ampliar o impacto do seu carregamento com o estudo de três diferentes frotas de veículos (100 k, 500 k e 1 M de VEs).

Tendo em consideração que o horário de início de carregamento está dependente da rotina diária do utilizador, neste estudo será considerado que o intervalo de tempo do carregamento dos VEs será entre a chegada do seu utilizador no fim do dia a casa e partida para o emprego na manhã do dia seguinte. Deste modo, pretende-se analisar a correspondência entre os excessos das fontes renováveis e o carregamento de veículos, que são indispensáveis para o dia a dia de milhares de portugueses.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em sete capítulos diferentes.

No primeiro capítulo faz-se uma introdução às temáticas abordadas e apresenta-se a motivação para a realização deste trabalho.

No segundo capítulo é feita uma abordagem ao cenário atual da geração da energia elétrica a nível nacional. Também é apresentada a utilização dos VEs em Portugal e a nível mundial. São introduzidos alguns estudos de avaliação do impacto na rede elétrica do carregamento de VEs.

No terceiro capítulo é feita uma análise da variabilidade da geração renovável e dos excessos de geração renovável durante o ano de 2016. São analisados alguns diagramas de carga de dias representativos quanto ao excesso de geração. Também é feita uma análise do preço da energia no mercado (MIBEL) nos períodos em que há excesso de geração renovável face ao consumo de energia

No quarto capítulo são indicados os modos de carregamento para um VE, a importância das baterias e são abordados os fatores que influenciam o carregamento de um VE. Também são apresentados o período de carregamento e o consumo de um VE que foram considerados na realização deste estudo.

No quinto capítulo são apresentados os cenários de perfis de carregamento de VEs para três frotas diferentes (100 k, 500 k e 1 M), tendo em consideração o quotidiano europeu (chegada a casa ao fim do dia e partida para o emprego na manhã do dia seguinte). Também são estudados três dias representativos do ano, quanto ao excesso de geração renovável.

No sexto capítulo são analisados os impactos do carregamento dos VEs nos dias de estudo. É também feita uma outra avaliação, considerando a possibilidade de controlar os carregamentos para os fazer coincidir com os horários de maior geração renovável.

No sétimo capítulo são evidenciadas as principais conclusões retiradas deste trabalho e descritos os potenciais desenvolvimentos futuros.

Capítulo 2

Veículos Elétricos e a Rede Elétrica

Neste capítulo que corresponde ao estado da arte, é feita uma abordagem ao cenário atual da geração da energia elétrica a nível nacional. Também é apresentada a utilização dos VEs em Portugal e a nível mundial. E, são introduzidos alguns estudos de avaliação do impacto na rede elétrica do carregamento de VEs.

2.1 Cenário Atual e Geração de Energia Elétrica

A abundância de combustíveis fósseis proporcionou desde há um século a utilização destes recursos para produção de energia elétrica, mas a sua natureza finita tem vindo a implicar custos de exploração crescentes. Aí, começou a mudança para uma economia energética cada vez mais descarbonizada e assente na exploração de fontes renováveis.

Em Portugal, desde 1997, tem vindo a ser implementada uma política de descarbonização da economia energética. Até então, a geração de eletricidade assentava fundamentalmente em Produção em Regime Ordinário (PRO) com tecnologias despacháveis como centrais hídricas, térmicas, a carvão e fuelóleo.

Para atender aos objetivos de descarbonização e ao aumento da procura, intensificou-se a exploração de fontes renováveis não despacháveis, através da designada Produção em Regime Especial (PRE), principalmente de energia eólica e hídrica fio-de-água. As despacháveis com centrais de ciclo combinado a gás natural também ocuparam uma posição importante para a então diminuição de fontes poluentes. Todavia, essa geração intermitente cresceu excessivamente e os consumos diminuíram, o que conduziu a que se considerasse que em Portugal existia excesso de capacidade instalada, com 18,53 MW dos quais 7,22 MW eram de PRE. Como o consumo exibia uma ponta máxima de 8,612 MW e mínima de 4,85 MW, ocorreram períodos em que a PRE excedeu a procura, obrigando grande parte da PRO a sair de serviço [8].

Devido a esse crescimento excessivo, os custos de exploração dispararam e algumas centrais de PRO perderam ou perdem continuamente eficiência, pois são colocadas fora

de serviço de forma abrupta (regime pára-arranca), quando foram concebidas para operar continuamente, para além de terem de ser pagas rendas pela sua disponibilidade.

Também a PRE injetada na rede é paga aos seus produtores a uma tarifa elevada (72€/MWh), enquanto que tem que ser vendida ou exportada a preço de mercado que pode chegar a zero [8]. Muitos destes fatores envolventes no *mix* de geração de eletricidade demonstram o desperdício económico que existe atualmente.

2.2 Veículos Elétricos

Desde a construção do primeiro automóvel no século XIX, a humanidade entrou numa nova era e o meio de transporte singular ocupa hoje em dia um importante patamar da economia. Para além de novas tecnologias com emissões praticamente nulas de CO₂, a indústria automóvel ainda continua a utilizar motores de combustão interna (ICE - *Internal Combustion Engine*), nomeadamente devido ao *lobbie* do Petróleo, cujas reservas ainda parecem estar longe de ficarem extintas.

Até à data, o veículo elétrico tem sido sobretudo uma curiosidade, uma forma do utilizador demonstrar as suas credenciais ecológicas, devido ao seu custo elevado. Contudo, de acordo com as novas pesquisas e estudos, este será um cenário que será alterado, pois em termos de custos totais, em 2022, um veículo elétrico poderá vir a custar tanto quanto um motor de combustão interna [9].

Nos últimos anos, as vendas de VEs têm vindo a aumentar e prevê-se que esta tendência venha a ser acentuada, pois estes apresentam várias vantagens. Permitem armazenar e consumir energia endógena de origem renovável para utilizar na mobilidade, reduzir as emissões de CO₂, contribuir para a redução das perdas de transporte de energia, melhor utilização das redes e reduzir a importação de petróleo. Para além disso, um VE tem uma eficiência na ordem dos 80 %, enquanto que um ICE tem uma eficiência na ordem dos 20 %. No caso português, representaria uma reviravolta para a balança de transações, pois há uma excessiva dependência energética do exterior.

Os veículos elétricos podem-se dividir em dois tipos: PEV (*Plug-in Electric Vehicle*) e HEV (*Hybrid Electric Vehicle*), conforme é ilustrado na Figura 2.1. No HEV, a bateria é carregada unicamente por meio do ICE ou em alguns poucos casos pela travagem regenerativa, enquanto que o PEV é um veículo híbrido, cuja bateria utilizada para alimentar o motor elétrico pode ser carregada diretamente por meio de uma tomada [10]. De entre os PEVs existe o PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*) e o BEV (*Battery*

Electric Vehicle), sendo que os consumidores preferem normalmente os híbridos, pois apresentam maior autonomia face à ainda inadequação da rede elétrica para carregamento rápido ou troca de bateria em qualquer local.

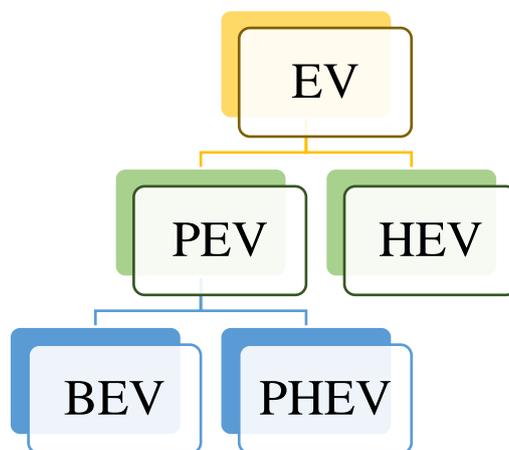


Figura 2.1: Tipos de Veículos Elétricos

Já muitos países têm aumentado fortemente a adoção de VEs, como a China, que desde 2015 tem visto a sua frota de veículos elétricos aumentar nos 128 %. Na Noruega os VEs representam 30 % dos novos veículos vendidos [11].

De modo a haver uma penetração mais rápida no mercado dos VEs, alguns fabricantes têm oferecido aos seus clientes vantagens, como a Tesla que oferece o valor de aquisição do automóvel em carregamentos (postos de carregamento) ao seu cliente. Os consumidores ainda não estão familiarizados com estes automóveis, mas tendo presente a informação atual acerca deste novo tipo de veículo, o utilizador valoriza sobretudo o carregamento otimizado, a identificação automática do veículo e a pré-faturação do carregamento. Estes três últimos fatores apresentam-se bastante apelativos para um potencial futuro utilizador de um VE. Com o carregamento otimizado, o sistema de carregamento negocia com o distribuidor de eletricidade do utilizador de modo a obter a melhor tarifa e hora para o carregamento, não afetando a hora programada para o início de uso do veículo por parte do utilizador. A identificação automática permite ao utilizador que o veículo automaticamente se identifique cada vez que se dirija a um posto de carregamento e, através do sistema de pré-faturação, automaticamente, o valor é descontado numa conta já existente do proprietário do VE [12].

2.2.1 Veículos Elétricos em Portugal

Em Portugal, também no último ano de 2016, a venda de veículos que recorrem exclusivamente a eletricidade para se locomoverem cresceu quase 50 %, comparando com o ano de 2015.

Como é apresentado na Tabela 2.1, o Nissan Leaf foi o que mais vendeu, seguido do Mercedes C350e.

Tabela 2.1: TOP 5 de Vendas de VEs (BEV+PHEV) em Portugal para o ano de 2016 [11]

PI	Marca	Número de Veículos Vendidos
1	Nissan Leaf	328
2	Mercedes C350e	289
3	Mitsubishi Outlander PHEV	285
4	BMW i3	218
5	Volvo V60 Plug-In	9

Com uma frota a ultrapassar as 5000 unidades, Tabela 2.2, até ao fim de 2017 é expectável que surjam mais 3000 registos de VEs [13].

Tabela 2.2: Vendas Totais de VEs (BEV+PHEV) em Portugal [14]

Ano	Número de Veículos Vendidos
2017¹	1028
2016	1970
2015	1305
2014	362
2013	224
2012	161
2011	210
Total	5260

Também o Estado Português oferece 2250 € a quem comprar um dos primeiros mil VEs, bastando apresentar um comprovativo em como comprou este tipo de automóvel para conseguir o subsídio atribuído pelo Fundo Ambiental [15]. No setor público já existem carros 100% elétricos, como no caso da frota da Câmara de Lisboa e do carro do próprio primeiro-ministro [15].

¹ Este valor corresponde às vendas de janeiro a abril de 2017

2.2.2 Veículos Elétricos no Mundo

Assim como o surgimento da TV a cores nos anos 70, ou a vinda dos *smartphones* na última década, os VEs poderão também marcar a próxima década. De acordo com a *Bloomberg New Energy Finance*, prevê-se que a nível mundial as vendas dos VEs (BEVs+PHEVs) irão aumentar para cerca de 41 milhões em 2040, representando 35 % das vendas de novos veículos e 25 % da frota global [16], como pode ser observado pela Figura 2.2.

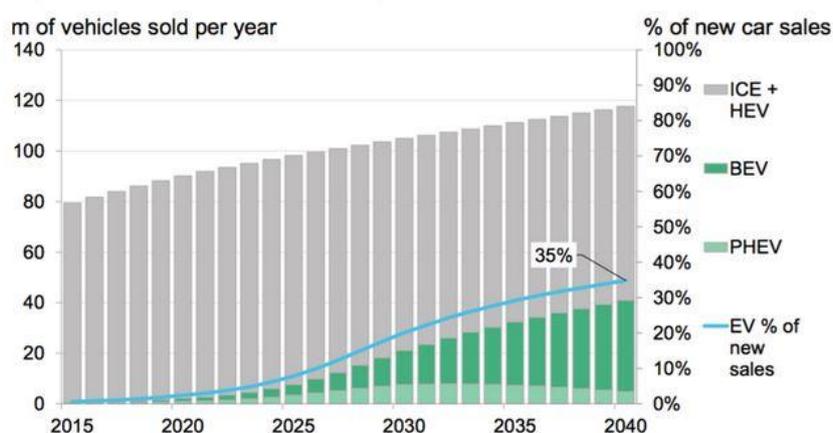


Figura 2.2: Previsão das Vendas de VEs a nível global para 2015-2040 (milhões de VEs vendidos por ano, %) [16]

No caso português, prevê-se que a penetração dos VEs será lenta, pois em Portugal as vendas de veículos ainda são baixas, o que dá ainda ao sistema eletroprodutor português bastante tempo para se adaptar a este fenómeno futuro.

Consoante o número de VEs vendidos aumente, também o custo para a aquisição dos mesmos irá diminuir naturalmente. Talvez dentro de uma década ou duas, os VEs se tornem menos dispendiosos quando comparados com um motor de combustão interna. Este aumento considerável de VEs poderá provocar uma diminuição da utilização de petróleo e um aumento da procura de energia elétrica (nomeadamente de fontes renováveis). De modo a amenizar esse consumo e procura excessivos, o aumento da capacidade de armazenamento das baterias e a capacidade para gerir o carregamento dos VEs irá ser um elemento de peso nesta nova mudança [9].

2.3 Impacto na Rede Elétrica

A adoção de veículos elétricos em larga escala e os impactos dos seus carregamentos, assim como a influência das renováveis, têm vindo a ser estudados em vários países, entre os quais Portugal. Em relação aos potenciais impactos dos veículos elétricos nos sistemas elétricos, alguns estudos analisaram a procura adicional, o impacto nas emissões de CO₂ associadas aos VEs e o papel das estratégias de gestão do carregamento dos VEs.

Num dos estudos foi utilizado um Opel Ampera (PHEV com arquitetura *voltec*) e concluiu-se que o uso deste veículo seria simples para quem dispusesse de garagem ou lugar de estacionamento com tomada acessível, para que ao fim do dia e a qualquer hora o automóvel fosse carregado. Com uma autonomia superior a 60 km, uma recarga de dois em dois dias, seria o suficiente para permitir satisfazer as necessidades das deslocações diárias de uma família. Analisou-se a influência de um veículo elétrico nos diagramas de carga diários de uma habitação, como pode ser observado na Figura 2.3 e, concluiu-se que se o seu carregamento fosse num horário de tarifa económica, este seria facilmente enquadrado [8].

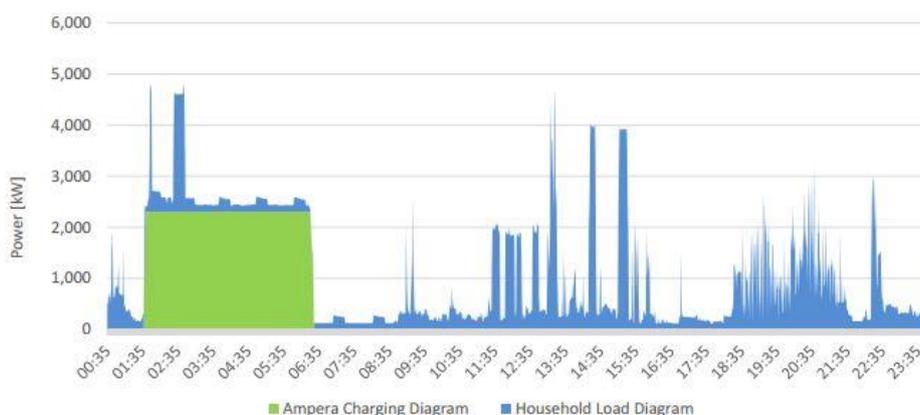


Figura 2.3: Diagrama de Carga Diário demonstrando o impacto do carregamento de um VE durante uma noite de fim de semana, no modo de carregamento rápido [8]

Num outro estudo foi avaliada a contribuição dos VEs para nivelar o diagrama de carga diário nas horas em que a procura é baixa, para dois cenários: continente (Portugal-continental) e ilha (S. Miguel) [17]. Como pode ser observado na Figura 2.4 referente ao continente, foram utilizadas diferentes frotas de VEs (100 k, 1 M e 2,5 M) e o impacto do carregamento dos veículos começou a ser notório a partir de 1 M.

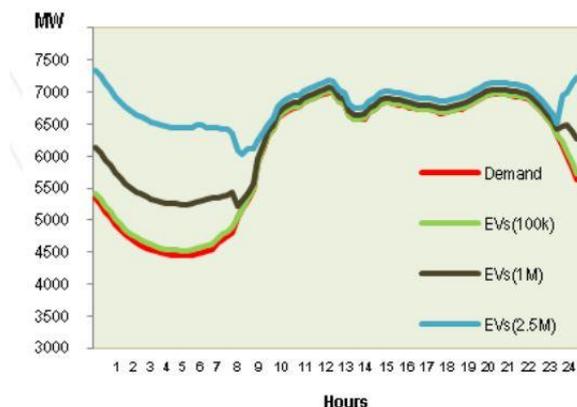


Figura 2.4: Impacto do carregamento de VEs nos períodos de baixo consumo [17]

Avaliando o diagrama de carga diário típico de inverno da ilha (Figura 2.5), pode ser visto de maneira mais direta que o carregamento de VEs fora das horas de ponta diminuiu as emissões de CO₂, pois nessas horas as fontes renováveis eram mais abundantes. Deste modo, também os custos de geração foram diminuídos, pois nesse local a energia geotérmica é um recurso praticamente infinito. O cenário da ilha, devido à sua pequena dimensão e isolamento apresentou menor variedade de fontes renováveis, assim como a impossibilidade de ter um mercado de energia, como ocorre no continente. Ou seja, desta forma o preço final da eletricidade estará ao encargo de uma só entidade.

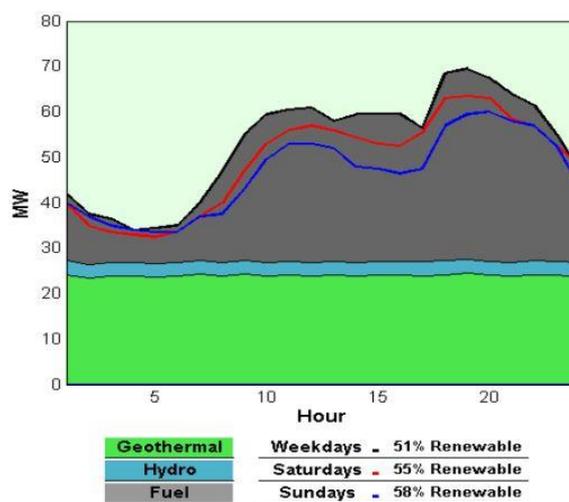


Figura 2.5: Diagrama de carga diário típico de inverno na ilha de S. Miguel [17]

A substituição em larga escala de ICEs por VEs num país cuja geração renovável seja bastante elevada, como Portugal, faria com que o consumo de energias fósseis e, conseqüentemente as emissões de CO₂, diminuíssem significativamente. Num outro estudo foi apresentado um balanço económico e ambiental do consumo e emissão de CO₂

por ICEs vs VEs [18]. Foi observado que o uso de um BEV em vez de um ICE evitou o consumo de entre 600 a 900 litros de combustível por ano por veículo. Foi considerado que o veículo teria percorrido 15000 km/ano, com um preço médio na União Europeia de 1,35€/l de gasóleo, 1,45€/l de gasolina e 0,16€/kWh de energia elétrica. Em termos ambientais, um BEV emite muito menos CO₂ do que um ICE (0,98 MTCO₂/ano, quando comparado com 2 MTCO₂/ano para um veículo a diesel e 2,58 MTCO₂/ano para um veículo a gasolina) o que do ponto de vista ambiental e económico demonstra ser muito benéfico [18].

Capítulo 3

Análise da intermitência

Neste capítulo é feita uma análise da variabilidade da geração renovável e dos excessos de geração renovável para o ano de 2016. São analisados alguns diagramas de carga de dias representativos quanto ao excesso de geração. Também é feita uma análise das tarifas de exportação de energia no caso desta ser excessiva quanto às fontes renováveis.

3.1 Variabilidade de geração renovável e excessos de geração

Face ao crescente interesse e consciencialização ambiental, a energia elétrica proveniente de fontes renováveis ocupou nas duas últimas décadas uma fatia muito importante da geração. A crescente integração das renováveis intermitentes, nomeadamente a energia eólica e hídrica (e a solar em menor escala), fez com que Portugal em 2016 ocupasse um dos principais lugares a nível mundial de países com maior competitividade, acessibilidade e sustentabilidade do setor energético [19]. Um marco muito importante do ponto de vista ambiental e económico foi atingido, entre os dias 7 e 11 de maio de 2016, tendo Portugal conseguido abastecer a sua rede elétrica sem quaisquer emissões de carbono. Ou seja, Portugal usou apenas energias renováveis durante quatro dias consecutivos [20].

Todavia, estas fontes são de difícil previsão devido à variabilidade das condições climáticas e, no caso da geração renovável não ser capaz de satisfazer a procura, é necessário recorrer a fontes de energia fóssil. Simultaneamente, o que passou a ocorrer com bastante frequência, foi o surgimento de excesso de energia proveniente de fontes renováveis face à procura. Assim, principalmente durante o inverno e maioritariamente durante a noite (devido ao menor consumo) a geração renovável excede frequentemente a procura, o que faz com que muitas vezes esta energia seja exportada a um preço bastante reduzido.

Foram analisados os diagramas de carga diários disponibilizados pela REN para o ano de 2016 e com vista a quantificar os excessos de energia gerada que não foi consumida, usou-se a equação 3.1.

$$\text{Excesso de Geração} = \text{Geração Renovável} - (\text{Consumo} + \text{Bombagem}) \quad (3.1)$$

Como pode ser observado na Tabela 3.1, os meses do ano com maior excesso médio mensal foram os meses de fevereiro e abril, com valores médios de 16,1 GWh/dia e de 14,1 GWh/dia, respetivamente. Contudo, os meses de julho, agosto, setembro não apresentaram excesso de geração renovável, assim como o de dezembro que se apresentou bastante seco e pouco ventoso [21]. O mês de fevereiro para além de apresentar o maior valor de excesso médio mensal, também regista o dia do ano com maior excesso diário, o dia 14 de fevereiro, com 68,2 GWh/dia, conforme é apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.1: Excessos Médios Mensais para os meses em estudo

Mês	Excesso Médio Mensal [MWh/dia]
janeiro	9132
fevereiro	16112
março	4651
abril	14062
maio	7045
junho	22,6
outubro	17,98
novembro	24,62

Tabela 3.2: Máximos Excessos Diários para os meses em estudo

Data	Máximo Excesso Diário [MWh/dia]
10-01-2016	44790
14-02-2016	68224
04-03-2016	24048
12-04-2016	35956
10-05-2016	35533
03-06-2016	337
22-10-2016	232,7
07-11-2016	349,4

A Figura 3.1 mostra o diagrama de carga diário referente ao dia 14 de fevereiro, onde é notório o excesso de renovável ao longo do dia. Essa data é referente a um domingo, o que justifica de certo modo o registo de menor consumo ao longo do dia. Porém, é observável que existe a partir das 17:00 geração de energia proveniente de fonte fóssil, apesar de existir excesso de renovável. Esta ocorrência é sobretudo devida à previsão das condições climáticas para os próximos dias, pois após este dia em estudo, a produção de renovável começou a decrescer, assim como o excesso de energia produzida por estas fontes [22]. Apesar de existir excesso de renovável em Portugal nos dias posteriores ao domingo, 14 de fevereiro, verificou-se que ao longo da semana (15 a 21 de fevereiro) o sistema elétrico espanhol necessitaria de importar energia de Portugal [23]. E, estando a nossa rede elétrica interligada com a rede intercontinental europeia, nomeadamente com a rede elétrica espanhola, procurou também responder a essa necessidade vizinha, ligando previamente o Gás Natural.

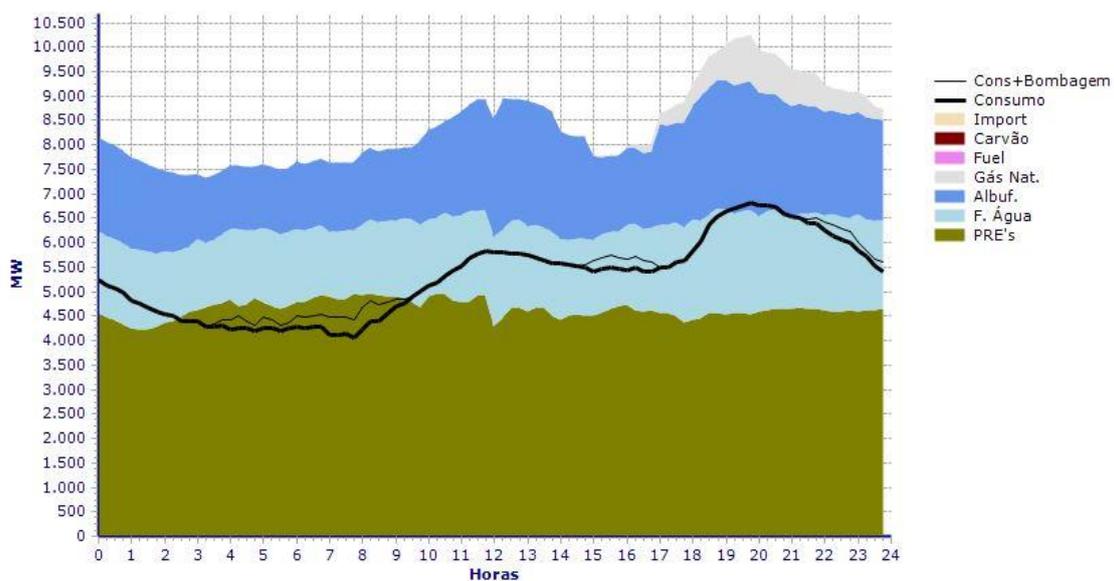


Figura 3.1: Diagrama de Carga de 14 de fevereiro de 2016 [24]

Na Figura 3.2, podem ser observados os excessos de renovável para dois dias de inverno próximos do excesso médio mensal de cada mês. Assim, como também poderá ser observado na Figura 3.3 os excessos para dois dias de primavera. Devido às condições atmosféricas e atendendo a que a geração renovável assenta sobretudo na fonte hídrica e eólica, os meses de inverno apresentam um excesso de renovável muito superior ao longo do dia em comparação com meses mais amenos (como os de primavera).

Ao longo de todo o dia 18 de fevereiro (inverno) existe excesso de energia renovável, excetuando o período entre as 10:45 e as 12:45, em que o excesso é nulo. Durante esse dia o excesso de renovável apresentou valores elevados, comparativamente aos valores do dia 26 de março (primavera), por exemplo. Apesar de nos dias de primavera também existirem pontas de excesso de renovável elevadas, como por exemplo o valor de 1487MW para as 20:30 do dia 13 de maio, também existem longos períodos em que o excesso é nulo.

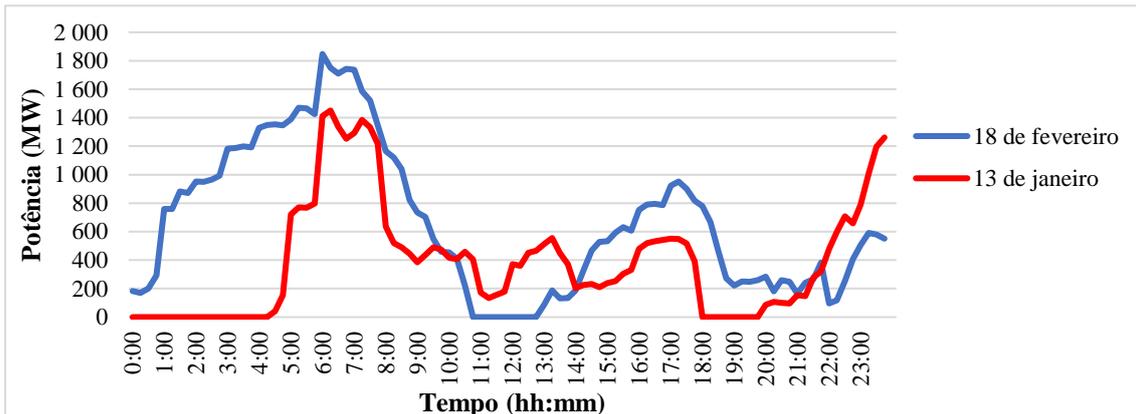


Figura 3.2: Excesso Diário de dois dias de inverno

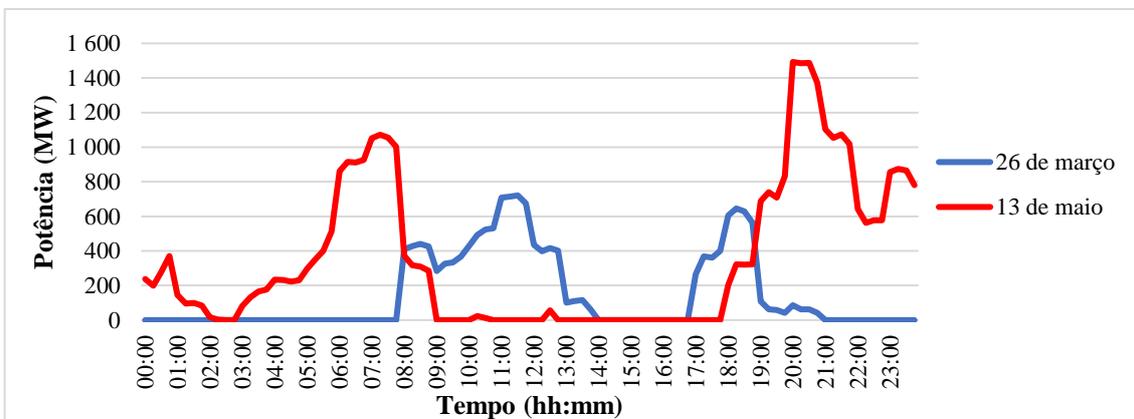


Figura 3.3: Excesso Diário de dois dias de primavera

3.2 Excessos de geração e tarifas de exportação

Do ponto de vista ambiental e económico é muito benéfico para um país ter uma elevada produção de energia renovável. Contudo, quando a geração é excessiva face ao consumo, o preço dessa energia no mercado tenderá a decrescer. Ou seja, o país exportará energia “limpa” a um preço reduzido, não obtendo assim o merecido retorno pelo forte

investimento efetuado numa política de descarbonização. Portugal é exemplo desta realidade.

Na Tabela 3.3 são apresentados os preços médios mensais do mercado por grosso da eletricidade, obtidos no site do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE), do Mercado Ibérico de Energia Elétrica (MIBEL), relativos a Portugal, para todos os meses do ano de 2016.

Como já havia sido apresentado anteriormente, vários meses apresentaram excessos de renovável consideráveis, nomeadamente os cinco primeiros meses do ano. Conforme poderá ser observado na tabela seguinte, esses meses irão apresentar preços da energia no mercado mais reduzidos em relação aos restantes meses do ano, onde o excesso de geração foi menor. Tomando como exemplo o mês de abril que registou o segundo maior valor médio mensal de excesso de geração renovável, o preço médio da energia associado a este período foi a menor registada para 2016, com 23,50 €/MWh. Por outro lado, o mês de setembro que não registou excessos de renovável, apresentou um preço de 43,61€/MWh, quase o dobro da do mês de abril.

Tabela 3.3: Preços Médios Mensais do MIBEL [23]

Mês	Tarifas Médias [€/MWh]
janeiro	36,39
fevereiro	27,35
março	27,70
abril	23,50
maio	24,93
junho	38,28
julho	40,36
agosto	41,14
setembro	43,61
outubro	52,78
novembro	56,25
dezembro	60,27

Na Figura 3.4 e na Figura 3.5 são apresentadas as variações dos preços ao longo do dia para os dias do ano em que o excesso de energia renovável foi mais elevado. O preço médio diário para o dia 10 de janeiro foi de 11,35 €/MWh e para o dia 14 de fevereiro foi de 5,70€/MWh [23]. Estes preços são muito mais baixos do que os médios mensais correspondentes que foram de 36,39 €/MWh e 27,35 €/MWh respetivamente.

O dia 14 de fevereiro, como é apresentado na Figura 3.5, para além de ser um dia que a nível geral apresenta preços mais reduzidos do que outros dias do ano, também regista períodos ao longo do dia em que o preço de exportação é muito reduzido, principalmente entre as 03:00 e as 08:00. Observando o diagrama de carga diário do dia 14 de fevereiro (Figura 3.1), o mesmo período do dia que regista menores preços também é o que regista maior excesso de geração. Logo, mais uma vez se verifica que o elevado excesso de geração renovável fará com que as tarifas de exportação reduzam o seu valor.

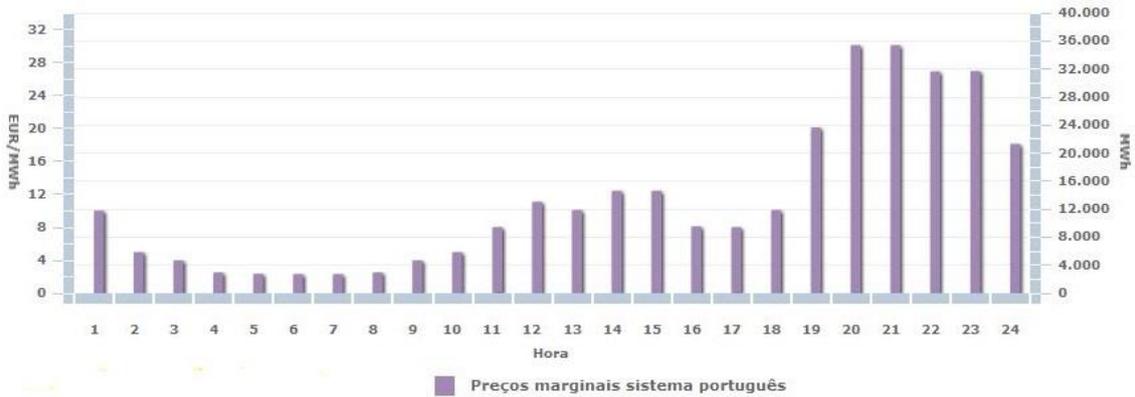


Figura 3.4: Variação ao longo do dia 10 de janeiro de 2016 dos preços do MIBEL [23]

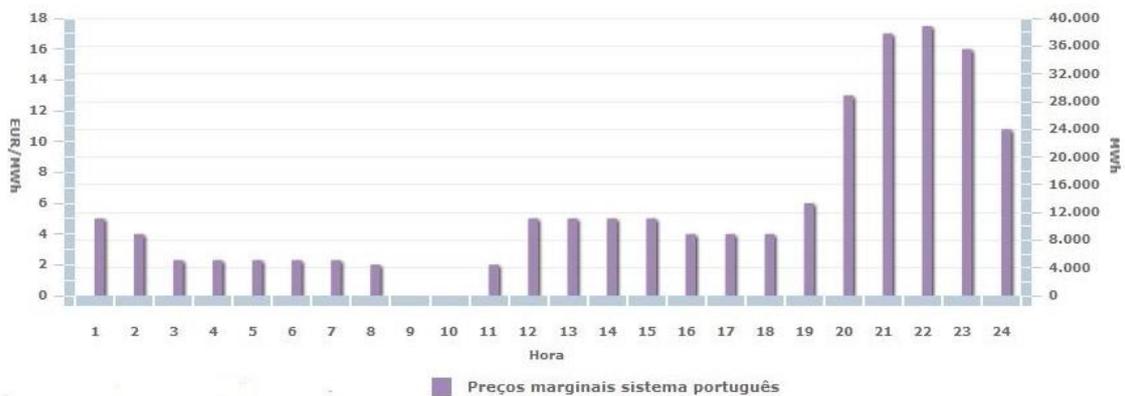


Figura 3.5: Variação ao longo do dia 14 de fevereiro de 2016 dos preços do MIBEL [23]

Com este estudo pode-se concluir que os períodos do ano que apresentam um excesso de renovável mais elevado correspondem aos meses de inverno, onde as fontes de energia renovável, nomeadamente a hídrica e eólica são mais abundantes. É possível observar que durante os fins de semana o consumo é muito menor, comparando com os dias úteis, aumentando assim esse excesso. Também pode ser verificado que os preços médios de do mercado de energia são baixos quando existe um elevado excesso de geração renovável.

Capítulo 4

Consumo do VE

Neste capítulo são indicados os modos de carregamento para um VE, a importância das baterias e, são abordados os fatores que influenciam o carregamento de um VE. Também são apresentados o período de carregamento e o consumo de um VE que foram considerados para realizar este estudo

4.1 Importância do processo de carregamento

O veículo elétrico é cada vez mais visto como o meio de transporte que substituirá o motor de combustão interna, apresentando-se como uma opção com emissões muito reduzidas ou até mesmo nulas de CO₂. Porém, o que determina a autonomia deste transporte são as baterias utilizadas, fabricadas na sua maioria à base de lítio.

Para um país que pretenda apostar em VEs, ter postos de carregamento suficientes para os mesmos, é um dos requisitos mínimos que deve garantir.

Na tabela seguinte pode ser observado que a China tem o maior rácio com 53 VEs por posto de carregamento. Em contrapartida, Portugal apresenta um rácio muito inferior, significando que existem poucos VEs em Portugal para a rede de postos de carregamento, ou seja, esta é atualmente demasiado grande para o número de VEs existentes [25]. Assim, Portugal já reúne condições para um elevado crescimento do número de VEs.

Tabela 4.1: VEs por posto de carregamento [25]

País	VEs por posto de carregamento
China	53
Japão	37
EUA	28
Áustria	6
Portugal	1,6

Devido à intensa rotina diária característica da nossa sociedade, o utilizador de um VE terá tendência para carregar o seu veículo no seu lar. Assim, um dos problemas que poderão surgir devido ao facto do VE ser carregado em casa, tem a ver com a existência

de um número elevado de VEs que poderão ser carregados em simultâneo, o que poderá sobrecarregar a rede elétrica. De modo a mitigar este tipo de problema, a gestão do carregamento de vários VEs poderia ser explorada através do uso de *smart grids*, interrelacionando com o excesso de geração de energia renovável em determinados períodos do dia [26].

4.2 Modos de Carregamento

Cerca de 95% dos VEs são atualmente carregados em casa [27]. Um VE é carregado por tomadas elétricas apropriadas através do carregador que tem a bordo, transformando a energia AC (da tomada) em DC (bateria do VE) [28], como é ilustrado na Figura 4.1.

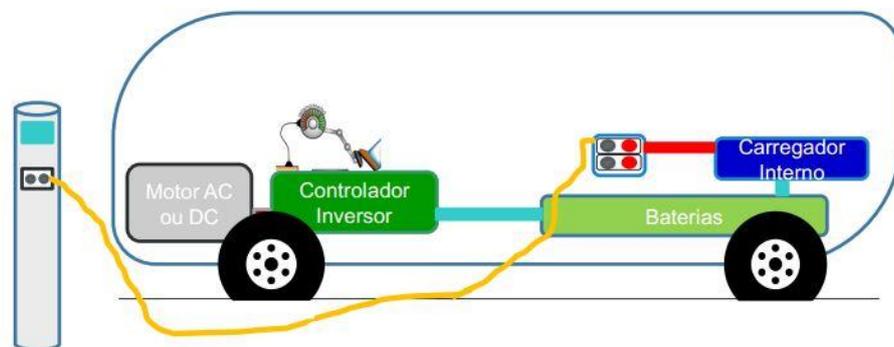


Figura 4.1: Carregamento normal de um VE [28]

Com base na norma IEC 61851 que define como deve ser feito o carregamento de um veículo elétrico e em que condições, existem quatro modos de carregamento que serão brevemente descritos.

4.2.1 Modo 1

Este tipo de carregamento baseia-se na carga lenta a partir de uma tomada normalizada, onde não existe comunicação tomada-veículo. Refere-se assim à ligação de um veículo elétrico à rede elétrica utilizando tomadas domésticas normalizadas não excedendo 16 A nem 230 V monofásicos ou 380 V trifásicos [29]. Tem como principal vantagem a sua simplicidade, como pode ser observado na Figura 4.2. Por outro lado, tem como enorme desvantagem o facto de ser bastante perigoso, pois o cabo de carregamento fica sempre com tensão no extremo que liga ao VE a partir do momento em que é ligado no posto de

carregamento [28]. Então, devido à sua simplicidade, torna-se num modo económico e de fácil uso doméstico.



Figura 4.2: Modo 1 de carregamento [30]

4.2.2 Modo 2

Este modo de carregamento baseia-se na carga lenta a partir de uma tomada normalizada com um dispositivo de proteção no próprio cabo, ou seja, a tomada doméstica é munida de um aparelho ligado por cabo que permite a comunicação com o veículo protegendo assim a instalação, como é observado na Figura 4.3. Refere-se então à ligação de um veículo elétrico à rede elétrica utilizando tomadas domésticas normalizadas não excedendo 32 A nem 230 V monofásicos ou 400 V trifásicos [29].

Apesar de ser relativamente simples, é mais complexo e seguro do que o Modo 1. A potência limite é de 22 kW, ou seja, é insuficiente no caso de se pretender obter carregamentos rápidos. Também é económico e pode ser usado a nível doméstico [29].

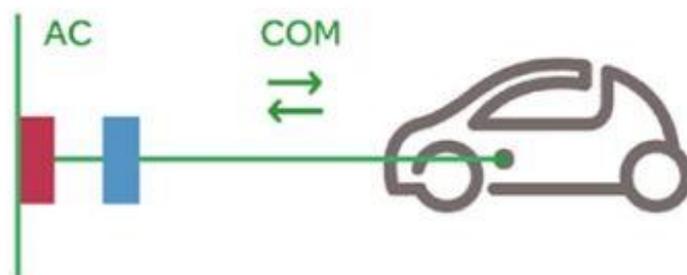


Figura 4.3: Modo 2 de carregamento [30]

4.2.3 Modo 3

O Modo 3 de carregamento é ilustrado na Figura 4.4. Este modo de carregamento baseia-se na carga lenta ou rápida utilizando uma tomada própria para veículos elétricos com funções de controlo e proteção. Refere-se então à ligação de um VE à rede elétrica utilizando postos de carregamento e tomadas específicas para VEs.

Neste modo de carga é utilizado um sinal de controlo, com recurso a um pino próprio, que permite ao VE dar a informação ao posto de carregamento para iniciar, parar ou regular a carga. O modo 3 pode desta forma ser usado tanto para carga lenta como rápida, em AC ou DC [29]. Então, este modo permite carregamentos lentos ou médios com um grau de segurança elevado. Como é mais complexo do que o Modo 1 e Modo 2, o seu custo também será superior. Poderá ser utilizado a nível doméstico se existir potência disponível para o efeito [29].



Figura 4.4: Modo 3 de carregamento [30]

4.2.4 Modo 4

Ilustrado na Figura 4.5, este modo baseia-se na carga rápida DC, o que permite um carregamento rápido usando-se para tal um carregador externo com corrente contínua.

Este modo é assim utilizado para carga rápida DC com correntes que podem chegar aos 400 A. Tal como o Modo 3, este permite cargas rápidas e tem como grande vantagem o facto de ser extremamente seguro, pois só quando o VE comunica com o posto de carregamento é que é ligada a energia. Em contrapartida, torna-se demasiado caro e complexo, o que obriga a haver inteligência e eletrónica de controlo no VE para comunicar com o posto de carregamento e implica também uma tomada preparada para a carga rápida DC [29].

De todos os modos de carregamento, este é o que permite carregar mais rapidamente a bateria do veículo, mas devido ao seu elevado grau de complexidade não é destinado ao uso doméstico.

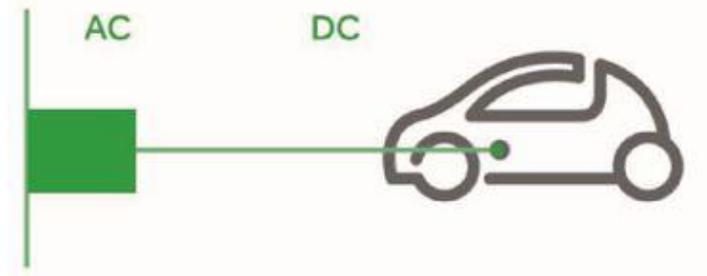


Figura 4.5: Modo 4 de carregamento [30]

A Figura 4.6 apresenta a relação entre o tipo de carregador, a potência e o tempo que demora a carregar. É de notar que quanto mais baixo o nível do carregador, menor é a sua potência e mais tempo demorará a operação de carregamento.

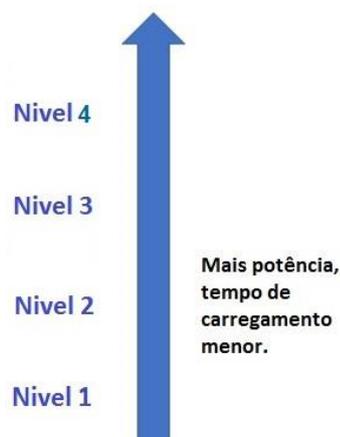


Figura 4.6: Relação entre tipo de carregador, potência e tempo [31]

4.3 Capacidade das Baterias

As baterias para VEs têm tido um crescimento significativo nos últimos anos, sobretudo devido ao facto do mercado se estar a tornar cada vez mais orientado para a compra e venda de VEs. Como tal, a competitividade entre os produtores de baterias tem vindo a aumentar, tendo como consequência a procura pelo aumento de capacidade das

baterias. A Tabela 4.2 demonstra como os principais produtores de baterias para automóveis têm aumentado a sua produção (em termos de capacidade) nos últimos dois anos [32].

Tabela 4.2: Capacidade total produzida pelos principais produtores de baterias [32]

Produtor	2016 MWh	2015 MWh
Panasonic	6,665	4,552
BYD	4,020	1,652
LG Chem	2,285	1,432
AESC	1,622	1,272
Samsung SDI	1,157	504

Tendo em conta que quem dita os principais tipos de baterias mais usados são as marcas de VEs mais vendidas, como é o caso da bateria de 30 kWh mais recente utilizada pelo Nissan Leaf [33] e, também conforme pode ser observado na Tabela 4.3 que apresenta a capacidade de cada bateria e autonomia (km) associados a diferentes marcas de VEs.

Tabela 4.3: Autonomia e capacidade das baterias de marcas de VEs²

Marca VE	Autonomia (km)	Bateria (kWh)
Ford Focus Electric	160	33,5
Volkswagen e-Golf	190	24,2
BMW i3	200	33
Nissan Leaf	200	30
Kia Soul EV	212	27
Renault Zoe	300	41
Tesla Model S	865	100

4.4 Fatores que influenciam o carregamento

O comportamento por parte do utilizador para carregar um VE pode ser visto como o resultado da decisão que este toma após o período de condução que engloba determinados graus de liberdade relacionados com a escolha do início do carregamento, a sua duração e a localização do mesmo. Os utilizadores de VEs interagem com uma infraestrutura de carregamento (postos de carregamento), frotas de VEs e regras típicas do país no qual habitam [34].

² Estes dados foram adquiridos nos catálogos das respetivas marcas

A Tabela 4.4 ilustra os principais fatores que influenciam o comportamento do utilizador do veículo face ao seu carregamento.

Tabela 4.4: Fatores que influenciam o comportamento do utilizador face ao seu carregamento [34]

Condutor	Experiência com VEs, tipo de viagem, interação social, planeamento de carregamento
Infraestrutura	Área abrangida pelos postos de carregamento, densidade de postos de carregamento, políticas da infraestrutura
VE	Tipo de VE, capacidade da bateria, autonomia, consumo

Num estudo feito em Amesterdão foram analisados os hábitos dos utilizadores de VEs na cidade, e concluiu-se que as horas de carregamento dependeriam nomeadamente das rotinas diárias e perfil do utilizador [34]. Se for taxista e, como pode ser observado na Figura 4.7 (eixo das abcissas representa o tempo em horas e o eixo das ordenadas representa a percentagem dos carregamentos), pode-se ver que um condutor de táxi tem carregamentos curtos ao longo do dia e carregamentos mais longos ao final do dia.

Existem períodos em que não existe qualquer tipo de carregamento e isso deve-se a serem horários em que o trabalho é elevado [34].

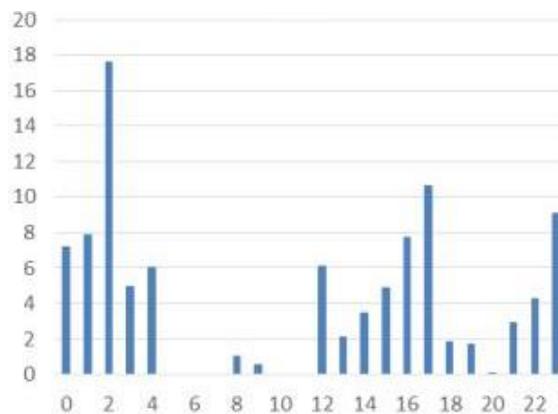


Figura 4.7: Percentagem típica de carregamentos efetuados ao longo do dia por um taxista [34]

Observando a Figura 4.8, referente aos carregamentos efetuados por um residente na cidade de Amesterdão. Pode ser observado que a maioria dos carregamentos ocorrem ao início da noite (devido à chegada do utilizador ao seu lar) e de madrugada (devido à existência de tarifas mais baixas) [34].

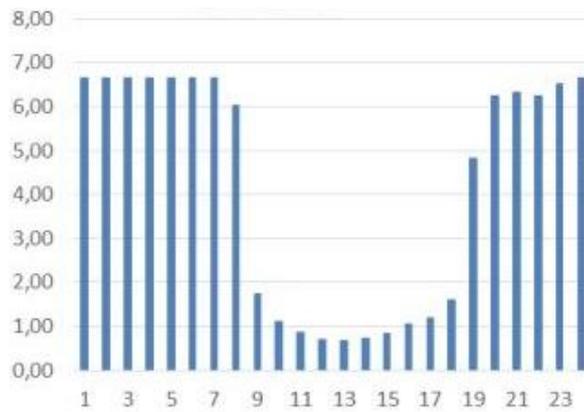


Figura 4.8: Carregamentos efetuados ao longo do dia por um residente [34]

Noutro estudo, efetuado pelo governo espanhol, nomeadamente através de uma sondagem, MOVILIA (*Encuesta de Movilidad de las Personas Residentes en España*), para avaliar o comportamento de um utilizador de VE, foi fornecida informação acerca do tipo de viagem (ir para o trabalho, lazer, ir às compras, etc.) e respetivo horário [35].

Na Figura 4.9 é representada a percentagem de VEs que saem de casa, observando-se que a maioria sai a partir das 08:00. Observa-se também a percentagem dos VEs que regressam casa, o que ocorre maioritariamente após as 19:00, que coincide com o horário de saída do emprego.

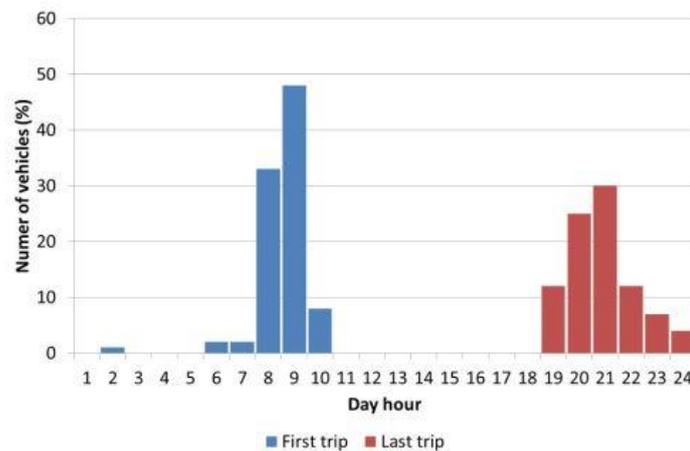


Figura 4.9: Distribuição das horas correspondentes à primeira e última viagem do dia [35]

O número de VEs já estacionados em casa, preparados para o início do seu carregamento pode ser observado Figura 4.10. Estes resultados, mostram que 98 % dos VEs estão disponíveis para o carregamento a partir das 02:00, porém às 10:00 somente 2% dos VEs estão estacionados em casa para iniciar o seu carregamento. Também pode

ser verificado que às 24:00, 96 % dos VEs já regressaram a casa, o que significa que as últimas vindas (dos restantes 2 % dos VEs) ocorrem entre as 24:00 e a 01:00. Pode-se então concluir que os VEs estão na sua maioria estacionados nos seus respetivos lares entre as 19:00 e as 07:00 e acabam de chegar a casa pela 01:00 [35].

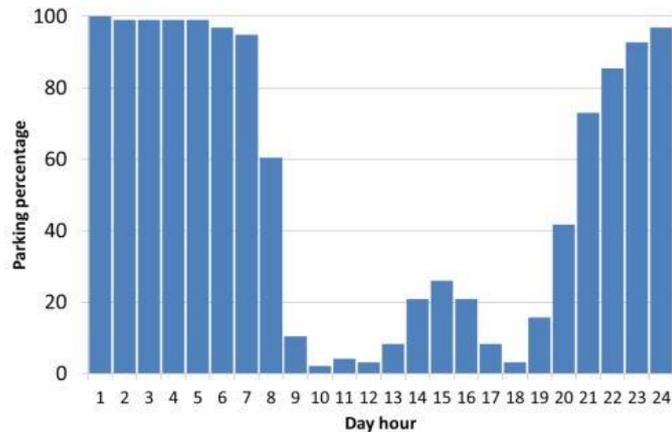


Figura 4.10: Padrão de estacionamento residencial [35]

4.5 Perfil típico de carregamento

Em média um VE tem uma autonomia entre 100 a 200 km, dependendo do estilo de condução, tipo de percurso, marca do automóvel, utilização do ar condicionado ou do aquecimento [24].

Um utilizador europeu de um VE costuma percorrer entre 40 a 80 km diariamente com o seu veículo [24], o que significa que ao fim do dia terá a sua bateria em média descarregada em cerca de 50 % da sua capacidade total. Como estas baterias são principalmente feitas à base de iões de lítio, não convém que efetue o carregamento da mesma somente quando a sua autonomia estiver num valor bastante reduzido, aliás, é recomendado que quando estiver abaixo de 50 % da sua capacidade total efetue o seu carregamento [36]. Desta forma o veículo poderá ser carregado diariamente.

Na Figura 4.11 é apresentado o perfil do carregamento de um VE disponível no Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra. Como pode ser observado, o tempo de carregamento foi cerca de 3 horas e 30 minutos, e absorveu cerca de 13 kWh a uma taxa aproximada de 3,6 kW durante esse período de estudo.

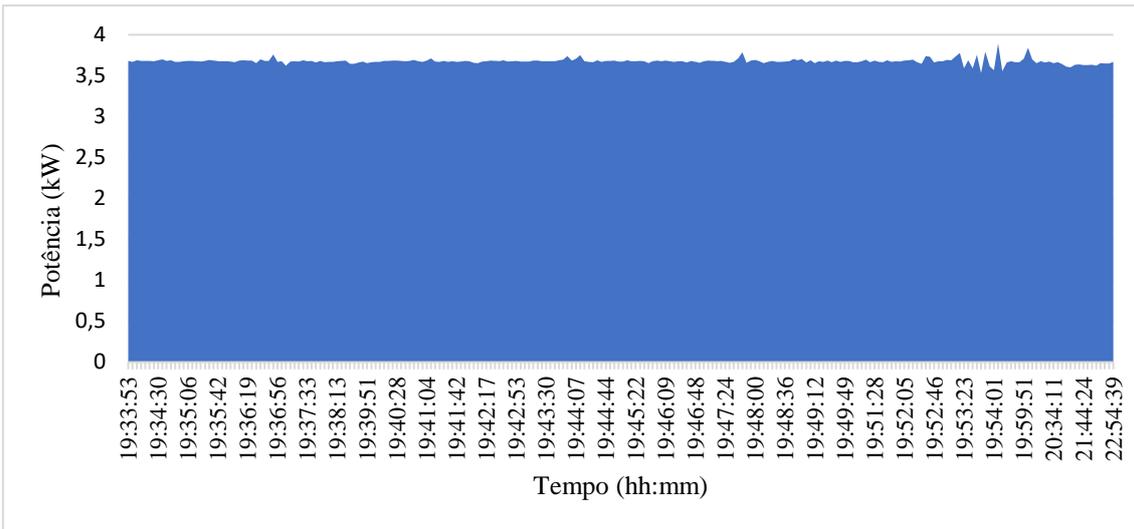


Figura 4.11: Carregamento de um VE no laboratório do Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra

Para um VE com o consumo de 150 Wh/km [26], e considerando que um utilizador percorra em média por dia cerca de 60 km, este terá um consumo de 9 kWh/dia. Assim, para efeitos de estudo foi considerado um VE estas especificações (9 kWh e 60 km) como é representado na Figura 4.12.

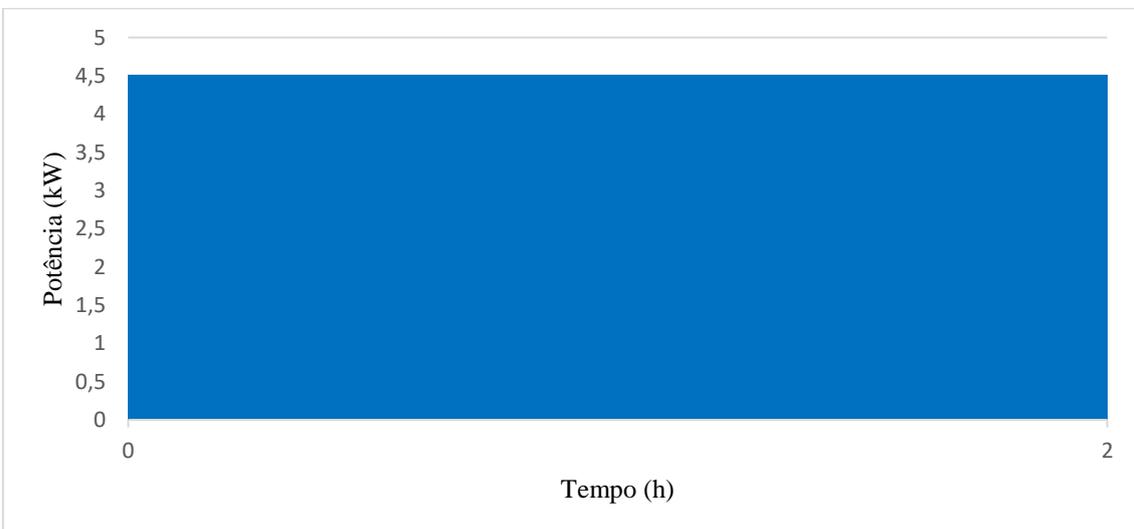


Figura 4.12: Perfil de carregamento de um VE de 9 kWh

Capítulo 5

Casos de estudo

Este capítulo abordará os cenários de perfis de carregamento de VEs para três diferentes frotas (100 k, 500 k e 1 M), tendo em consideração o quotidiano europeu (chegada a casa ao fim do dia e partida para o emprego na manhã do dia seguinte). Também serão estudados três dias representativos do ano quanto ao excesso de geração renovável.

5.1 Cenários de perfis de carregamento

Atendendo ao quotidiano europeu, nomeadamente ao ibérico (chegada a casa ao fim do dia e partida para o emprego na manhã seguinte), foi tomado como base para este estudo os perfis residenciais de carregamento de VEs que foram apresentados no subcapítulo 4.4.

O carregamento médio considerado do VE será de 9 kWh, tendo o referido carregamento a duração de 2 horas, como já referido anteriormente. Também deve ser tomado em conta a adoção da Tarifa Bi-Horária pela maioria dos utilizadores, para tirar partido das horas de vazio, fundamentalmente durante o período noturno (a partir das 22:00) [37].

As tabelas com os dados dos gráficos dos cenários dos perfis de carregamento encontram-se no Anexo A.

5.1.1 Veículos Elétricos Disponíveis

Pelo gráfico da Figura 5.1 podem ser observadas as percentagens de disponibilidade de VEs para carregamento. Essa disponibilidade está relacionada com o número de veículos que regressaram a casa a uma determinada hora, tendo por exemplo a 01:00 como horário em que se admite que a totalidade dos VEs já esteja em casa. As horas que apresentam maior percentagem de veículos disponíveis são as mais tardias (a partir das 00:00).

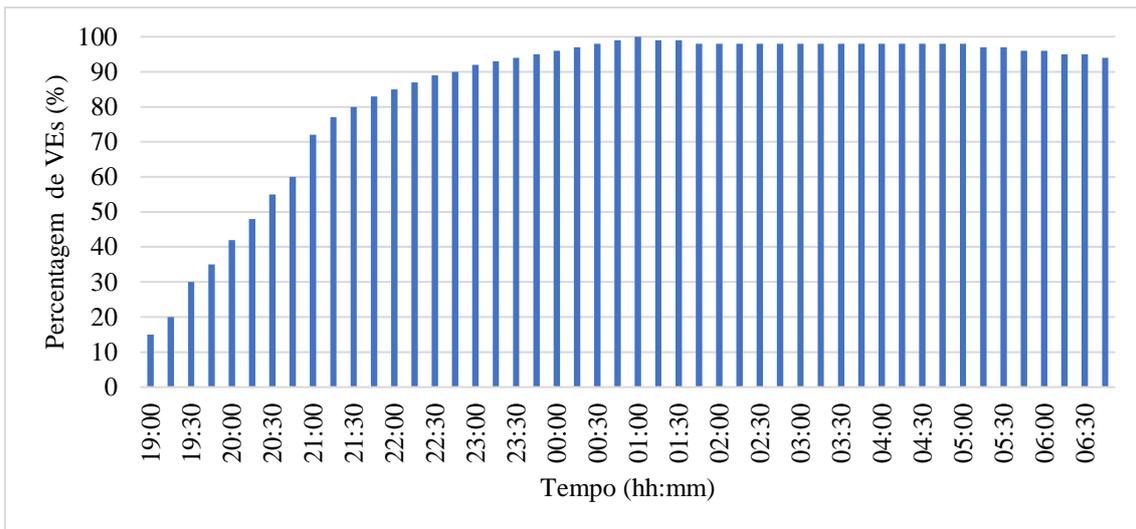


Figura 5.1: Percentagem de VEs disponíveis

Com base na percentagem de VEs disponíveis para cada horário presente na Figura anterior, foi desenhado o gráfico da Figura 5.2, que representa o número de VEs disponíveis, considerando três frotas possíveis de veículos, com 100 k, 500 k e 1 M. Como seria de esperar, o impacto é maior quanto maior for a frota em causa.

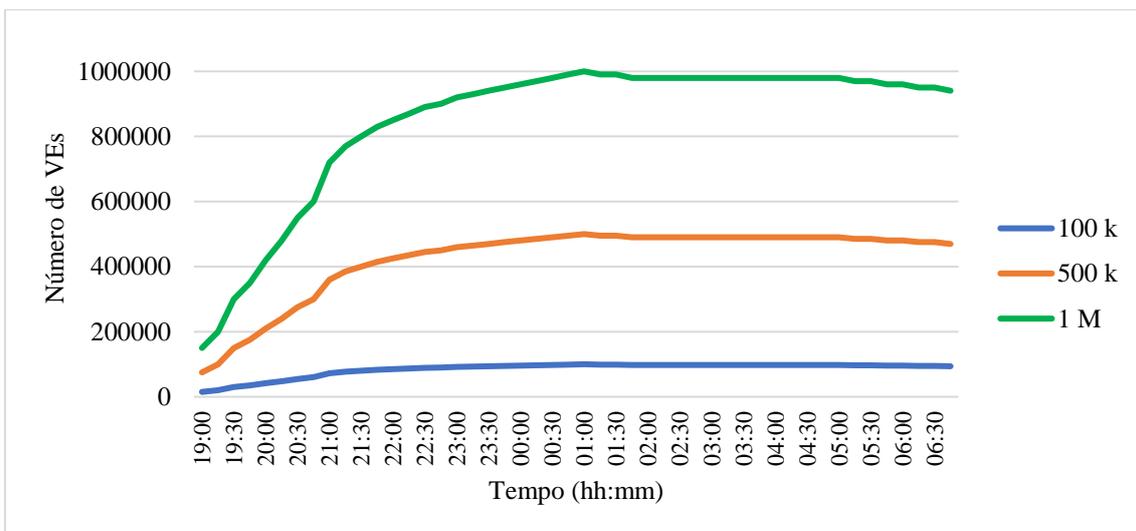


Figura 5.2: Número de VEs disponíveis para três diferentes frotas

5.1.2 Veículos Elétricos em Carregamento

A Figura 5.3 apresenta a variação da percentagem de VEs que foram considerados em carregamento. Um ponto importante a não esquecer, é o facto de se considerar que o período médio de carregamento de um VE ser de 2 horas. Assim, a quantidade de VEs a carregar em cada hora inclui os veículos que começaram o seu carregamento a essa hora e os que já estavam em carregamento. Por isso, nesta parte do estudo recorreu-se ao

conceito de probabilidade cumulativa para o cálculo da percentagem de VEs em carregamento dos períodos noturnos em estudo.

Através da observação do gráfico presente na Figura 5.3 pode-se verificar que a percentagem de carregamento de VEs aumenta gradualmente a partir das 19:00, em que tem uma percentagem muito baixa de VEs em carregamento (0,4 %). A partir das 22:00 (tomando em consideração a existência de Tarifa Bi-Horária por parte dos utilizadores) o número de VEs em carregamento começa a ser substancialmente superior, atingindo o pico pela 01:00, com 37,5 % dos VEs em carregamento. A partir da 01:00 a percentagem começa a decair, sendo às 02:00 já de 32,8 % e gradualmente vai diminuindo até atingir valores baixos, como por exemplo 3,5 %, às 06:30.

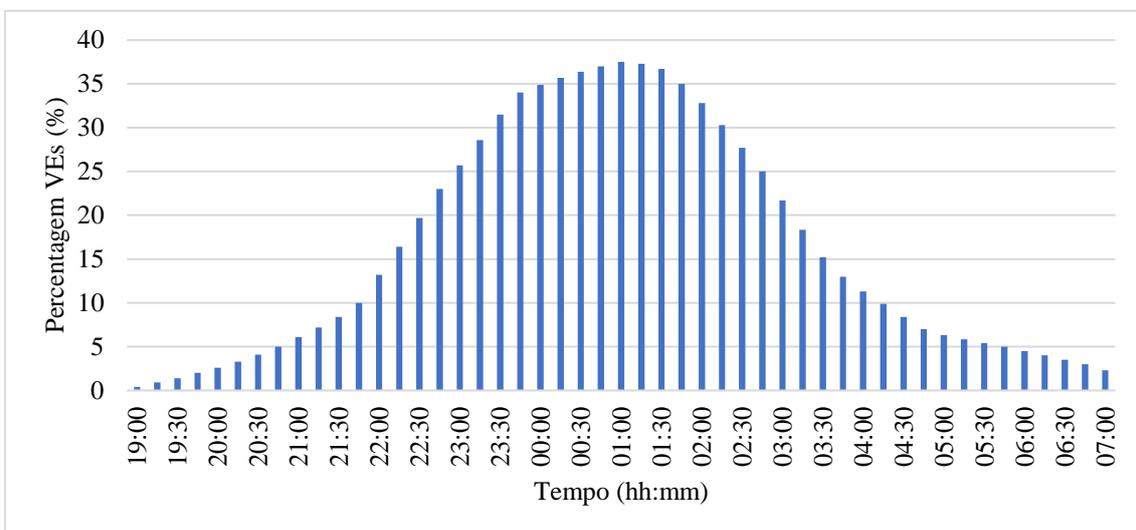


Figura 5.3: Percentagem de VEs em carregamento

A Figura 5.4 representa o número de VEs em carregamento para os horários em estudo.

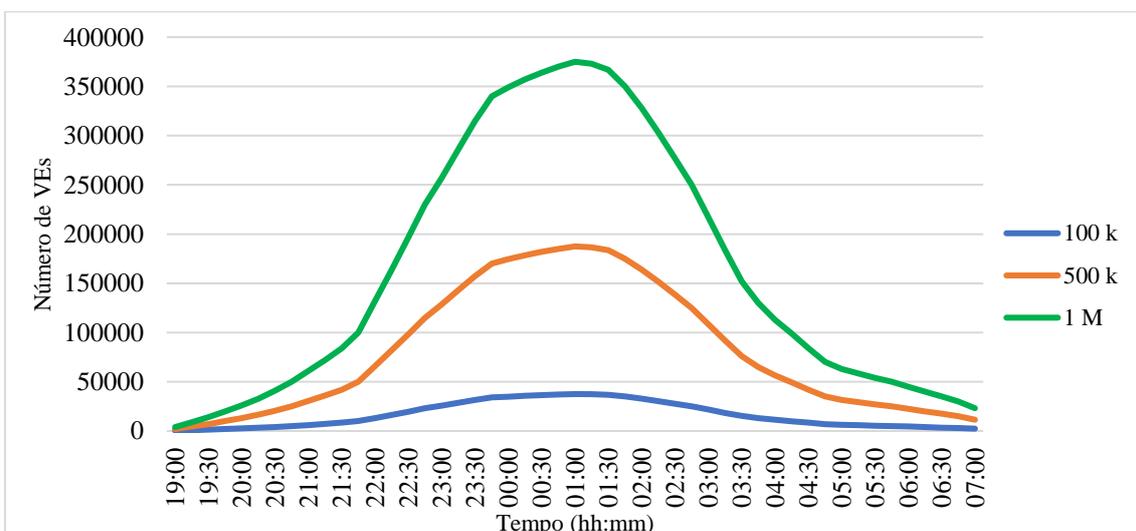


Figura 5.4: Número de VEs em carregamento para três diferentes frotas

Consoante a dimensão da frota de veículos, o impacto do carregamento destes será maior ou menor. Observando a frota de 500 k, na hora de pico (01:00) o número de VEs em carregamento é de 375 k veículos.

5.1.3 Consumo dos VEs em carregamento

Com base nos dados apresentados até agora neste capítulo, principalmente os referentes ao número de VEs analisados no subcapítulo anterior e, sabendo que um VE consome 9 kWh para efetuar o seu carregamento de 2 horas, foi gerado o diagrama de carga da Figura 5.5. Como pode ser observado, quanto maior for a frota, mais energia irá ser necessária para o carregamento dos respetivos veículos.

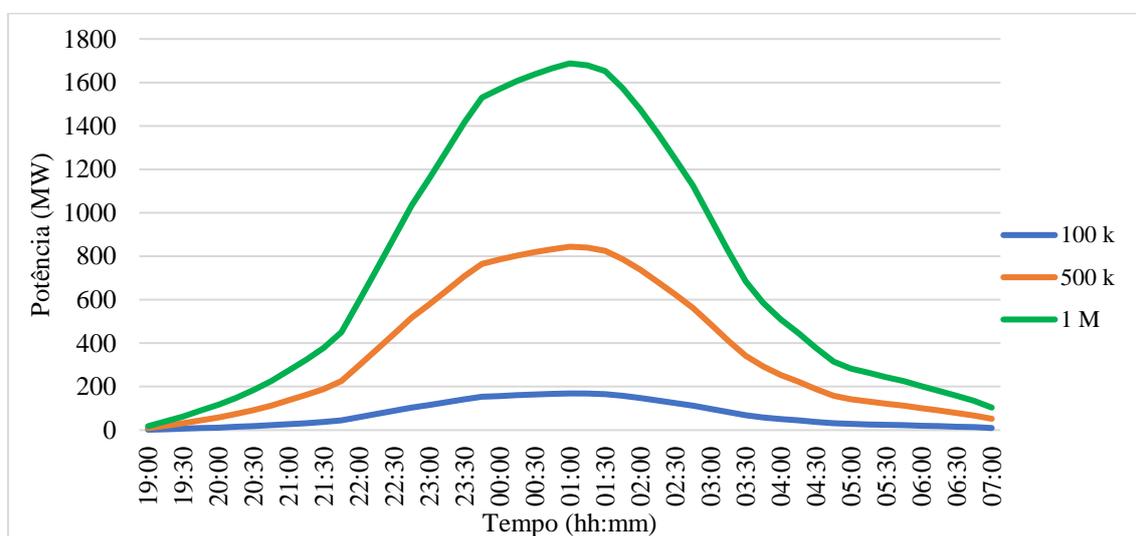


Figura 5.5: Diagrama de Carga relativo ao consumo de três diferentes frotas de VEs

Tomando como exemplo a frota de 1 M de VEs, o pico de consumo é atingido à 01:00 com 1688 MW. Em contrapartida, numa hora em que o número de carregamentos seja mais baixo, como às 21:00, o consumo será de 275 MW, cerca de 83,7 % mais baixo do que à 01:00.

5.2 Dias de Estudo

Neste subcapítulo foram escolhidos três dias do ano de 2016 representativos do excesso de geração renovável. Foi estudado um dia de inverno no qual o excesso de renovável foi muito acentuado, um dia de verão que não teve excesso de geração renovável e um intermédio, sendo este último de primavera. Os dados utilizados para

serem efetuados os estudos relativos à geração de energia, excessos de renovável e de Consumo+Bombagem foram retirados do site da REN [22].

5.2.1 Dia de inverno

O dia de inverno em estudo foi a noite de 17 de fevereiro e a madrugada do dia seguinte. O diagrama de carga representado na Figura 5.6 apresenta a geração de fontes renováveis e o consumo, incluindo a bombagem, ao longo do período em estudo. Conforme pode ser visto neste diagrama, existe um curto período em que não há excesso de geração renovável, das 19:00 às 19:45, mas a partir da 01:00 até às 07:00 o excesso começa a aumentar significativamente. Ao longo do período estudado (19:00 até às 07:00) a geração renovável foi quase sempre superior ao Consumo+Bombagem.

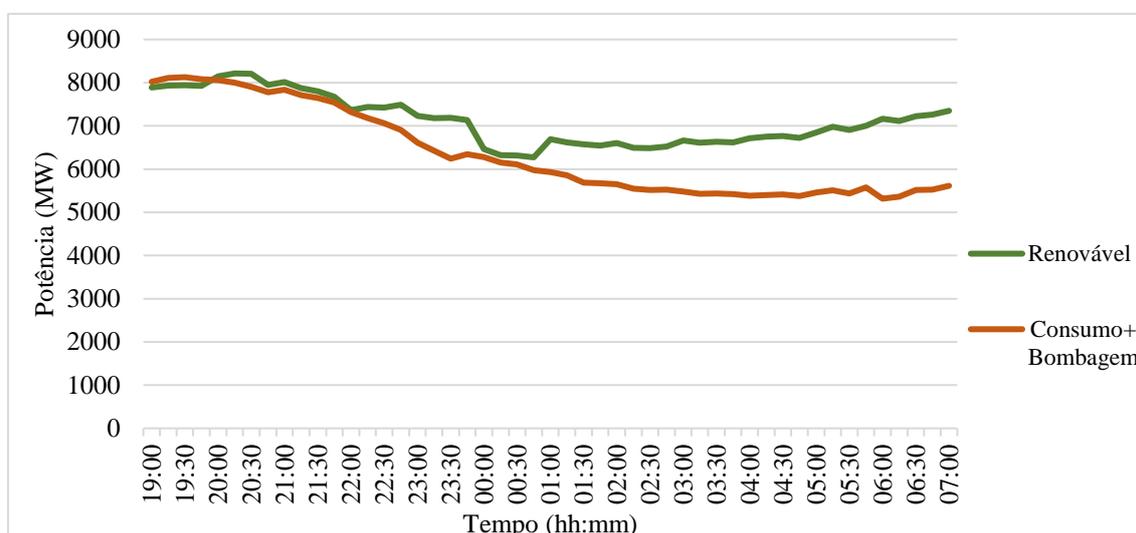


Figura 5.6: Diagrama de Carga da noite 17-18 de fevereiro de 2016 (Geração Renovável e Consumo+Bombagem)

A Figura 5.7 apresenta o excesso de geração renovável existente ao longo do período em estudo mais pormenorizadamente. Durante o espaço de tempo entre as 19:00 e as 19:45 não existiu excesso de geração renovável, mas durante o resto da noite o excesso foi gradualmente aumentando, existindo períodos em que foi bastante elevado, principalmente entre a 01:00 e as 07:00. Neste último intervalo de tempo registou-se um excesso de 7951,9 MWh, sendo o total de energia em excesso nessa noite de 9607 MWh, com o horário da 01:00 até às 07:00 a representar 82 % do excesso da geração renovável total do espaço de tempo em estudo. Registou-se também outro pequeno intervalo de

tempo (cerca de 1 hora), das 22:45 às 23:45 em que foi observado um excesso de 926,5MWh, o que representa 9,6 % do excesso de geração renovável total.

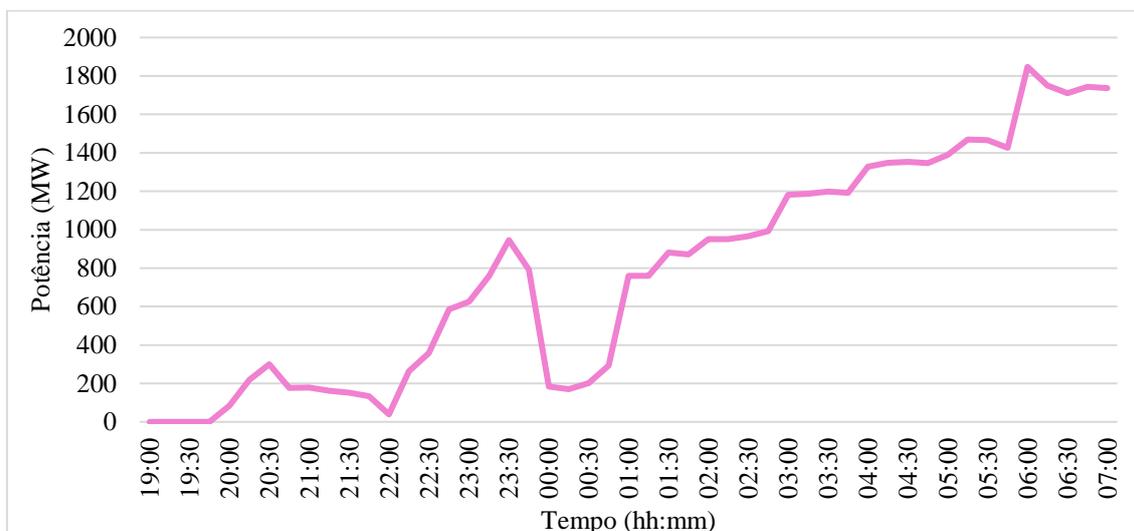


Figura 5.7: Excesso de Renovável da noite 17-18 de fevereiro de 2016

5.2.2 Dia de verão

O excesso de geração renovável varia ao longo do ano consoante as condições climáticas e, sabendo que a maioria da geração de fontes renováveis tem origem na eólica e hídrica, é expectável que durante o verão os excessos sejam muito raros, como foi analisado no Capítulo 3. Para representar o verão foi escolhida a noite de 16 para 17 de agosto de 2016.

Conforme o diagrama de carga presente na Figura 5.8, pode ser observado que o Consumo+Bombagem apresentam um valor total de 61,2 GWh, mas as fontes renováveis só apresentam 34,35 GWh (43,89 % inferior ao Consumo+Bombagem) e nunca conseguem fornecer energia suficiente para suprir o Consumo+Bombagem. Por isso, conhecendo a incapacidade nesse dia das renováveis, recorreu-se às fontes não renováveis. Assim, com o uso destas fontes, o Carvão e o Gás Natural a representarem 30,6 % e 20,5 % da geração total, respetivamente, e, em conjunto com as renováveis que representaram 48,8 % da geração total, conseguiu-se satisfazer o Consumo+Bombagem. Contudo, existiu um intervalo de tempo, das 03:00 às 03:45 em que as fontes energéticas nacionais não foram suficientes para responder ao Consumo+Bombagem, tendo-se que importar energia.

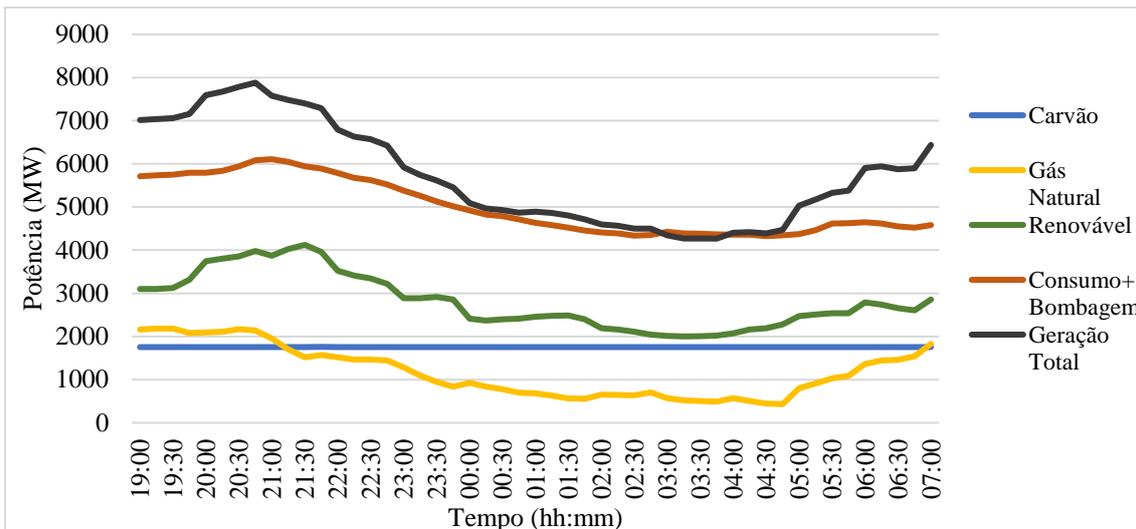


Figura 5.8: Diagrama de Carga da noite 16-17 de agosto de 2016

Como já referido anteriormente, o período de tempo considerado (16 para 17 de agosto) não apresentou qualquer excesso de geração renovável, o que pode ser comprovado pela Figura 5.9.

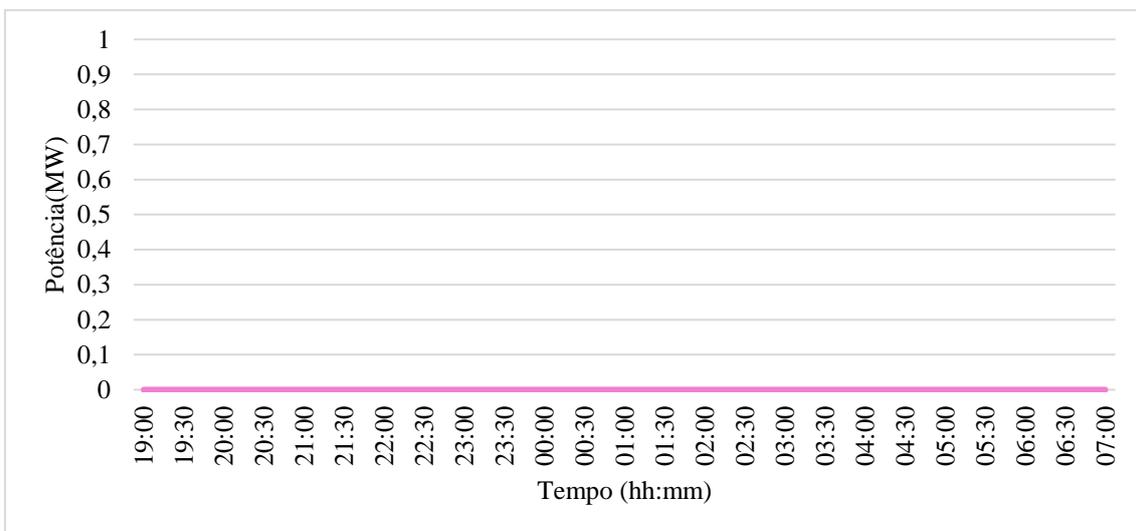


Figura 5.9: Excesso de Renovável da noite 16-17 de agosto de 2016

5.2.3 Dia de primavera

Como já estudado no Capítulo 3, os meses de primavera apresentam-se como meses intermédios em termos de excesso de geração renovável, tendo em conta as condições climáticas típicas dessas datas. Para representar a primavera foi escolhida a noite de 13 para 14 de maio de 2016.

Na Figura 5.10 apresenta-se o diagrama de carga que ilustra a situação dessa noite, em que as renováveis foram sempre superiores ao Consumo+Bombagem, sendo cerca de 13% superiores ao longo do período estudado.

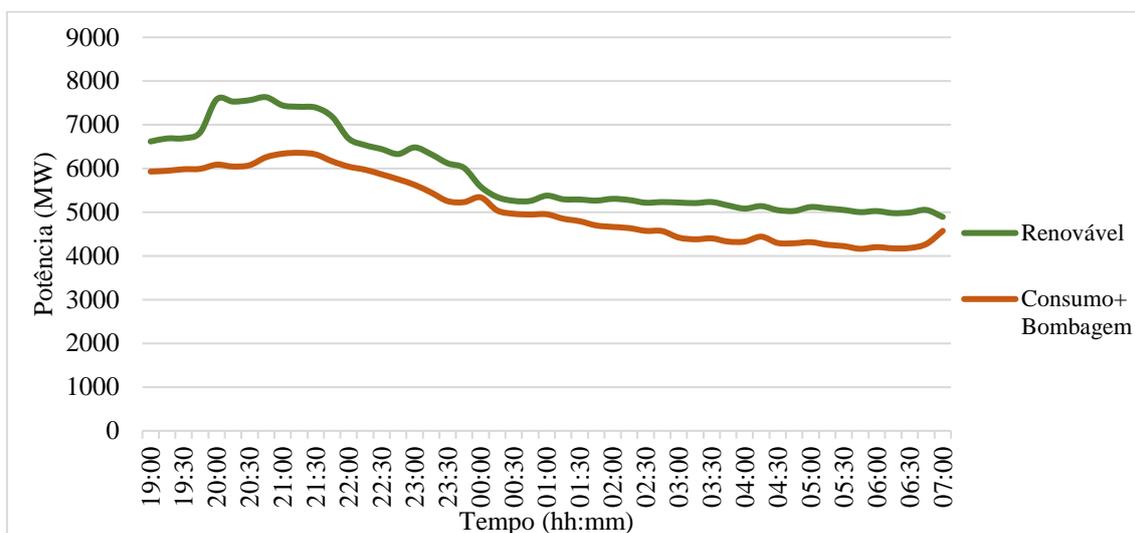


Figura 5.10: Diagrama de Carga da noite 13-14 de maio de 2016 (Geração Renovável e Consumo+Bombagem)

O diagrama da Figura 5.11 representa o excesso de geração renovável ao longo da noite do dia 13 e da madrugada do dia 14. Este apresenta um pico de excesso entre as 20:00 e as 20:30, com 1116,2 MWh no total. Após esse intervalo de tempo o excesso vai diminuindo, mas observando um espaço de tempo mais longo, por exemplo, das 03:00 até às 06:45, o excesso registado foi de 3188,9 MWh. O excesso total registado nesta noite foi de 9387,1 MWh.

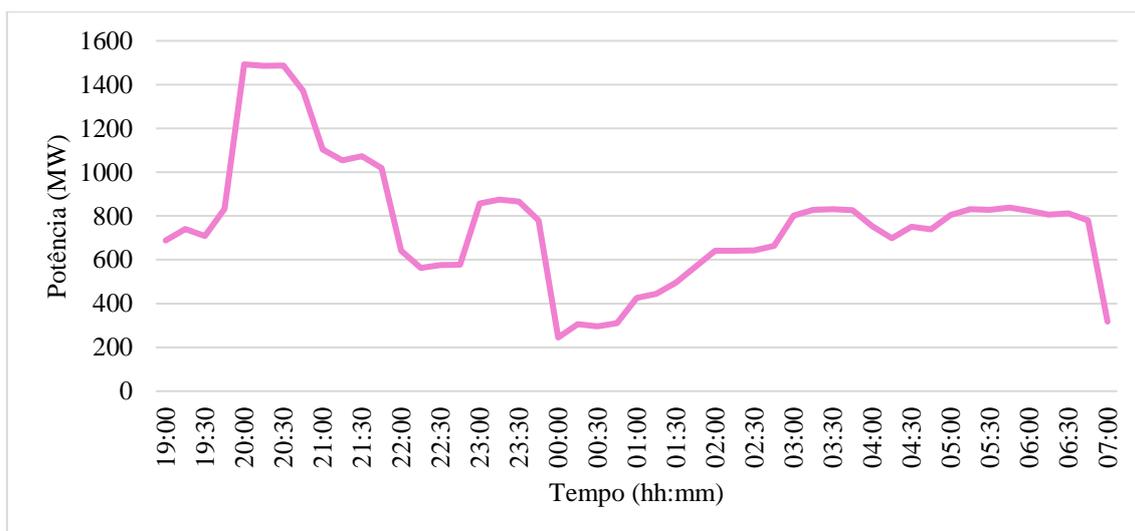


Figura 5.11: Excesso de Renovável da noite 13-14 de maio de 2016

Capítulo 6

Análise dos impactos dos casos de estudo

Este capítulo que analisa os impactos dos casos de estudo que foram apresentados no capítulo anterior, está dividido em duas partes. Numa primeira parte deste capítulo, são analisados os impactos do carregamento dos VEs nos dias de estudo. E, na segunda parte, os carregamentos são adaptados a horários desenquadrados dos cenários de perfis de carregamento padrão deste estudo, mas que têm excessos mais significativos de renováveis.

6.1 Impacto do Carregamento dos VEs nos dias de estudo

Para analisar o impacto do carregamento das três diferentes frotas de VEs (100 k, 500 k e 1 M) nos três dias de estudo (de inverno, de verão e de primavera) foi adicionado o consumo de cada uma das três frotas de VEs ao Consumo+Bombagem original do dia em estudo.

Desta forma, também poderá ser quantificada a redução do excesso de geração renovável existente ao longo de cada dia de estudo.

6.1.1 Dia de inverno

Na Figura 6.1, que representa o impacto do carregamento das três frotas de VEs no diagrama de carga, entre os dias 17 e 18 de fevereiro, pode ser observado que ao longo do período de tempo considerado a geração renovável foi quase sempre superior ao Consumo+Bombagem. Apenas das 12:45 até às 16:45 do dia 17 e no período das 10:45 até às 12:00 do dia seguinte não existiu excesso de renovável.

As curvas correspondentes ao “Consumo com 100k” (Consumo+Bombagem+Consumo 100k VEs), “Consumo com 500k”

(Consumo+Bombagem+Consumo 500k VEs), e “Consumo com 1M” (Consumo+Bombagem+Consumo 1M VEs), coincidem com a curva do “Consumo+Bombagem” nos intervalos das 12:00 às 19:00 do dia 17 e das 07:00 às 12:00 do dia 18.

Nas horas em que ocorreu o carregamento dos veículos (entre as 19:00 e as 07:00) o consumo aumentou, dependendo do tipo de frota em carregamento. No caso dos 100 k VEs, o consumo aumentou ligeiramente face ao Consumo+Bombagem original. Como pode ser observado na Tabela 6.1, das 19:00 às 07:00 o excesso de geração renovável registado foi de 8723,2 MWh, quando o excesso existente antes da adição dos 100 k VEs era de 9606,6 MWh, ou seja, o excesso diminuiu em 9,2 %. Considerando as 24 horas, o impacto na redução de excesso de renováveis foi de 6,7 %. No período das 19:00 até às 19:45 o consumo foi superior às renováveis, não existindo excesso, mas tal já se registava no Consumo+Bombagem original. Pela Tabela 6.1 também pode ser notado que 99,98 % do carregamento dos 100 k VEs foi assegurado pelas fontes renováveis.

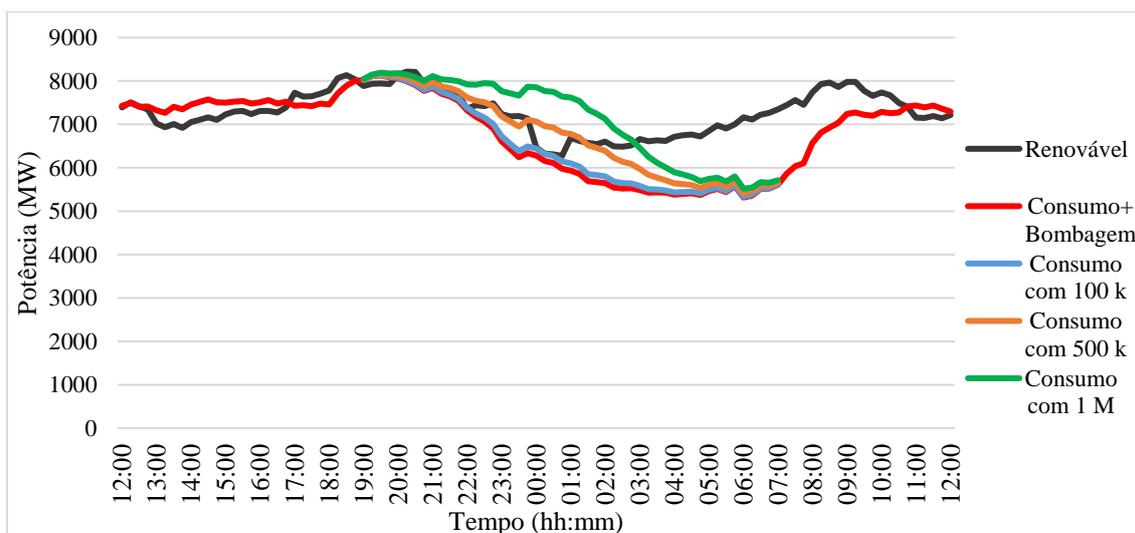


Figura 6.1: Impacto do carregamento de três diferentes frotas no Diagrama de Carga entre 17-18 fevereiro de 2016

Tabela 6.1: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 100 k VEs (17-18 fevereiro)

Intervalo de Tempo	19:00– 07:00	12:00-12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9606,6	13118,3
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	8723,2	12234,95
Redução Excesso de Renováveis (%)	9,2	6,7
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	99,98	n.a.

No caso do Consumo com 500 k VEs, das 19:00 às 07:00 (Tabela 6.2), o excesso de geração foi de 5946,9 MWh, tendo decrescido 38 % face à situação inicial sem os 500 k VEs. Considerando as 24 horas, o impacto na redução de excesso de renováveis foi de 27,9 %. Apesar de no cenário de 500 k VEs haver períodos sem excesso de geração, quase toda a energia necessária para os carregamentos foi assegurada por energias renováveis.

Tabela 6.2: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 500 k VEs (17-18 fevereiro)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9606,6	13118,3
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	5946,96	9458,7
Redução Excesso de Renováveis (%)	38,1	27,9
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	99,18	n.a

No caso de 1 M de VEs, o excesso de geração existente das 19:00 às 07:00 foi reduzido em 52,3 % face à situação original (antes da adição da frota), como pode ser verificado na Tabela 6.3. Durante as 24 horas em estudo (12:00 do dia 17 às 12:00 do dia 18) e após a adição da frota de veículos, o excesso de renováveis foi reduzido em 38,3 % face à situação inicial (sem carregamento de VEs). A percentagem de energia de origem renovável utilizada para o carregamento destes veículos foi de 92,1 %.

Tabela 6.3: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs (17-18 fevereiro)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9606,6	13118,3
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	4586,8	8098,5
Redução Excesso de Renováveis (%)	52,3	38,3
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	92,10	n.a.

6.1.2 Dia de verão

Como já tinha sido analisado no Capítulo 3, os meses de verão apresentam-se como meses cujo excesso de geração renovável é muito reduzido ou inexistente. O mês de agosto foi um mês que não registou excessos de renovável, o que se pode comprovar observando o diagrama de carga na Figura 6.2. Assim, ao longo das 24 horas de estudo não existiram excessos de energia renovável, assim como no intervalo de carregamento dos VEs (das 19:00 às 07:00).

As curvas correspondentes ao “Consumo com 100k” (Consumo+Bombagem+Consumo 100k VEs), “Consumo com 500k”

(Consumo+Bombagem+Consumo 500k VEs), e “Consumo com 1M” (Consumo+Bombagem+Consumo 1M VEs), coincidem com a curva do “Consumo+Bombagem” nos intervalos das 12:00 às 19:00 do dia 16 e das 07:00 às 12:00 do dia 17.

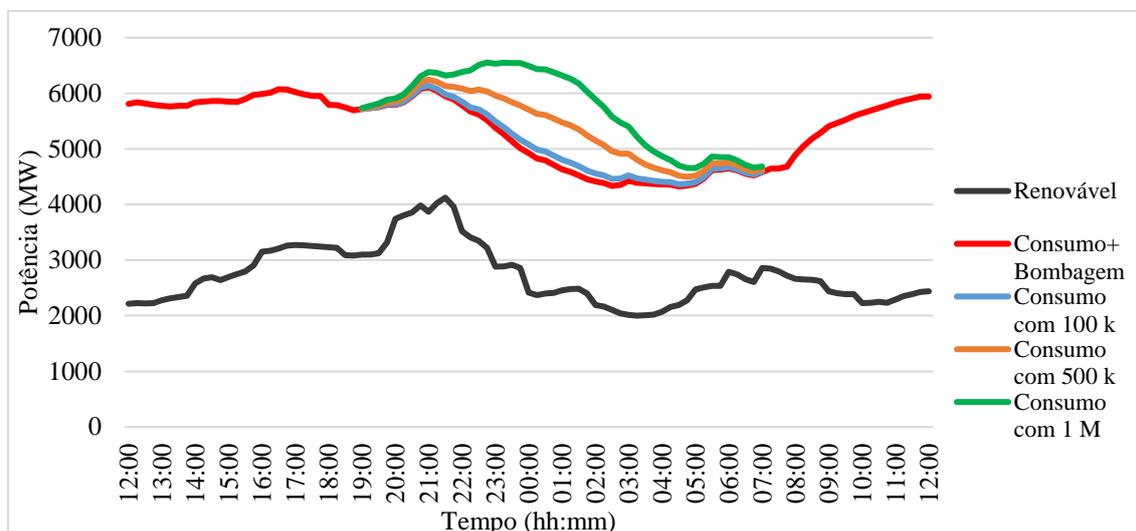


Figura 6.2: Impacto do carregamento de três diferentes frotas no Diagrama de Carga entre 16-17 agosto de 2016

No caso dos 100 k de VEs, durante o seu período de carregamento, 19:00 até às 07:00, e de acordo com a Tabela 6.4, cerca de 51,96 % do carregamento desta frota de VEs foi assegurado por fontes renováveis.

Tabela 6.4: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 100 k VEs (16-17 agosto)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	0	0
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	0	0
Redução Excesso de Renováveis (%)	0	0
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	51,96	n.a.

No caso de 500 k VEs o consumo durante o carregamento é maior do que no caso de 100 k VEs, pelo que através da Tabela 6.5 pode ser constatado que 47,52 % do carregamento dos veículos é assegurado pelas renováveis.

Tabela 6.5: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 500 k VEs (16-17 agosto)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	0	0
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	0	0
Redução Excesso de Renováveis (%)	0	0
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	47,52	n.a.

Quanto a 1 M de veículos (Tabela 6.6), a percentagem da energia usada para o carregamento destes VEs é 43,08 % de fonte renovável, pois a geração renovável existente não foi suficiente para suprir o carregamento destes veículos.

Tabela 6.6: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs (16-17 agosto)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	0	0
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	0	0
Redução Excesso de Renováveis (%)	0	0
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	43,08	n.a.

6.1.3 Dia de primavera

Para análise do impacto do carregamento de três diferentes frotas de VEs no diagrama de carga das 12:00 do dia 13 de maio até às 12:00 do dia 14 de maio, pode-se começar por observar a Figura 6.3 que ilustra essa situação. De um modo geral, ao longo destas 24 horas de estudo existiu um contínuo excesso de geração renovável, excetuando o período das 12:45 às 17:45 em que o Consumo+Bombagem foi superior à energia de fonte renovável. E, no intervalo de tempo em que estão compreendidos os carregamentos dos veículos (19:00 às 07:00) dependendo do tipo de frota, houve momentos onde nem sempre existiu excesso de renováveis.

As curvas correspondentes ao “Consumo com 100k” (Consumo+Bombagem+Consumo 100k VEs), “Consumo com 500k” (Consumo+Bombagem+Consumo 500k VEs), e “Consumo com 1M” (Consumo+Bombagem+Consumo 1M VEs), coincidem com a curva do “Consumo+Bombagem” nos intervalos das 12:00 às 19:00 do dia 13 e das 07:00 às 12:00 do dia 14. Quando se tem uma frota de 100 k VEs em carregamento, a nível global (das 12:00 do dia 13 às 12:00 do dia 14) o excesso de geração renovável diminuiu em 7,33 %, tal como pode ser observado na Tabela 6.7. Contudo, no espaço de tempo em que está

compreendido o carregamento dos veículos (19:00 às 07:00) o quociente entre o excesso existente antes da adição dos veículos (9387,1 MWh) e o excesso existente após a introdução desses VEs (8493,3 MWh) foi maior, sendo então a redução de excesso de renovável de 9,52 %. Como já era esperado, vendo o diagrama de carga da Figura 6.3 e confirmando pela Tabela 6.7, o carregamento dos VEs foi totalmente assegurado pelas fontes renováveis.

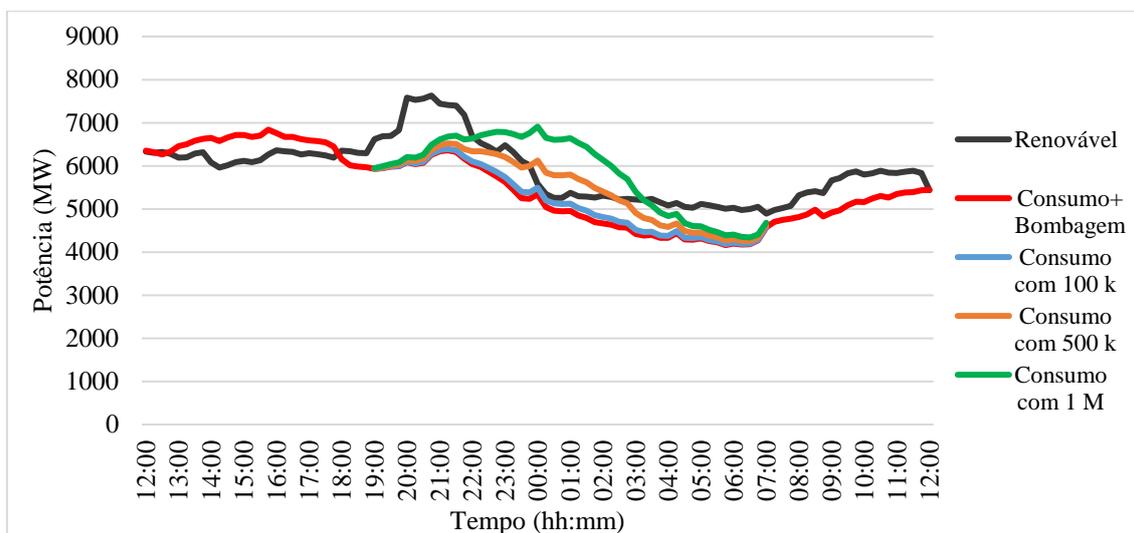


Figura 6.3: Impacto do carregamento de três diferentes frotas no Diagrama de Carga entre 13-14 maio de 2016

Tabela 6.7: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 100 k VEs (13-14 maio)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9387,1	12195,725
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	8493,2875	11301,9125
Redução Excesso de Renováveis (%)	9,52	7,33
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	100,00	n.a.

No caso de 500 k VEs, como se pode observar na Tabela 6.8, a nível global (24 horas entre os dois dias) o excesso de geração renovável passou de 12195,7 MWh (sem VEs) para 8621,63 MWh (com VEs), o que correspondeu a uma diminuição de 29,31 %. Para as mesmas condições, mas no período específico de carregamento (19:00 às 07:00), a diminuição do excesso foi de 38,07 %.

Apesar de nesta situação ter existido um período em que o Consumo com 500 k VEs (00:00 às 02:15) foi superior à geração renovável, como foi visto na Figura 6.3, as energias renováveis asseguraram 97,18 % do carregamento dos 500 k veículos.

Tabela 6.8: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 500 k VEs (13-14 maio)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9387,1	12195,725
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	5813,0125	8621,6375
Redução Excesso de Renováveis (%)	38,07	29,31
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	97,18	n.a.

Observando a Tabela 6.9, quanto à situação de 1 M de VEs, no período total das 24 horas a redução de excesso de geração renovável foi de 41,04 %. Enquanto que no intervalo de tempo das 19:00 às 07:00 o excesso de renováveis diminuiu 53,32 % após ter sido adicionado o carregamento de VEs.

Como foi notado anteriormente na Figura 6.3, existe um longo espaço de tempo (22:15 às 03:00) em que não houve excesso de renováveis, mas tal não impediu que 89,82 % do carregamento fosse assegurado por renováveis (Tabela 6.9).

Tabela 6.9: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs (13-14 maio)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9387,1	12195,725
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	4382,075	7190,7
Redução Excesso de Renováveis (%)	53,32	41,04
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	89,82	n.a.

6.2 Adaptação do Carregamento de VEs à variação de Geração Renovável diária

No subcapítulo anterior foi analisado o carregamento de três diferentes frotas de VEs para três dias distintos do ano de 2016. Observou-se que por vezes existiam períodos compreendidos dentro do intervalo de tempo do carregamento (19:00 às 07:00) com maior excesso de renovável e que não eram devidamente aproveitados, pois as frotas atendiam aos cenários de perfis de carregamento apresentados no capítulo 5. Esses cenários tinham em conta a Tarifa Bi-Horária (a partir das 22:00) que resultava num maior número de carregamentos entre as 22:00 e a 01:00. Contudo, nem sempre essas horas se apresentaram com maior excesso de renovável, e, com vista a aproveitar melhor esses períodos de excesso, os cenários dos perfis de carregamento foram adaptados para outros

horários (com maior excesso de geração renovável). Para avaliar esta opção para um cenário de impacto elevado, foi utilizada uma frota de 1 M de VEs.

Os dados efetuados para este novo ajuste estão no Anexo B.

6.2.1 Dia de inverno

O diagrama de carga da Figura 6.4 representa o impacto do carregamento adaptado de uma frota de 1M VEs (desde as 19:00 do dia 17 até às 07:00 do dia 18) para períodos do dia em que o excesso de renovável foi maior. As curvas correspondentes ao “Consumo com 1 M” (Consumo+Bombagem+Consumo 1 M VEs) e “Consumo com 1 M adaptado” (Consumo+Bombagem+Consumo 1 M VEs adaptado), coincidem com a curva do “Consumo+Bombagem” nos intervalos das 12:00 às 19:00 do dia 17 e das 07:00 às 12:00 do dia 18.

Durante o espaço de tempo em que ocorreu o carregamento dos VEs (19:00 às 07:00) o Consumo com 1 M adaptado demonstra que os períodos em que ocorreu maior excesso de renovável foram melhor aproveitados do que os existentes para o mesmo intervalo de tempo no cenário sem adaptação (Consumo com 1 M).

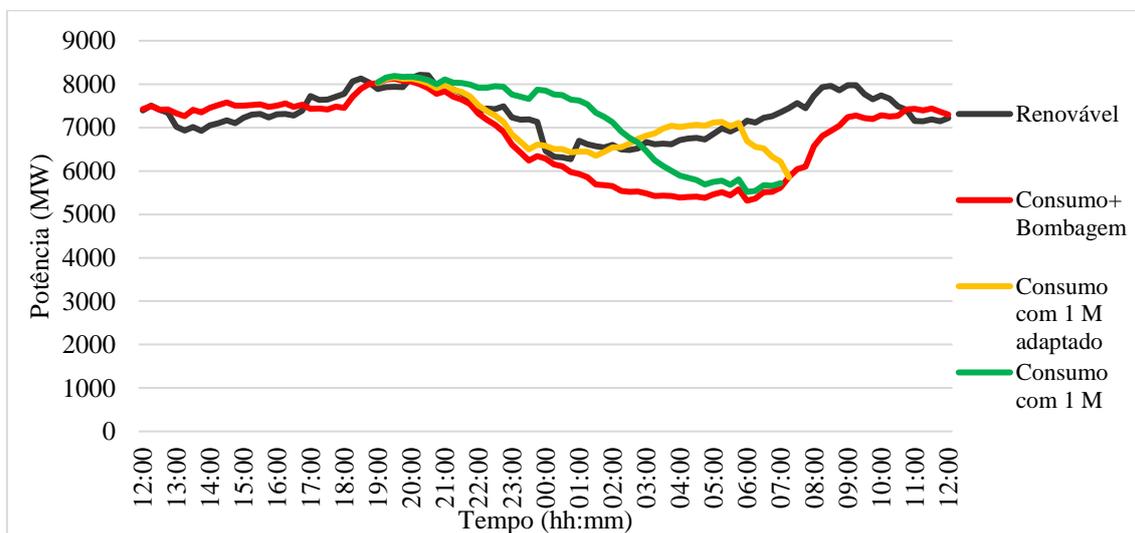


Figura 6.4: Impacto do carregamento adaptado de 1 M de VEs no Diagrama de Carga entre 17-18 fevereiro de 2016

De forma a compreender melhor as vantagens do deslocamento destes carregamentos para horas como maior excesso, pode-se observar os valores apresentados na Tabela 6.10. Esta tabela mostra os excessos de geração renovável para o intervalo de tempo total (12:00 do dia 17 às 12:00 do dia 18) e para o intervalo de tempo de carregamento (19:00 do dia 17 até às 07:00 do dia seguinte).

Tabela 6.10: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs com consumo adaptado (17-18 fevereiro)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9607	13118
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	1919	5431
Redução excesso de renováveis (%)	80,02	58,60
Porcentagem de Renováveis no carregamento (%)	97,71	n.a.

Para o espaço de tempo das 19:00 até às 07:00, a redução do excesso de renováveis foi de 80,02 % enquanto que para o mesmo período com o Consumo de 1 M de VEs, conforme foi demonstrado no subcapítulo 6.1.1, foi de 52,3 %.

A nível global, para o período das 24 horas, a redução o excesso de geração renovável foi de 58,6 %, o que foi superior para o mesmo período no caso do Consumo de 1 M de VEs (38,3 %) como foi apresentado no subcapítulo 6.1.1.

Tendo em conta que os excessos de geração renovável foram melhor aproveitados com a adaptação do carregamento desta frota (97,71 %), então era de esperar que a percentagem de energia renovável utilizada no carregamento adaptado de 1 M de VEs fosse superior ao do caso sem adaptação (92,1 %).

6.2.2 Dia de verão

A Figura 6.5 representa o diagrama de carga para a análise do Consumo adaptado de uma frota de 1 M de VEs em comparação com o Consumo de 1 M de VEs (apresentado no subcapítulo 6.1.2) para o período entre as 12:00 do dia 16 de agosto e as 12:00 do dia seguinte. As curvas correspondentes ao “Consumo com 1M” (Consumo+Bombagem+Consumo 1M VEs) e “Consumo com 1 M adaptado” (Consumo+Bombagem+Consumo 1M VEs adaptado), coincidem com a curva do “Consumo+Bombagem” nos intervalos das 12:00 às 19:00 do dia 16 e das 07:00 às 12:00 do dia 17.

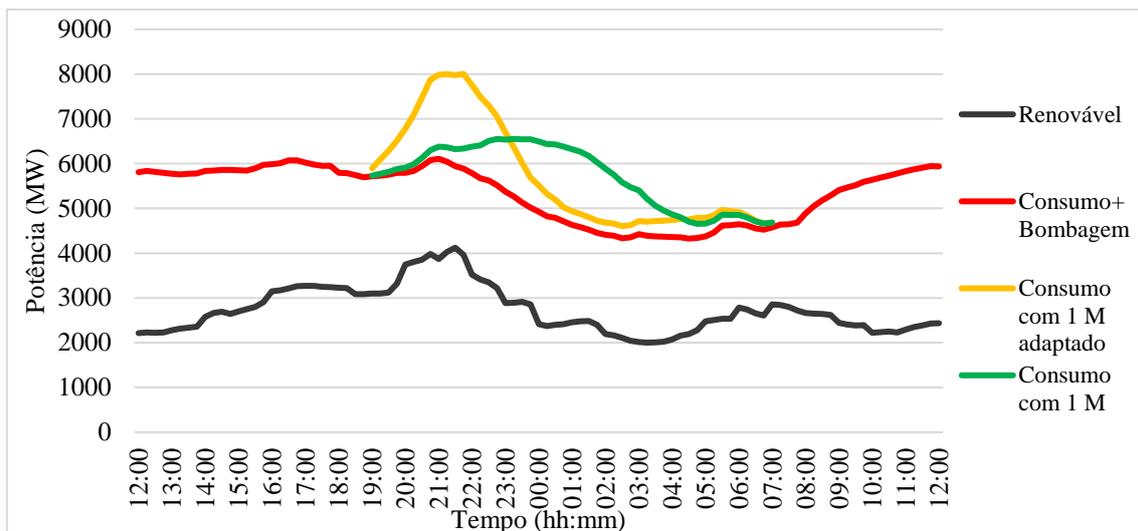


Figura 6.5: Impacto do carregamento adaptado de 1 M de VEs no Diagrama de Carga entre 16-17 agosto de 2016

Como já tinha sido analisado anteriormente, estas 24 horas em estudo não registaram qualquer momento em que existisse excesso de geração renovável. No entanto, de modo a retirar maior proveito das horas em que a energia de fontes renováveis foi maior, por exemplo, das 19:00 até às 23:00, adaptou-se alguns carregamentos para esse intervalo de tempo.

A Tabela 6.11 apresenta as variações do excesso da geração renovável para o intervalo de tempo do carregamento dos veículos (19:00 às 07:00) e para as 24 horas de estudo (12:00 às 12:00). Como já tinha sido concluído, não se registou qualquer tipo de excesso de renováveis, mas a energia de fonte renovável também contribuiu para o carregamento adaptado dos VEs, sendo a percentagem aí presente de 48,54 %. Este último valor foi superior ao caso do carregamento dos mesmos veículos para a situação original apresentada no subcapítulo 6.1.2 (43,08 %).

Tabela 6.11: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs com consumo adaptado (16-17 agosto)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	0	0
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	0	0
Redução excesso de renováveis (%)	0	0
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	48,54	n.a.

6.2.3 Dia de primavera

A Figura 6.6 permite a análise do impacto do carregamento adaptado de uma frota de 1M VEs no diagrama de carga das 12:00 do dia 13 de maio até às 12:00 do dia 14 de maio. As curvas correspondentes ao “Consumo com 1M” (Consumo+Bombagem+Consumo 1 M VEs) e “Consumo com 1 M adaptado” (Consumo+Bombagem+Consumo 1 M VEs adaptado), coincidem com a curva do “Consumo+Bombagem” nos intervalos das 12:00 às 19:00 do dia 13 e das 07:00 às 12:00 do dia 14.

O Consumo com 1 M de VEs original, durante o espaço de tempo das 22:00 até às 03:00, foi superior à geração de energia renovável, mas adaptando o número de VEs em carregamento para esse mesmo período, fez com que esse consumo pudesse ser mais reduzido e, conseqüentemente melhor aproveitada a energia renovável.

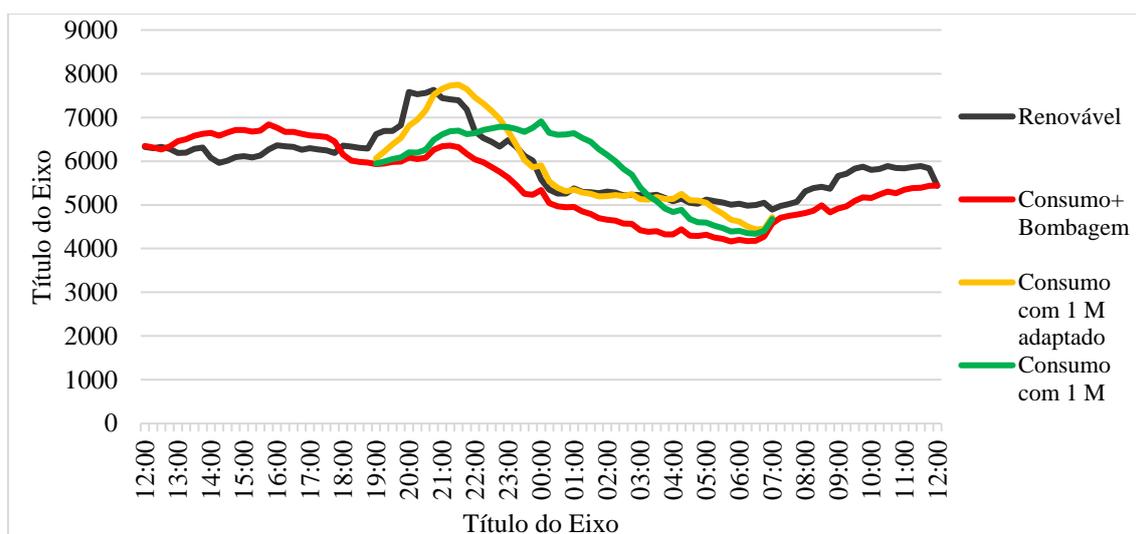


Figura 6.6: Impacto do carregamento adaptado de 1 M de VEs no Diagrama de Carga entre 13-14 maio de 2016

Os excessos de geração renovável para o intervalo de tempo total (12:00 do dia 13 às 12:00 do dia 14) e para o intervalo de tempo de carregamento (19:00 do dia 13 até às 07:00 do dia seguinte) são apresentados na Tabela 6.12.

Tabela 6.12: Variações do Excesso de Renováveis com e sem carregamento de VEs para 1 M VEs com consumo adaptado (13-14 maio)

Intervalo de Tempo	19:00 – 07:00	12:00 – 12:00
Excesso Renováveis sem VEs (MWh)	9387	12196
Excesso Renováveis com VEs (MWh)	1842	4650
Redução excesso de renováveis (%)	80,38	61,87
Percentagem de Renováveis no carregamento (%)	97,40	n.a.

Para o espaço de tempo das 19:00 até às 07:00 a redução do excesso de renováveis foi de 80,38 %, enquanto que para o mesmo período com o Consumo de 1 M de VEs, conforme foi demonstrado no subcapítulo 6.1.3, foi de apenas 53,32 %.

Ao longo das 24 horas a redução do excesso de geração renovável foi de 61,87 %, o que foi superior para o mesmo período no caso do Consumo de 1 M de VEs (41,04 %) como foi apresentado no subcapítulo 6.1.3. Assim, a percentagem de energia de fontes renováveis utilizada no carregamento adaptado de 1 M de VEs foi de 97,4 %, sendo superior à percentagem existente no Carregamento de 1 M de VEs original (89,82 %).

Capítulo 7

Conclusões e trabalho futuro

7.1 Conclusões

O trabalho de desenvolvimento em torno desta dissertação teve como objetivo avaliar o impacto do carregamento de VEs para períodos do dia em que o excesso de geração renovável fosse elevado, nomeadamente para as horas de vazio.

Face à política de descarbonização que começou a ser implementada em Portugal desde há 20 anos, a produção de energia recorrendo a fontes renováveis aumentou substancialmente, crescimento esse que não foi acompanhado pelo consumo, que desceu no passado recente. Assim, devido à imprevisibilidade das condições meteorológicas, de que a maior parte das fontes renováveis estão dependentes, existem momentos em que a geração renovável excede o consumo. Uma possível solução para o problema, nomeadamente para períodos do dia em que o excesso de geração de origem renovável é maior, principalmente durante a noite, pode passar por adaptar o carregamento do VE para esse intervalo de tempo.

Assim, começou-se por analisar os excessos de geração renovável na rede elétrica portuguesa durante o ano de 2016. Observou-se que o mês de fevereiro foi o que registou o maior excesso médio mensal de geração renovável (16,1 GWh/dia), sendo o dia 14 de fevereiro o que apresentou o máximo excesso diário (68,2 GWh/dia). Apesar de alguns meses de primavera também apresentarem um elevado excesso médio mensal, verificou-se que muitos dos dias também apresentaram longos períodos em que o excesso foi nulo e outros em que foi muito elevado, ao contrário da maioria dos dias de inverno que apresentaram quase sempre excesso ao longo das 24 horas. Constatou-se também que para os dias do ano em que o excesso de renovável foi superior, o preço da energia no MIBEL é mais reduzido.

Foi também analisado o consumo de um VE e considerou-se que o VE para este estudo demoraria duas horas a carregar e teria um consumo médio de 9 kWh. Assim, tendo em consideração o quotidiano típico europeu (chegada a casa ao fim do dia e partida para o

emprego na manhã do dia seguinte) e o uso da Tarifa Bi-Horária, os carregamentos dos veículos elétricos foram distribuídos para o período das 19:00 até às 07:00 do dia seguinte. Admitiu-se que o pico do carregamento dos VEs seria à 01:00 e que a maioria estaria em carregamento entre as 22:00 e as 04:00.

Para o mesmo espaço de tempo (19:00 às 07:00) estudou-se o diagrama de carga Consumo+Bombagem e a geração de fonte renovável para três dias representativos do ano de 2016 (dia de inverno, verão e primavera). Concluiu-se que, dependendo do dia, existem horários em que o excesso de energia renovável é superior a outros períodos. No caso do dia de inverno, o maior excesso de renovável registou-se da 01:00 às 07:00, enquanto que no caso do dia de primavera se registou das 03:00 às 06:45. O dia de verão não apresentou excessos.

De seguida, analisou-se o impacto do carregamento dos VEs nos dias de estudo. Adicionando o consumo das diferentes frotas (100 k, 500 k e 1 M) ao Consumo+Bombagem para os dias de estudo, pôde-se observar que tal contribuiu para a redução do excesso de geração renovável. Por exemplo, no dia de inverno, com uma frota de 500 k VEs, o excesso de renováveis foi reduzido em 38,1 % e 99,18 % do carregamento da frota foi assegurado por geração renovável. No caso do dia de verão, apesar de não existir excesso de energia renovável, as renováveis ainda conseguiram assegurar uma percentagem elevada do carregamento das respetivas frotas, assegurando 51,96 % do carregamento para uma frota de 100 k. Para o dia de primavera, no caso da frota de 100 k, o excesso de geração conseguiu garantir 100 % do carregamento dos veículos. Para estes estudos também se analisou o impacto nos excessos de geração renovável para períodos de 24 horas, de modo a ser feita uma leitura mais alargada.

Para além do excesso das renováveis ter decrescido com a introdução do carregamento dos VEs, existiram intervalos de tempo em que o excesso era mais baixo para o carregamento dos veículos, e outros períodos que não tinham excesso, mas que não eram devidamente aproveitados. Assim, considerou-se que havia capacidade de controlo dos carregamentos e estes foram adaptados para os horários com maior excesso de geração renovável. De forma a avaliar com mais impacto esta ação, foi usada uma frota de 1 M. Por exemplo, para o dia de primavera, com esta adaptação, a redução do excesso de renováveis (das 19:00 às 07:00) foi de 80,38 %, enquanto que para o mesmo período, mas sem adaptação, era de 53,32 %. Sendo assim, a percentagem de energia de fontes renováveis no carregamento destes VEs foi superior (97,4 %) face ao cenário original (89,82 %).

Conclui-se assim que os VEs são uma opção eficaz para compensar os excessos de geração renovável e que tal impacto poderá ser potenciado se houver capacidade de controlo do período de carregamento dos VEs.

7.2 Trabalho futuro

De modo a melhorar o estudo realizado nesta dissertação poder-se-ia alargar a análise do impacto do carregamento dos VEs a um maior número de dias ou até anos, pois a geração de energia elétrica de fonte renovável tem vindo a aumentar ano após ano.

Para este estudo, o intervalo de tempo considerado para o carregamento dos VEs foi baseado no quotidiano de um cidadão europeu (chegada a casa ao fim do dia e partida para o emprego na manhã seguinte). Contudo, podem existir outros períodos do dia, fora desse espaço de tempo considerado, que tenham um excesso elevado geração renovável. Então, poderiam ser utilizados para carregar os VEs, mas como o proprietário do veículo se encontra no local e trabalho durante esses períodos, também poderia ser avaliado o carregamento dos VEs no local de trabalho.

Neste estudo foi considerado que a bateria do veículo demoraria duas horas para carregar e consumiria 9 kWh. Também poderia ser realizado um outro estudo considerando diversas quantidades de energia necessárias para o carregamento.

Bibliografia

- [1] J. Holland, N. Brooke, N. White, A.-M. Ehrlichie, J. Bradbury e J. Farrow, *História Universal Comparada*, Correio da Manhã, 2000, p. 382.
- [2] Wikipedia, “Wikipedia,” [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ve%C3%ADculo_el%C3%A9trico. [Acedido em 16 agosto 2017].
- [3] “veículoselétricospt,” 14 setembro 2009. [Online]. Available: <http://www.veiculoselectricospt.com/historia-dos-veiculos-electricos/>. [Acedido em 16 agosto 2017].
- [4] “APREN-Associação de Energias Renováveis,” [Online]. Available: <http://www.apren.pt/pt/dados-tecnicos-3/dados-nacionais-2/producao-2/a-producao-de-eletricidade-em-portugal-3/producao-de-eletricidade-por-fonte-em-2016>. [Acedido em 16 agosto 2017].
- [5] APREN-Associação de Energias Renováveis, *Eletricidade renovável em revista*, 2016.
- [6] S. Fernandes, Avaliação de opções de controlo de cargas para a integração em larga escala de geração renovável intermitente na rede portuguesa, 2016, p. 1.
- [7] A. Traça de Almeida e P. Moura, “Sistemas Sustentáveis de Energia,” *INGENIUM*, p. 39, abril 2013.
- [8] J. Delgado, P. Moura, R. Faria e A. T. de Almeida, “Contribution of Plug-In Electric Vehicles to Achieve Energy Efficiency, Renewable Energy Integration and Greenhouse Gas Emissions Goals,” p. 37, 17 setembro 2016.
- [9] D. Roberts, “VOX,” 4 março 2016. [Online]. Available: <http://www.vox.com/2016/3/4/11161758/electric-cars-oil-crisis>. [Acedido em 4 janeiro 2017].
- [10] “Wikipedia,” 27 junho 2016. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Autom%C3%B3vel_h%C3%ADbrido_plug-in. [Acedido em 3 janeiro 2017].

- [11] J. Pontes, “EV Sales,” 28 dezembro 2016. [Online]. Available: <http://ev-sales.blogspot.pt/search/label/World>. [Acedido em 2 janeiro 2017].
- [12] B. Schoettle e M. Sivak, “Consumer Preferences for the Charging of Plug-In Electric Vehicles,” The University of Michigan-Sustainable Worldwide Transportation, 2016.
- [13] “EV Sales,” 8 junho 2017. [Online]. Available: <http://ev-sales.blogspot.pt>. [Acedido em 9 junho 2017].
- [14] J. Pontes, “EV Sales,” 20 janeiro 2017. [Online]. Available: <http://ev-sales.blogspot.pt/2017/01/portugal-december-2016.html>. [Acedido em 22 janeiro 2017].
- [15] D. Ferreira N., “Diário de Notícias,” 8 agosto 2016. [Online]. Available: <http://www.dn.pt/dinheiro/interior/vendas-de-carros-eletricos-disparam-e-crescem-43-5327149.html>. [Acedido em 21 dezembro 2016].
- [16] “Bloomberg New Energy Finance,” 25 fevereiro 2016. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/blog/electric-vehicles-to-be-35-of-global-new-car-sales-by-2040/>. [Acedido em 31 março 2017].
- [17] C. Camus, J. Esteves e T. Farias, “Integration of Electric Vehicles in the Electric Utility Systems,” p. 138, setembro 2011.
- [18] R. Faria, P. Moura, J. Delgado e A. Traça de Almeida, “A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system,” pp. 22-29, 17 novembro 2011.
- [19] W. E. Forum, “Global Energy Architecture Performance Index Report 2016,” 2016.
- [20] “Expresso-Economia,” [Online]. Available: <http://expresso.sapo.pt/economia/2016-12-22-The-Guardian-elege-renovaveis-em-Portugal-como-3.-momento-da-ciencia-em-2016>. [Acedido em 20 abril 2017].
- [21] Instituto Português do Mar e da Atmosfera, “Boletim Climatológico-dezembro de 2016-Portugal continental,” 2016.
- [22] “REN - Redes Energeticas Nacionais,” Estatística Diária do SEN, [Online]. Available: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/>. [Acedido em 20 março 2017].

- [23] “OMIE,” [Online]. Available:
<http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>. [Acedido em 28 março 2017].
- [24] “EDP,” [Online]. Available:
<https://energia.edp.pt/particulares/servicos/mobilidade-eletrica/>. [Acedido em 21 junho 2017].
- [25] J. Pontes, “EV Sales,” 2014. [Online]. Available: <http://ev-sales.blogspot.pt/2014/09/ev-business-case-charging-points.html>. [Acedido em 8 junho 2017].
- [26] R. Faria, P. Moura, J. Delgado e A. T. de Almeida, “Managing the Charging of Electrical Vehicles: Impacts on the Electrical Grid and on the Environment,” p. 55, 2014.
- [27] Z. Shaham, “Evobsession,” 10 setembro 2015. [Online]. Available:
<https://evobsession.com/electric-car-charging-101-types-of-charging-apps-more/>. [Acedido em 12 junho 2017].
- [28] SGORME-Sociedade Gestora de Operações da Rede de Mobilidade Elétrica, “Formas de carregamento de veículos elétricos em Portugal,” p. 3, 19 agosto 2011.
- [29] J. Valente, Soluções avançadas de controlo do processo de carga de EVs, Porto, 2017, pp. 9-12.
- [30] P. Vollet, “Schneider Electric Blog,” 24 abril 2013. [Online]. Available:
<http://blog.schneider-electric.com/electric-vehicle/2013/04/24/how-to-charge-your-electric-vehicle-safely-and-simply/>. [Acedido em 30 agosto 2017].
- [31] G. Bower, “Hybrid Car - auto alternatives for the 21st century,” 25 novembro 2015. [Online]. Available: <http://www.hybridcars.com/what-is-level-3-charging/>. [Acedido em 15 junho 2017].
- [32] J. Fonte, “EV Sales,” [Online]. Available: <http://ev-sales.blogspot.pt/search/label/Batteries>. [Acedido em 30 junho 2017].
- [33] J. Voelcker, “Green Car Reports,” 11 outubro 2016. [Online]. Available:
http://www.greencarreports.com/news/1106593_nissan-leaf-s-quietly-gets-30-kwh-battery-upgrade-higher-price. [Acedido em 30 maio 2017].

- [34] J. Helmus e R. Van den Hoed, “Unraveling User Type Characteristics: Towards a Taxonomy for Charging Infrastructure,” pp. 1-14, 3 maio 2015.
- [35] M. Alonso, H. Amaris, J. Gardy Germain e J. Manuel Galan, “Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles in Smart Grids by Heuristic Algorithms,” pp. 3-5, 30 janeiro 2014.
- [36] “Nissan,” [Online]. Available: <https://www.nissanusa.com/electric-cars/leaf/owner-questions/>. [Acedido em 25 maio 2017].
- [37] Endesa, “Endesa,” [Online]. Available: <https://www.endesa.pt/particulares/assessoria/periodos-horarios.html>. [Acedido em 30 julho 2017].

Anexos

Anexo A Casos de Estudo: Perfis de Carregamento

Tabela A.1: Percentagem de VEs disponíveis para os principais horários de carregamento

Hora	Percentagem VEs disponíveis (%)
19:00	15
19:15	20
19:30	30
19:45	35
20:00	42
20:15	48
20:30	55
20:45	60
21:00	72
21:15	77
21:30	80
21:45	83
22:00	85
22:15	87
22:30	89
22:45	90
23:00	92
23:15	93
23:30	94
23:45	95
00:00	96
00:15	97
00:30	98
00:45	99
01:00	100
01:15	99
01:30	99
01:45	98
02:00	98
02:15	98
02:30	98
02:45	98

03:00	98
03:15	98
03:30	98
03:45	98
04:00	98
04:15	98
04:30	98
04:45	98
05:00	98
05:15	97
05:30	97
05:45	96
06:00	96
06:15	95
06:30	95
06:45	94

Tabela A.2: Número de VEs disponíveis para carregamento para três diferentes frotas

Hora	Número de VEs disponíveis		
	100 k	500 k	1 M
22:00	15000	75000	150000
22:15	20000	100000	200000
22:30	30000	150000	300000
22:45	35000	175000	350000
23:00	42000	210000	420000
23:15	48000	240000	480000
23:30	55000	275000	550000
23:45	60000	300000	600000
00:00	72000	360000	720000
00:15	77000	385000	770000
00:30	80000	400000	800000
00:45	83000	415000	830000
01:00	85000	425000	850000
01:15	87000	435000	870000
01:30	89000	445000	890000
01:45	90000	450000	900000
02:00	92000	460000	920000
02:15	93000	465000	930000
02:30	94000	470000	940000
02:45	95000	475000	950000
03:00	96000	480000	960000
03:15	97000	485000	970000
03:30	98000	490000	980000
03:45	99000	495000	990000
04:00	100000	500000	1000000
04:15	99000	495000	990000
04:30	99000	495000	990000
04:45	98000	490000	980000
05:00	98000	490000	980000
05:15	98000	490000	980000

05:30	98000	490000	980000
05:45	98000	490000	980000
06:00	98000	490000	980000
06:15	98000	490000	980000
06:30	98000	490000	980000
06:45	98000	490000	980000

Tabela A.3: Percentagem de VEs em carregamento

Hora	Percentagem de VEs em carregamento (%)
19:00	0,4
19:15	0,9
19:30	1,4
19:45	2
20:00	2,6
20:15	3,3
20:30	4,1
20:45	5
21:00	6,1
21:15	7,2
21:30	8,4
21:45	10
22:00	13,2
22:15	16,4
22:30	19,7
22:45	23
23:00	25,7
23:15	28,6
23:30	31,5
23:45	34
00:00	34,9
00:15	35,7
00:30	36,4
00:45	37
01:00	37,5
01:15	37,3
01:30	36,7
01:45	35
02:00	32,8
02:15	30,3
02:30	27,7
02:45	25
03:00	21,7
03:15	18,35
03:30	15,2

03:45	13
04:00	11,3
04:15	9,9
04:30	8,4
04:45	7
05:00	6,3
05:15	5,85
05:30	5,4
05:45	5
06:00	4,5
06:15	4
06:30	3,5
06:45	3
07:00	2,3

Tabela A.4: Número de VEs em carregamento

Hora	Número de VEs em carregamento		
	100 k	500 k	1 M
19:00	400	2000	4000
19:15	900	4500	9000
19:30	1400	7000	14000
19:45	2000	10000	20000
20:00	2600	13000	26000
20:15	3300	16500	33000
20:30	4100	20500	41000
20:45	5000	25000	50000
21:00	6100	30500	61000
21:15	7200	36000	72000
21:30	8400	42000	84000
21:45	10000	50000	100000
22:00	13200	66000	132000
22:15	16400	82000	164000
22:30	19700	98500	197000
22:45	23000	115000	230000
23:00	25700	128500	257000
23:15	28600	143000	286000
23:30	31500	157500	315000
23:45	34000	170000	340000
00:00	34900	174500	349000
00:15	35700	178500	357000
00:30	36400	182000	364000
00:45	37000	185000	370000

01:00	37500	187500	375000
01:15	37300	186500	373000
01:30	36700	183500	367000
01:45	35000	175000	350000
02:00	32800	164000	328000
02:15	30300	151500	303000
02:30	27700	138500	277000
02:45	25000	125000	250000
03:00	21700	108500	217000
03:15	18350	91750	183500
03:30	15200	76000	152000
03:45	13000	65000	130000
04:00	11300	56500	113000
04:15	9900	49500	99000
04:30	8400	42000	84000
04:45	7000	35000	70000
05:00	6300	31500	63000
05:15	5850	29250	58500
05:30	5400	27000	54000
05:45	5000	25000	50000
06:00	4500	22500	45000
06:15	4000	20000	40000
06:30	3500	17500	35000
06:45	3000	15000	30000
07:00	2300	11500	23000

Tabela A.5: Consumo dos VEs em carregamento

Hora	Potência (kW)		
	100 k	500 k	1 M
19:00	1800	9000	18000
19:15	4050	20250	40500
19:30	6300	31500	63000
19:45	9000	45000	90000
20:00	11700	58500	117000
20:15	14850	74250	148500
20:30	18450	92250	184500
20:45	22500	112500	225000
21:00	27450	137250	274500
21:15	32400	162000	324000
21:30	37800	189000	378000
21:45	45000	225000	450000
22:00	59400	297000	594000

22:15	73800	369000	738000
22:30	88650	443250	886500
22:45	103500	517500	1035000
23:00	115650	578250	1156500
23:15	128700	643500	1287000
23:30	141750	708750	1417500
23:45	153000	765000	1530000
00:00	157050	785250	1570500
00:15	160650	803250	1606500
00:30	163800	819000	1638000
00:45	166500	832500	1665000
01:00	168750	843750	1687500
01:15	167850	839250	1678500
01:30	165150	825750	1651500
01:45	157500	787500	1575000
02:00	147600	738000	1476000
02:15	136350	681750	1363500
02:30	124650	623250	1246500
02:45	112500	562500	1125000
03:00	97650	488250	976500
03:15	82575	412875	825750
03:30	68400	342000	684000
03:45	58500	292500	585000
04:00	50850	254250	508500
04:15	44550	222750	445500
04:30	37800	189000	378000
04:45	31500	157500	315000
05:00	28350	141750	283500
05:15	26325	131625	263250
05:30	24300	121500	243000
05:45	22500	112500	225000
06:00	20250	101250	202500
06:15	18000	90000	180000
06:30	15750	78750	157500
06:45	13500	67500	135000
07:00	10350	51750	103500

Anexo B Análise do impacto dos Casos de Estudo: Adaptação do Carregamento de VEs à variação de Geração Renovável diária

Dia de inverno

Tabela B.1: Percentagem de VEs em carregamento (17-18 fevereiro de 2016)

Hora	Percentagem de VEs em carregamento (%)
19:00	0,15
19:15	0,4
19:30	0,7
19:45	1
20:00	1,5
20:15	2
20:30	2,5
20:45	3
21:00	3,35
21:15	3,6
21:30	3,8
21:45	4
22:00	4,25
22:15	4,5
22:30	4,75
22:45	5
23:00	5,25
23:15	5,5
23:30	5,75
23:45	6
00:00	6,65
00:15	7,7
00:30	8,75
00:45	10
01:00	11,35
01:15	13
01:30	14,65
01:45	17
02:00	19,85
02:15	22,3

02:30	24,75
02:45	27
03:00	29,65
03:15	32
03:30	34,35
03:45	36
04:00	36,25
04:15	36,5
04:30	36,75
04:45	37
05:00	36,75
05:15	36
05:30	35,25
05:45	34
06:00	30,5
06:15	26,6
06:30	22,4
06:45	18
07:00	13,5

Tabela B.2: Número de VEs em carregamento (17-18 fevereiro de 2016)

Hora	Número de VEs em carregamento (%) 1 M
19:00	1500
19:15	4000
19:30	7000
19:45	10000
20:00	15000
20:15	20000
20:30	25000
20:45	30000
21:00	33500
21:15	36000
21:30	38000
21:45	40000
22:00	42500
22:15	45000
22:30	47500
22:45	50000
23:00	52500
23:15	55000
23:30	57500

23:45	60000
00:00	66500
00:15	77000
00:30	87500
00:45	100000
01:00	113500
01:15	130000
01:30	146500
01:45	170000
02:00	198500
02:15	223000
02:30	247500
02:45	270000
03:00	296500
03:15	320000
03:30	343500
03:45	360000
04:00	362500
04:15	365000
04:30	367500
04:45	370000
05:00	367500
05:15	360000
05:30	352500
05:45	340000
06:00	305000
06:15	266000
06:30	224000
06:45	180000
07:00	135000

Tabela B.3: Consumo de VEs em carregamento (17-18 fevereiro de 2016)

Hora	Potência (MW)
	1 M
19:00	6,75
19:15	18
19:30	31,5
19:45	45
20:00	67,5
20:15	90
20:30	112,5
20:45	135

21:00	150,75
21:15	162
21:30	171
21:45	180
22:00	191,25
22:15	202,5
22:30	213,75
22:45	225
23:00	236,25
23:15	247,5
23:30	258,75
23:45	270
00:00	299,25
00:15	346,5
00:30	393,75
00:45	450
01:00	510,75
01:15	585
01:30	659,25
01:45	765
02:00	893,25
02:15	1003,5
02:30	1113,75
02:45	1215
03:00	1334,25
03:15	1440
03:30	1545,75
03:45	1620
04:00	1631,25
04:15	1642,5
04:30	1653,75
04:45	1665
05:00	1653,75
05:15	1620
05:30	1586,25
05:45	1530
06:00	1372,5
06:15	1197
06:30	1008
06:45	810
07:00	607,5

Dia de verão

Tabela B.4: Percentagem de VEs em carregamento (16-17 agosto de 2016)

Hora	Percentagem de VEs em carregamento (%)
19:00	4
19:15	8
19:30	12
19:45	16
20:00	22
20:15	28
20:30	34
20:45	40
21:00	41,75
21:15	43,5
21:30	45,25
21:45	47
22:00	43,75
22:15	40,5
22:30	37,25
22:45	34
23:00	29,25
23:15	24,5
23:30	19,75
23:45	15
00:00	13
00:15	11
00:30	9
00:45	7
01:00	6,75
01:15	6,5
01:30	6,25
01:45	6
02:00	6
02:15	6
02:30	6
02:45	6
03:00	6,5
03:15	7
03:30	7,5
03:45	8
04:00	8,5
04:15	9

04:30	9,5
04:45	10
05:00	9,25
05:15	8,5
05:30	7,75
05:45	7
06:00	6
06:15	5
06:30	4
06:45	3
07:00	2,5

Tabela B.5: Número de VEs em carregamento (16-17 agosto de 2016)

Hora	Número de VEs em carregamento (%) 1 M
19:00	40000
19:15	80000
19:30	120000
19:45	160000
20:00	220000
20:15	280000
20:30	340000
20:45	400000
21:00	417500
21:15	435000
21:30	452500
21:45	470000
22:00	437500
22:15	405000
22:30	372500
22:45	340000
23:00	292500
23:15	245000
23:30	197500
23:45	150000
00:00	130000
00:15	110000
00:30	90000
00:45	70000
01:00	67500
01:15	65000
01:30	62500

01:45	60000
02:00	60000
02:15	60000
02:30	60000
02:45	60000
03:00	65000
03:15	70000
03:30	75000
03:45	80000
04:00	85000
04:15	90000
04:30	95000
04:45	100000
05:00	92500
05:15	85000
05:30	77500
05:45	70000
06:00	60000
06:15	50000
06:30	40000
06:45	30000
07:00	25000

Tabela B.6: Consumo de VEs em carregamento (16-17 agosto de 2016)

Hora	Potência (MW) 1 M
19:00	180
19:15	360
19:30	540
19:45	720
20:00	990
20:15	1260
20:30	1530
20:45	1800
21:00	1878,75
21:15	1957,5
21:30	2036,25
21:45	2115
22:00	1968,75
22:15	1822,5
22:30	1676,25
22:45	1530

23:00	1316,25
23:15	1102,5
23:30	888,75
23:45	675
00:00	585
00:15	495
00:30	405
00:45	315
01:00	303,75
01:15	292,5
01:30	281,25
01:45	270
02:00	270
02:15	270
02:30	270
02:45	270
03:00	292,5
03:15	315
03:30	337,5
03:45	360
04:00	382,5
04:15	405
04:30	427,5
04:45	450
05:00	416,25
05:15	382,5
05:30	348,75
05:45	315
06:00	270
06:15	225
06:30	180
06:45	135
07:00	112,5

Dia de primavera

Tabela B.7: Percentagem de VEs em carregamento (13-14 maio de 2016)

Hora	Percentagem de VEs em carregamento (%)
	1M
19:00	3
19:15	6
19:30	9
19:45	12
20:00	16
20:15	20
20:30	24
20:45	28
21:00	29,25
21:15	30,5
21:30	31,75
21:45	33
22:00	31,5
22:15	30
22:30	28,5
22:45	27
23:00	23,75
23:15	20,5
23:30	17,25
23:45	14
00:00	12,5
00:15	11
00:30	9,5
00:45	8
01:00	8,75
01:15	9,5
01:30	10,25
01:45	11
02:00	12
02:15	13
02:30	14
02:45	15
03:00	15,75
03:15	16,5
03:30	17,25
03:45	18
04:00	18
04:15	18

04:30	18
04:45	18
05:00	16,25
05:15	14,5
05:30	12,75
05:45	11
06:00	9,25
06:15	7,5
06:30	5,75
06:45	4
07:00	3,25

Tabela B.8: Número de VEs em carregamento (13-14 maio de 2016)

Hora	Número de VEs em carregamento (%) 1 M
19:00	30000
19:15	60000
19:30	90000
19:45	120000
20:00	160000
20:15	200000
20:30	240000
20:45	280000
21:00	292500
21:15	305000
21:30	317500
21:45	330000
22:00	315000
22:15	300000
22:30	285000
22:45	270000
23:00	237500
23:15	205000
23:30	172500
23:45	140000
00:00	125000
00:15	110000
00:30	95000
00:45	80000
01:00	87500
01:15	95000
01:30	102500

01:45	110000
02:00	120000
02:15	130000
02:30	140000
02:45	150000
03:00	157500
03:15	165000
03:30	172500
03:45	180000
04:00	180000
04:15	180000
04:30	180000
04:45	180000
05:00	162500
05:15	145000
05:30	127500
05:45	110000
06:00	92500
06:15	75000
06:30	57500
06:45	40000
07:00	32500

Tabela B.9: Consumo de VEs em carregamento (13-14 maio de 2016)

Hora	Potência (MW) 1 M
19:00	135
19:15	270
19:30	405
19:45	540
20:00	720
20:15	900
20:30	1080
20:45	1260
21:00	1316,25
21:15	1372,5
21:30	1428,75
21:45	1485
22:00	1417,5
22:15	1350
22:30	1282,5
22:45	1215

23:00	1068,75
23:15	922,5
23:30	776,25
23:45	630
00:00	562,5
00:15	495
00:30	427,5
00:45	360
01:00	393,75
01:15	427,5
01:30	461,25
01:45	495
02:00	540
02:15	585
02:30	630
02:45	675
03:00	708,75
03:15	742,5
03:30	776,25
03:45	810
04:00	810
04:15	810
04:30	810
04:45	810
05:00	731,25
05:15	652,5
05:30	573,75
05:45	495
06:00	416,25
06:15	337,5
06:30	258,75
06:45	180
07:00	146,25
