



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação



Avaliação da Utilização de Veículos Elétricos na Ilha da Madeira como Geradora de Aumento de Eficiências no seu Sistema Eletroprodutor

HUGO FILIPE SILVA PINA
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientador:
Professor José Luís Rosa de Almeida

Júri:
Presidente: Professor Luís Manuel dos Santos Redondo

Vogais:
Professor Ricardo Jorge Ferreira Luís
Professor José Luís Rosa de Almeida

Dezembro de 2018

Trabalho Final de Mestrado realizado sob a orientação de:

Professor José Luís Rosa de Almeida

Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica Energia e Automação

INSTITUTO SUPERIOR de ENGENHARIA de LISBOA

Resumo

É pretendido neste trabalho final de mestrado, estudar o impacto da utilização do consumo dos veículos elétricos para aumento de eficiências no sistema eletroprodutor da ilha da Madeira.

Devido à crise de dívida soberana na área do Euro e pelo pedido de assistência financeira efetuado pelo Governo Regional da Madeira, existiu um considerável decréscimo no consumo de energia elétrica na Região. Esta diminuição do consumo levou a que determinados projetos de melhoramento e atualização da rede não fossem utilizados na totalidade da sua potencialidade. Presenciou-se então a um aumento da potência instalada e melhoramento das instalações de produção na ilha para uma redução na energia consumida por parte dos utilizadores.

Ao relacionar estes fatores às preocupações ambientais, particularmente no setor dos transportes, foi realizado um estudo sobre como a aposta na implementação de veículos elétricos na ilha seria benéfica para o sistema elétrico, nomeadamente através do aumento da produção de energia provocado pelos consumos destes, como pela possibilidade de um maior contributo de energias renováveis no sistema eletroprodutor.

Devido a este aumento de produção, haveria a necessidade de uma maior utilização das infraestruturas já existentes, mais concretamente das instalações de produção de energia através de fontes endógenas renováveis, tornando assim a rede elétrica mais eficiente e sustentável.

Constata-se, através da implementação dos veículos elétricos, uma redução nas importações de combustíveis fósseis, uma redução no ruído, nas emissões de gases de efeito de estufa e nas emissões poluentes.

Palavras-chave: Veículos Elétricos, Energias Renováveis, Carregamento de Veículos Elétricos, V2G, Ilha da Madeira.

Abstract

This final master intends to study the impact of the use of electric vehicle consumption in order to increase efficiently the electroproductive system of Madeira island.

Due to the debt crisis in the Euro area and the request for financial assistance made by the Regional Government of Madeira, there was a considerable decrease in the consumption of electricity in the Region. This decrease in consumption meant that certain improvement projects and updated network were not used to their full potential. The reduction in the energy consumed was followed by an increase and improvement of the installed power in the Island.

By relating these factors to environmental concerns, particularly in the transport sector, a study was done on how the implementation of electric vehicles on the island would be beneficial to the electric system, namely by increasing the energy production caused by the consumption of these, as by the possibility of a greater use of renewable energies in the electroproductive system.

Thus, with this increased production, there would be a need for greater use of existing infrastructures, in particular of energy production facilities through renewable endogenous sources, making the electrical grid more efficient and sustainable.

It is also verified, through the implementation of electric vehicles, a reduction on imports of fossil fuels, in noise, greenhouse gas emissions and air pollution emissions.

Keywords: electric vehicle, renewable energies, electric vehicle charging, V2G, Madeira island

Agradecimentos

No decorrer deste Trabalho Final de Mestrado, foram muitas as pessoas que de uma maneira ou de outra me ajudaram e auxiliaram.

Primeiro gostaria de agradecer ao meu orientador, o professor José Luís Rosa de Almeida, pelo incentivo, opinião, aconselhamento e ajuda ao longo desta dissertação.

À minha família, em especial à minha mãe e irmãs pelo apoio incondicional e compreensão ao longo de todo este percurso.

Queria agradecer também à minha namorada pela sua disponibilidade e compreensão.

Por último, quero agradecer a todos os meus amigos, que me apoiaram e estiveram presentes no decorrer desta etapa.

Índice

Resumo.....	- 5 -
Abstract.....	- 7 -
Agradecimentos.....	- 9 -
Índice.....	- 11 -
Índice de Figuras.....	- 15 -
Índice de Gráficos.....	- 17 -
Índice de Tabelas.....	- 19 -
Abreviaturas.....	- 21 -
Lista de variáveis.....	- 23 -
Capítulo I.....	- 25 -
1. Introdução.....	- 27 -
1.1. Enquadramento.....	- 27 -
1.2. Motivação.....	- 27 -
1.3. Objetivos.....	- 28 -
1.4. Estrutura do Documento.....	- 28 -
1.5. Notação.....	- 29 -
Capítulo II.....	- 31 -
2. Caracterização do Sistema Eletroprodutor da ilha da Madeira.....	- 33 -
2.1. Setor Elétrico.....	- 33 -
2.1.2. Centrais Termoelétricas.....	- 34 -
2.1.2.1. Central Térmica da Vitória.....	- 35 -
2.1.2.2. Central Térmica do Caniçal.....	- 36 -
2.1.3. Centrais Hidroelétricas.....	- 36 -
2.1.3.1. Central Hidroelétrica da Serra de Água.....	- 37 -
2.1.3.2. Central Hidroelétrica da Calheta I.....	- 38 -
2.1.3.3. Central Hidroelétrica da Calheta II.....	- 38 -
2.1.3.4. Central Hidroelétrica dos Socorridos.....	- 39 -
2.1.3.5. Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira.....	- 40 -
2.1.3.6. Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela.....	- 41 -
2.1.3.7. Central Hidroelétrica do Lombo Brasil.....	- 41 -
2.1.3.8. Central Hidroelétrica da Fajã dos Padres.....	- 42 -
2.1.3.9. Central Hidroelétrica de Santa Quitéria.....	- 43 -
2.1.3.10. Central Hidroelétrica da Terça.....	- 43 -
2.1.4. Parques Eólicos.....	- 43 -

2.1.4.1.	Parque Eólico da Bica da Cana	- 44 -
2.1.4.2.	Parque Eólico do Caniçal	- 44 -
2.1.4.3.	Parque Eólico do Juncal.....	- 44 -
2.1.4.4.	Parque Eólico do Loiral.....	- 45 -
2.1.4.5.	Parque Eólico do Loiral II	- 45 -
2.1.4.6.	Parque Eólico do Paul da Serra.....	- 46 -
2.1.4.7.	Parque Eólico do Paul da Serra (ENEREEM)	- 46 -
2.1.4.8.	Parque Eólico de Pedras.....	- 47 -
2.1.4.9.	Parque Eólico Quinta do Lorde	- 48 -
2.1.5.	Parques Fotovoltaicos	- 48 -
2.1.5.1.	Parque Fotovoltaico do Caniçal	- 49 -
2.1.5.2.	Parque Fotovoltaico do Paul.....	- 49 -
2.1.5.3.	Parque Fotovoltaico do Loiral.....	- 50 -
2.1.6.	Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos.....	- 51 -
2.1.6.1.	Instalação de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos.....	- 51 -
2.1.7.	Consumo de Energia Elétrica	- 52 -
2.1.7.1.	Diagrama de Cargas.....	- 53 -
Capítulo III	.....	- 55 -
3.	Veículos Elétricos	- 57 -
3.1.	Veículos elétricos – História.....	- 57 -
3.2.	Tipos de Veículos Elétricos.....	- 58 -
3.2.1.	<i>Battery Electric Vehicle</i> (BEV).....	- 58 -
3.2.2.	Hybrid Electric Vehicle (HEV).....	- 59 -
3.2.3.	Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV).....	- 59 -
3.3.	Vantagens dos Veículos Elétricos	- 60 -
3.4.	Alimentação de Instalações e de Veículos Elétricos	- 61 -
3.4.1.	Carga e Carregadores VE.....	- 62 -
3.4.2.	Carregamento de veículos elétricos.....	- 62 -
3.4.2.1.	Modo de carga 1	- 63 -
3.4.2.2.	Modo de carga 2	- 63 -
3.4.2.3.	Modo de carga 3	- 64 -
3.4.2.4.	Modo de carga 4	- 66 -
3.4.3.	Conexão entre o VE e o SAVE	- 68 -
3.4.3.1.	Dispositivo com função de controlo	- 68 -
3.4.3.2.	Dispositivo com função piloto.....	- 68 -
3.4.3.3.	Dispositivo com função de proximidade.....	- 68 -

3.4.3.4. Dispositivo de retenção.....	- 68 -
3.5. Posto de carregamento (PC).....	- 68 -
3.5.1. Casos de conexão.....	- 69 -
3.5.1.1. Caso A de conexão:	- 69 -
3.5.1.2. Caso B de conexão:	- 70 -
3.5.1.3. Caso C de conexão	- 71 -
3.6. Tecnologias e tendências futuras para o carregamento de VE	- 72 -
3.6.1. Sistema de carregamento por indução	- 72 -
3.6.2. Integração com redes elétricas inteligentes – V2G	- 74 -
3.6.3. Parques de estacionamento inteligentes e sustentáveis – <i>Smart Microgrid</i> -	76 -
Capítulo IV.....	- 79 -
4. Descrição do sistema eletroprodutor e oportunidades de aumento de eficiência.....	- 81 -
4.1. Descrição do sistema eletroprodutor.....	- 81 -
4.1.1. Consumo de energia elétrica.....	- 81 -
4.1.2. Evolução da energia produzida e consumida na ilha da Madeira	- 83 -
4.1.3. Produção hídrica e utilização da Estação de bombagem dos Socorridos -	85 -
4.1.4. Produção eólica na ilha da Madeira	- 87 -
4.1.5. Evolução do despacho de energia.....	- 89 -
4.2. Plano energético regional e projetos futuros.....	- 90 -
4.2.1. Linhas estratégicas	- 91 -
4.2.2. Projetos realizados recentemente ou em curso	- 93 -
4.2.2.1. Introdução do gás natural na Madeira.....	- 93 -
4.2.2.2. Ampliação do aproveitamento hidroelétrico da Calheta.....	- 94 -
4.2.2.3. Mobilidade Elétrica	- 95 -
4.2.2.4. SMart IsLand Energy Systems (SMILE)	- 98 -
4.3. Potenciais das energias hídricas e eólicas na ilha da Madeira.....	- 100 -
4.3.1. Potencial da energia hídrica	- 100 -
4.3.2. Potencial da energia eólica.....	- 101 -
4.4. Oportunidades de aumento de eficiência	- 102 -
4.4.1. Aumento do consumo de energia elétrica	- 102 -
4.4.2. Maior utilização das infraestruturas de produção de energia renovável-	103 -
Capítulo V	- 105 -
5. A utilização dos consumos dos veículos elétricos para otimização da rede elétrica na ilha da Madeira	- 107 -

5.1.	Oportunidades de aumento de eficiência no sistema elétrico da ilha da Madeira com recurso a veículos elétricos	- 107 -
5.1.1.	Aumento da produção de energia.....	- 107 -
5.1.2.	Aproveitamento de energia excedentária produzida por fontes de energia renováveis	- 108 -
5.1.3.	Aumento do consumo nas horas de vazio	- 108 -
5.1.4.	Aumento da utilização da estação de bombagem dos Socorridos (com energia dos parques eólicos).....	- 109 -
5.2.	Estudo da implementação dos veículos elétricos	- 111 -
5.2.1.	Parque automóvel na ilha da Madeira.....	- 111 -
5.2.2.	Energia Média Diária Consumida por um veículo Elétrico.....	- 112 -
5.2.3.	Cenários de Implementação de Veículos Elétricos na Ilha da Madeira	- 114 -
5.2.3.1.	Cenário I.....	- 116 -
5.2.3.2.	Cenário II.....	- 116 -
5.2.3.3.	Cenário III	- 117 -
5.2.3.4.	Cenário IV	- 118 -
5.2.3.5.	Cenário V	- 119 -
5.2.4.	Implementação de veículos elétricos no horizonte 2021	- 121 -
5.3.	Alterações no setor energético com a implementação dos veículos elétricos ..	- 124 -
5.3.1.	Setor dos Combustíveis	- 124 -
5.3.1.1.	Evolução do Consumo de Combustíveis	- 124 -
5.3.1.2.	Evolução de preços dos combustíveis	- 125 -
5.3.1.3.	Emissões de CO ₂ Produzidas pelo Setor dos Transportes	- 127 -
Capítulo VI	.....	- 131 -
6. Conclusões	.....	- 133 -
Bibliografia	.....	- 135 -
Referências Bibliográficas	.....	- 137 -
Apêndices	.....	- 145 -
Apêndice 1 – “Evaluation of electric vehicles use to improve the existing power generation system efficiency in Madeira island“	.....	- 147 -

Índice de Figuras

Figura 1 - CTV II	- 35 -
Figura 2 - CTV III	- 35 -
Figura 3 - Central térmica do Caniçal.....	- 36 -
Figura 4 - Central hidroelétrica Serra de Água	- 37 -
Figura 5 - Central hidroelétrica da Calheta I.....	- 38 -
Figura 6 - Central hidroelétrica da Calheta II.....	- 39 -
Figura 7 - Central hidroelétrica dos Socorridos	- 40 -
Figura 8 - Central hidroelétrica da Fajã da Nogueira.....	- 40 -
Figura 9 - Central hidroelétrica da Ribeira da Janela	- 41 -
Figura 10 - Central hidroelétrica do Lombo Brasil	- 42 -
Figura 11 - Central hidroelétrica da Fajã dos Padres	- 42 -
Figura 12 - Parque eólico do Juncal.....	- 44 -
Figura 13 - Parque eólico do Loiral	- 45 -
Figura 14 - Parque eólico do Loiral II	- 45 -
Figura 15 - Parque eólica do Paul da Serra	- 46 -
Figura 16 - Parque eólico do Paul da Serra (ENEREEM)	- 47 -
Figura 17 - Parque eólico de Pedras.....	- 48 -
Figura 18 - Parque fotovoltaico do Caniçal	- 49 -
Figura 19 - Parque fotovoltaico do Paul.....	- 50 -
Figura 20 - Parque fotovoltaico do Loiral.....	- 50 -
Figura 21 - Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	- 51 -
Figura 22 - Tomada tipo 1 - "Yazaki"	- 65 -
Figura 23 - Tomada tipo 2 - "Mennekes"	- 65 -
Figura 24 - Tomada tipo 3 - "Scame"	- 65 -
Figura 25- Procedimentos protocolo CHAdeMO	- 67 -
Figura 26 -Tomada norma CHAdeMO	- 67 -
Figura 27 - Exemplos de SAVE	- 69 -
Figura 28 - Caso A de conexão	- 70 -
Figura 29 - Caso B de conexão	- 71 -
Figura 30 - Caso C de conexão	- 72 -
Figura 31 - Carregamento Indução estático	- 74 -
Figura 32 - Carregamento Indução Dinâmico	- 74 -
Figura 33 - Tecnologia V2G.....	- 76 -
Figura 34 - Integração de energias renováveis e veículos elétricos – SmartPark ...	- 77 -
Figura 35 - Mapa da localização dos PC.....	- 98 -

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Emissão mensal de energia e ponta mensais na Madeira.....	- 34 -
Gráfico 2 - Emissão por fonte de energia primária - Evolução da emissão por fonte de energia	- 52 -
Gráfico 3 - Diagramas de carga (Estações)	- 53 -
Gráfico 4 - Diagramas de carga - Evolução do diagrama de classificados de cargas -	54 -
Gráfico 5 - Energia Consumida por Setor	- 83 -
Gráfico 6 - Evolução da produção e consumo de energia (2008-2017).....	- 85 -
Gráfico 7 - Geração eólica vs produção total de energia elétrica	- 89 -
Gráfico 8 - Evolução do Parque Automóvel na R. A. Madeira [64]	- 112 -
Gráfico 9 - Aumento da energia entrada na rede através dos consumos dos VE..	- 120 -
Gráfico 10 - Produção de energia renovável vs consumo dos VE.....	- 121 -
Gráfico 11 - Evolução do consumo c/ implementação dos VE	- 123 -
Gráfico 12 - Consumo de Combustíveis na R. A. Madeira 2010-2017 [59]	- 125 -
Gráfico 13 - Evolução temporal do preço médio anual dos combustíveis na ilha da Madeira [60,61].....	- 126 -
Gráfico 14 - Evolução das emissões de CO ₂ pelo tipo de combustível	- 128 -

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Sistema eletroprodutor da EEM na Madeira	- 33 -
Tabela 2 - Sistema eletroprodutor de entidades privadas na Madeira	- 33 -
Tabela 3 - Tipos de ligação (Modo 3)	- 64 -
Tabela 4 - Evolução da Energia Consumida	- 82 -
Tabela 5 - Evolução da Energia Produzida e Consumida	- 84 -
Tabela 6 - Evolução da energia produzida nas principais infraestruturas de produção hídrica	- 86 -
Tabela 7 - Utilização média anual dos parques eólicos da ilha da Madeira	- 87 -
Tabela 8 - Emissão por fonte de energia	- 90 -
Tabela 9 - Objetivos e metas do plano energético regional	- 91 -
Tabela 10- Linhas estratégicas por objetivo	- 92 -
Tabela 11 - Utilização média anual da Estação de Bombagem dos Socorridos	- 111 -
Tabela 12 - Unidade de veículos vendidos e suas principais características	- 113 -
Tabela 13 - Quantificação dos cenários da implementação dos VE	- 120 -
Tabela 14- Análise da produção de energia por fontes renováveis vs consumo dos veículos elétricos	- 121 -
Tabela 15 - Evolução do consumo face à implementação dos VE	- 122 -
Tabela 16 - Preços médios anuais dos combustíveis na ilha da Madeira	- 126 -
Tabela 17 - Previsão do preço do barril de petróleo BRENT	- 127 -
Tabela 18 - Previsão da evolução da emissão de CO2 no setor dos transportes	- 129 -

Abreviaturas

AREAM – Agência Regional de Energia e Ambiente da RAM;

BEV – Battery Electric Vehicle – Veículo Elétrico a Bateria;

CAV – Central Hidroelétrica da Calheta I;

CO₂ – Dióxido de Carbono;

CTA III – Central da Calheta III;

CTV – Central Térmica da Vitória;

EEM – Empresa de Eletricidade da Madeira;

EM – Electric Motor;

EN – European Norm - Norma Europeia;

ETA – Estação de Tratamento de Água;

GEE – Gases com Efeito de Estufa;

HEV – Hybrid Electric Vehicle – Veículo Elétrico Híbrido;

ICM – Internal Combustion Motor – Motor de Combustão Interna;

IEC – International Electrotechnical Commission;

IIRSU – Instalação de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos;

ISV – Imposto Sobre o Veículo;

NiMH – Níquel-Hidreto Metálico;

PC – Posto de Carregamento;

PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle – Veículo Híbrido com Carregamento através da Rede Elétrica;

RAM – Região Autónoma da Madeira;

SAVE – Sistema de Alimentação de Veículos Elétricos;

SEPM – Sistema Elétrico de Serviço Público da Madeira;

SMILE – Smart IsLand Energy systems;

SOC – State-of-Charge – Estado de Carga;

UPACs – Unidades de Produção de Autoconsumo;

V2G – Vehicle-to-Grid – Veículo para a Rede;

VE – Veículo Elétrico.

Lista de variáveis

Variável	Unidade	Descrição
C_{ev}	kWh/100km	Consumo de um veículo elétrico
C_{MED_EV}	kWh/100km	Consumo médio dos veículos elétricos
V_{EV}		Número de unidades do modelo de VE vendidas
E_{MED_EV}	kWh	Energia média diária necessária para o carregamento de um VE
$Perf_{bat}$		Performance da bateria
$Dist_{Média}$	km	Distância média percorrida por um veículo
$E_{MEDtotalEV}$	kWh	Energia média diária necessária para o carregamento de um VE
E_{total_dia}	GWh	Energia consumida diariamente pelo total de VE
E_{total_ano}	GWh	Energia consumida anualmente pelo total de VE

Capítulo I

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Ao analisar a rede elétrica na ilha da Madeira e o seu desenvolvimento, é necessário primeiro identificar os principais problemas relacionados com a insularidade. Em grande parte, estes problemas estão relacionados com a dependência nos combustíveis fósseis, disponibilidade de água doce e de gestão de resíduos. É necessário reconhecer igualmente as limitações ligadas à insularidade no que diz respeito à energia elétrica, sendo que na maioria dos casos, é impossível ligar as ilhas às redes europeias de produção de energia o que dificulta a implementação de soluções para reduzir custos ambientais nomeadamente a poluição do ar e as emissões de CO₂. Atualmente é possível olhar para todas estas limitações de uma maneira diferente, tendo em conta as energias renováveis e os veículos elétricos.

Na ilha da Madeira, existe uma série de instalações de produção de energia por meio de fontes de energia renovável. Estas mesmas instalações dependem da sua fonte principal de energia o que poderá nem sempre estar disponível ou então podendo haver produção que não seja consumida e sendo esta excedentária pois não existe forma de a armazenar.

Ao estudar os veículos elétricos e a sua implementação na ilha, podemos considerá-los como uma solução ótima para os problemas mencionados anteriormente. Além de serem considerados um meio de transporte poderão, com uma gestão apropriada ser utilizados para contornar as questões do desaproveitamento de energia produzida por meio de fontes de energia renovável como também posteriormente serem utilizados como unidade de armazenamento de energia.

1.2. Motivação

Para a realização desta dissertação, foi tido como motivação o desejo de melhor compreender uma possível evolução da rede elétrica na ilha da Madeira com recurso às energias renováveis e aos veículos elétricos.

Através da interligação destes dois temas à rede elétrica na ilha da Madeira, foi despertado o interesse no impacto que a mobilidade elétrica e as energias renováveis

poderiam ter a curto e longo prazo para a sustentabilidade e eficiência energética para a rede elétrica presente na ilha da Madeira.

1.3. Objetivos

Esta presente dissertação tem como principais objetivos o estudo da utilização dos consumos dos veículos elétricos para aumento de eficiências no sistema electroprodutor da ilha da Madeira e a descrição das implicações inerentes a uma maior utilização de veículos elétricos no sistema elétrico e energético da Região Autónoma.

1.4. Estrutura do Documento

Para a realização da presente dissertação foi realizada uma divisão da mesma em 6 capítulos.

No capítulo 1 é realizada uma introdução onde está presente o enquadramento, a motivação para a realização da mesma, o objetivo do trabalho e a notação utilizada ao longo do documento.

No capítulo 2 é feita a caracterização do sistema eletroprodutor na ilha da Madeira nomeadamente do seu setor energético.

No capítulo 3 é realizada uma introdução ao estudo dos veículos elétricos, onde é referido a evolução destes até à atualidade como também é feita uma pesquisa bibliográfica sobre os seus modos de carregamento e uma pesquisa sobre as suas tendências futuras.

No capítulo 4 está presente uma descrição do sistema elétrico da ilha da Madeira nos últimos 10 anos. Será também realizado um levantamento das possíveis oportunidades de aumento de eficiência nesse mesmo sistema eletroprodutor.

No capítulo 5 é realizado um estudo do impacto da utilização dos consumos dos veículos elétricos para otimização do sistema eletroprodutor. Será igualmente feita uma descrição das alterações que seriam causadas no sistema elétrico da ilha da Madeira pela maior utilização dos veículos elétricos.

No capítulo 6 está presente a análise aos resultados. É feita a avaliação da viabilidade económica da disseminação de veículos elétricos e as conclusões do presente trabalho.

1.5. Notação

No presente Trabalho Final de Mestrado, foi utilizada a seguinte notação:

Todas as figuras, gráficos e tabelas são numeradas sequencialmente ao longo de todo o documento. As referências bibliográficas são numeradas sequencialmente e são apresentadas entre parênteses retos, enquanto que as equações estão representadas entre parênteses curvos.

Expressões em língua estrangeira são apresentadas em itálico.

Esta dissertação está escrita de acordo com o novo acordo ortográfico.

Capítulo II

2. Caracterização do Sistema Eletroprodutor da ilha da Madeira

2.1. Setor Elétrico

Para realizar um correto levantamento do SEPM (Sistema Elétrico de Serviço Público da Madeira) é necessário ter em conta dois sistemas eletroprodutores. O sistema da EEM (Empresa de Eletricidade da Madeira) e o sistema de entidades privadas. Ambos são interligados, formando assim a rede de energia elétrica da RAM. Nas tabelas abaixo podemos observar o volume de potência instalada no SEPM.

Sistema eletroprodutor da EEM na ilha da Madeira – 2017

	Térmica		Hidroel.	Total
	Fuelóleo	Gás Natural		
Nº de centrais	1		9	10
Potência Instalada (MW)	112,64	54,40	46,47	213,51
Produção (GWh)	263,00	154,15	73,89	491,03
Emissão (GWh)	254,17	150,82	73,37	478,35

Tabela 1 - Sistema eletroprodutor da EEM na Madeira

Sistema eletroprodutor de entidades privadas na ilha da Madeira – 2017

	Térmica	Hidroel.	Eólica	Resíd. Urb.	Fotovolt.*	Total
Nº de centrais	1	1	9	1	774	786
Potência Instalada (MW)	36,00	0,70	45,11	8,00	19,13	108,94
Aquisições (GWh)	192,54	4,19	83,11	47,61	29,78	357,23

*Inclui a microprodução, a miniprodução e outros parques de maior dimensão

Na microprodução, estão incluídas 3 instalações eólicas e 2 hídricas

Tabela 2 - Sistema eletroprodutor de entidades privadas na Madeira

Foi registado um valor total de entrada de energia na ilha da Madeira em 2017 de 835,59 GWh enquanto a emissão para a rede ascendeu a 834,24 GWh devido ao consumo de 1,34 GWh em bombagem.

Serão traduzidos nos gráficos seguintes a evolução mensal da energia emitida por fonte de energia primária e das potências de ponta:

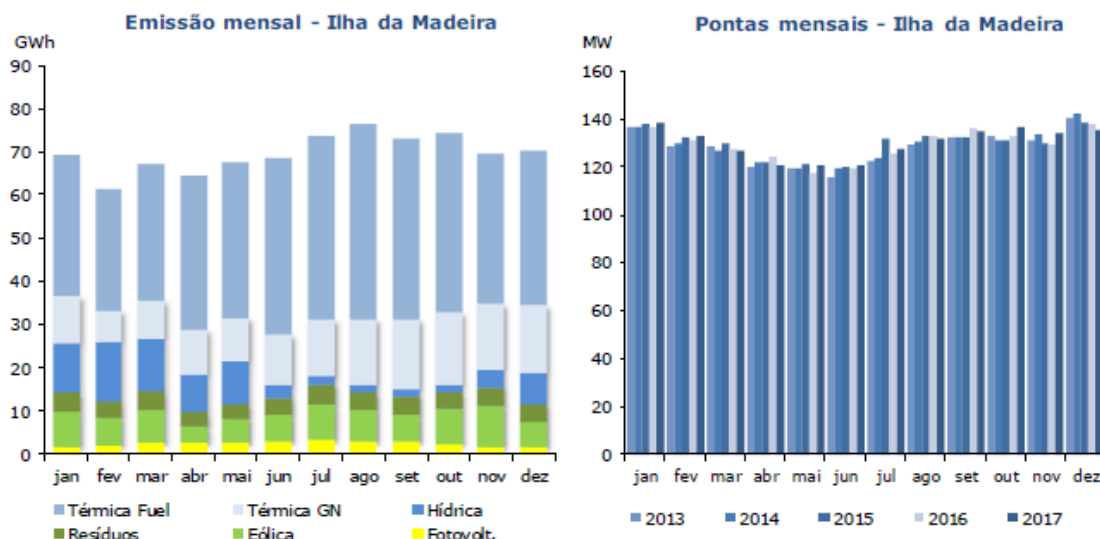


Gráfico 1 - Emissão mensal de energia e ponta mensais na Madeira

Foi registada uma diminuição de aproximadamente 26% na componente hídrica, devido a um ano hidrológico abaixo da média histórica e pela desclassificação dos Grupos 1 e 4 da Central da Calheta (CAV), em resultado do início das obras de construção da Ampliação do Aproveitamento Hidroelétrico da Calheta (CTA III).

A ponta máxima do ano 2017 foi registada a 31 de dezembro pelas 18h00, tendo atingido o valor de 138,36 MW. [1]

2.1.2. Centrais Termoelétricas

Para a produção de energia elétrica, as centrais termoelétricas utilizam energia térmica proveniente da queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos (carvão, petróleo, gás natural). Sendo estes combustíveis fontes de energia primária não renovável, ao serem queimados irão possibilitar nestas centrais a rotação das turbinas, onde haverá a transformação de energia térmica em energia mecânica que após

recorrendo a alternadores, essa mesma energia mecânica será transformada em energia elétrica.

Existem na ilha da Madeira duas centrais termoelétricas. Até ao ano de 2013 ambas as centrais utilizavam fuelóleo como principal fonte de energia, tendo sido ultrapassada essa tendência em 2014 com a construção da terceira nave na central térmica da Vitória – Vitória III. Sendo esta dotada de motores dual-fuel, a fonte de energia primária utilizada passou a ser o gás natural. Constituindo assim uma fonte de energia menos poluente. [2]

2.1.2.1. Central Térmica da Vitória

Esta central assume-se como a maior central da ilha da Madeira e é responsável por cerca de 50% da energia elétrica produzida. É constituída por três naves: CTV I (6 grupos eletrogéneos), CTV II (9 grupos eletrogéneos) e CTV III (3 grupos eletrogéneos e uma turbina a vapor). Tendo chegado ao seu fim de vida útil, a CTV I encontra-se desclassificada, permanecendo assim só no ativo a CTV II e a CTV III.

Esta central é a instalação responsável pela regulação dos parâmetros da rede, como também da regulação da frequência da mesma. [2,3]



Figura 1 - CTV II



Figura 2 - CTV III

2.1.2.2. Central Térmica do Caniçal

A central térmica do Caniçal é uma central de cogeração situada na Zona Franca Industrial. Tem como principal atividade a produção elétrica com origem térmica e como atividade secundária, o fornecimento de vapor a alguns consumidores da mesma zona industrial.

Esta é uma central pertencente à empresa *Atlantic Island Electricity SA*. Possui três grupos, totalizando uma potência instalada de 36MW, em que a totalidade da energia elétrica produzida é fornecida à EEM que posteriormente a transporta e distribui. [4]



Figura 3 - Central térmica do Caniçal

2.1.3. Centrais Hidroelétricas

Centrais hidroelétricas consistem no aproveitamento da energia contida nas grandes massas de água para produzir movimento em turbinas acopladas e em grupos turboalternadores. Através do movimento destes, é gerada energia elétrica.

A energia produzida nestas centrais apresenta vantagens fundamentais, nomeadamente o facto de ser renovável e não poluente. A existência deste tipo de produção de energia não dispensa o investimento noutras formas energéticas tendo em conta que o seu processo de produção está diretamente dependente das condições atmosféricas, nomeadamente a chuva. Este tipo de fonte de energia é não controlável

e não está presente durante todo o ano, existindo sempre um maior armazenamento de massa de água no Inverno.

Ligadas à rede elétrica regional estão dez centrais hidroelétricas, sendo que a sua contribuição na produção total anual, oscilou entre os doze e os trinta por cento nos últimos anos. [5]

2.1.3.1. Central Hidroelétrica da Serra de Água

Esta é uma central que faz parte da primeira fase de aproveitamentos hidroagrícolas realizados durante a década de cinquenta, tendo funcionado muitos anos como uma central de compensação regulando vários parâmetros na rede elétrica, nomeadamente a frequência da mesma. Tal não acontecendo nos dias de hoje, pois esta mesma compensação e regulação é realizada pela Central Térmica da Vitória.

No presente a Central da Serra de Água funciona como central de base hidroelétrica contribuindo normalmente com a sua potência máxima nas horas de ponta e regimes hidráulicos de inverno. Sendo uma central de fio-de-água dotada de dois grupos geradores com turbinas tipo Pelton, onde a potência total instalada é de 4,8MW e onde a altura de queda é aproximadamente 430m. [6]



Figura 4 - Central hidroelétrica Serra de Água

2.1.3.2. Central Hidroelétrica da Calheta I

Tendo sido igualmente integrada na primeira fase de aproveitamentos hidroagrícolas, esta central teve durante muito tempo a base de produção de eletricidade da ilha da Madeira juntamente com a Central hidroelétrica da Serra de Água.

Está equipada com quatro grupos geradores equipados com turbinas Pelton. Para os quatro grupos estão associadas três diferentes quedas. A potência instalada nesta central é de 4,5MW. [7]



Figura 5 - Central hidroelétrica da Calheta I

2.1.3.3. Central Hidroelétrica da Calheta II

Tendo como objetivo o aproveitamento dos caudais excedentários ao abastecimento público e garantidos pelos caudais já turbinados na central da Calheta I, em 1992 a central da Calheta II foi construída. Esta central também conhecida como central da Calheta de Inverno está equipada apenas com um grupo gerador com uma potência instalada de 7MW e tem uma contribuição anual de cerca de 20GWh. Após o aproveitamento da água turbinada pela central da Calheta I é contabilizada uma queda útil de cerca de 610 metros até à turbina tipo Pelton. [8]



Figura 6 - Central hidroelétrica da Calheta II

2.1.3.4. Central Hidroelétrica dos Socorridos

Considerada uma das maiores obras hidráulicas da região, esta central tem simultaneamente três grandes objetivos sendo estes: o abastecimento de água ao Funchal e a Câmara de Lobos, a regularização dos caudais de rega e por fim a produção de energia elétrica.

Esta central de fio-de-água está equipada com três turbinas Pelton. Com potência instalada de 24MW e uma queda útil de 457 metros. Tem uma contribuição anual de cerca de 40 GWh.

A complementar o funcionamento da Central Hidroelétrica, a Estação de Bombagem dos Socorridos tem como principal objetivo garantir a disponibilidade da Central (24MW) durante todo o ano, especialmente nos meses de verão em que os caudais afluentes são nulos, uma vez que são totalmente utilizados para o abastecimento público.

Com uma reserva estratégica de água de cerca de 40.000 m³ no Túnel do Covão à cota 547 m, esta é turbinada nas horas de ponta, sendo acumulada numa galeria com a mesma capacidade na Estação de Bombagem à cota 85 m. Durante a noite e nos períodos de vazio, a água é colocada de novo no Túnel do Covão, em regime de bombagem pura, para início de novo ciclo.

A estação de bombagem está equipada com três bombas de cerca de 3.750 kW de potência unitária, mais uma de reserva, sendo o período de bombagem de cerca de 6 horas para a totalidade dos caudais acumulados. [9]



Figura 7 - Central hidroelétrica dos Socorridos

2.1.3.5. Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira

A central da Fajã da Nogueira entra em funcionamento em 1971 tendo sido construída na segunda fase do plano hidroagrícola. Caracteriza-se como uma central fio-de-água tendo instaladas duas turbinas Pelton com uma potência máxima de 2,4MW e uma altura de queda de água de 348 metros. [10]



Figura 8 - Central hidroelétrica da Fajã da Nogueira

2.1.3.6. Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela

Tendo sido esta central construída junto ao mar, na foz da ribeira, não é possível o reaproveitamento da água para irrigação ou para segundo patamar de produção. Começou a sua produção em 1965 contando com 3 MW de potência instalada. É uma central equipada com duas turbinas Pelton, sendo a sua queda útil de aproximadamente 400 metros. A central hidroelétrica da Ribeira da Janela tem uma contribuição para a rede elétrica de cerca de 8 GWh. [11,12]



Figura 9 - Central hidroelétrica da Ribeira da Janela

2.1.3.7. Central Hidroelétrica do Lombo Brasil

A central do Lombo do Brasil é a mais pequena central da rede da Empresa de Eletricidade da Madeira possuindo uma potência de 150 kW. É uma central mini-hídrica que utiliza caudais captados em galeria para os abastecimentos públicos e o seu modo de funcionamento é automático e não acompanhado sendo a sua energia debitada na subestação da central da Calheta. [13]



Figura 10 - Central hidroelétrica do Lombo Brasil

2.1.3.8. Central Hidroelétrica da Fajã dos Padres

Esta central é um aproveitamento hidroagrícola de iniciativa privada, tendo sido contruída através de apoios comunitários e explorada pela EEM.

A central hidroelétrica da Fajã dos Padres funciona em modo automático e não acompanhado, arrancando quando há água disponível e suspendendo o seu funcionamento na sua ausência. Utiliza caudais excedentes recolhidos no Canal do Norte e mergulhando-os quase na vertical, numa conduta com aproximadamente 300 metros fixados na falésia. Tem instalado um único grupo de 1700 kW. [14]



Figura 11 - Central hidroelétrica da Fajã dos Padres

2.1.3.9. Central Hidroelétrica de Santa Quitéria

A Central de Santa Quitéria é uma central de fio-de-água com uma potência instalada de 1,7 MW. É uma central que turбина água bruta proveniente da câmara de carga do Covão onde após a produção de energia elétrica, é posteriormente repartida para a ETA de Santa Quitéria e para fins de rega. [15,16]

2.1.3.10. Central Hidroelétrica da Terça

A central Hidroelétrica da Terça iniciou a sua produção em 1999 e possui uma potência instalada de 0,8 MW. É uma central fio-de-água equipada com uma turbina alimentada através da Ribeira da Terça. [15]

2.1.4. Parques Eólicos

São utilizados na sociedade diversas formas de energia renovável desde há muito tempo. As aplicações mais conhecidas e tradicionais são as azenhas que aproveitam a energia potencial inerente a um desnível e queda de água, os moinhos de vento e barcos à vela, estes usufruem da energia presente nas camadas de ar em movimento.

O movimento causado pelo vento, quando este através da sua força faz girar turbinas com pás semelhantes às de uma hélice de avião, é denominado como energia eólica. O movimento assim obtido é transmitido por um veio até a um gerador instalado no topo de torres de suporte que por sua vez irá produzir energia elétrica.

Na Região Autónoma da Madeira existem onze parques eólicos ligados à rede. Sendo que destes parques nove estão localizados na ilha da Madeira e dois na ilha do Porto Santo. Os onze parques eólicos na ilha da Madeira totalizam uma potência instalada de 45,11 MW. [1,17]

2.1.4.1. Parque Eólico da Bica da Cana

Entrando em funcionamento em 2013, este parque eólico possui um aerogerador de 3MW sendo propriedade da empresa ENERGÓLICA, SA. [18, 19]

2.1.4.2. Parque Eólico do Caniçal

O parque eólico do Caniçal iniciou a sua produção em 1993, contando hoje em dia com seis aerogeradores de 150 kW. Contabilizando uma potência nominal total de 900 kW. [18, 19]

2.1.4.3. Parque Eólico do Juncal

Sendo propriedade da empresa PERFORM3 – Parques Eólicos, Lda, entrou em funcionamento em 1992 e conta com uma potência total de 8,06 MW. Possui 18 aerogeradores, sendo que desses dezoito, quatro são 1500 kW, dois de 130 kW e doze de 150 kW. [18, 19]



Figura 12 - Parque eólico do Juncal

2.1.4.4. Parque Eólico do Loiral

Este parque pertence à empresa ENEREM – Energias Renováveis, Lda e está em funcionamento desde 2009. Neste momento conta com seis aerogeradores de 850 kW, contabilizando uma potência total de 5,1 MW. [18, 19]



Figura 13 - Parque eólico do Loiral

2.1.4.5. Parque Eólico do Loiral II

O parque eólico do Loiral II pertence igualmente à ENEREM – Energias Renováveis, Lda e dispõe de uma potência total de 6 MW distribuídas por dois aerogeradores de 3 MW. Este parque iniciou a sua produção em 2011. [18, 19]



Figura 14 - Parque eólico do Loiral II

2.1.4.6. Parque Eólico do Paul da Serra

O parque eólico do Paul da Serra totaliza uma potência de 6 MW, tendo quatro aerogeradores de 1,5 MW da marca Eozen-Vensys, tendo entrado em funcionamento em 2010. [18, 19]



Figura 15 - Parque eólica do Paul da Serra

2.1.4.7. Parque Eólico do Paul da Serra (ENEREEM)

Sendo este parque propriedade da ENEREEM – Energias Rneováveis, Lda, entrou em funcionamento em 2003 e dispõe de uma potência total de 3,3 MW. É constituído por cinco aerogeradores VESTAS com uma potência nominal de 0,66 MW. [18,19]



Figura 16 - Parque eólico do Paul da Serra (ENEREEM)

2.1.4.8. Parque Eólico de Pedras

O parque eólico das pedras está em funcionamento desde 2009. Possui doze aerogeradores de 0,85 MW de potência unitária, respetivos controladores e postos de transformação, dispondo assim de uma potência total de 10,2 MW. Os aerogeradores foram equipados com sistemas de regulação das pás do tipo *pitch control* e de redução e/ou absorção das oscilações de potência com o objetivo de garantir a estabilidade da rede. [18, 19]



Figura 17 - Parque eólico de Pedras

2.1.4.9. Parque Eólico Quinta do Lorde

O parque eólico da Quinta do Lorde começou a sua produção em 2009 e dispõe de uma potência total de 2,55 MW. Este parque é constituído por 3 aerogeradores cada um de 0,85 MW da marca VESTAS. [18,19]

2.1.5. Parques Fotovoltaicos

Na utilização das tecnologias solares fotovoltaicas é possível a transformação direta da radiação solar em energia elétrica. A radiação solar é convertida em energia elétrica em sistemas fotovoltaicos por intermédio de materiais semicondutores, sendo o mais comum destes materiais o silício. Estes semicondutores são configurados em elementos denominados células fotovoltaicas.

A radiação solar ao incidir nestas células fotovoltaicas provoca a interação entre os eletrões, gerando assim eletricidade. Quanto maior a intensidade dessa radiação maior será o fluxo de eletricidade.

Nos painéis fotovoltaicos é produzido através de um campo solar eletricidade em corrente contínua que posteriormente ao passar por um inversor é transformada em corrente alternada. Após a realização deste processo é possível a injeção da mesma na rede pública.

Na ilha da Madeira existem três parques fotovoltaicos, sendo um localizado no Caniçal e dois no Paul da Serra. Ao todo, estes parques fotovoltaicos contabilizam uma potência instalada de cerca de 15,8 MW. [20, 21]

2.1.5.1. Parque Fotovoltaico do Caniçal

Tendo entrado em funcionamento em 2010, o parque fotovoltaico do Caniçal pertencente ao grupo Formentivest compreende uma potência total instalada de 6,6 MW. [22]



Figura 18 - Parque fotovoltaico do Caniçal

2.1.5.2. Parque Fotovoltaico do Paul

O parque fotovoltaico do Paul dispõe de uma potência total de 2 MW. Começou a sua produção em 2012 e é pertença da empresa Paúl Solar, Energias Fotovoltaicas da Madeira, S.A. [22]



Figura 19 - Parque fotovoltaico do Paul

2.1.5.3. Parque Fotovoltaico do Loiral

Sendo o maior parque fotovoltaico da Região Autónoma da Madeira. Entrou em funcionamento em 2012 e pertence à empresa PV Loiral – Produções de Energia, Unipessoal, Lda. O parque tem uma potência instalada de 7,2 MW. [22]



Figura 20 - Parque fotovoltaico do Loiral

2.1.6. Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

2.1.6.1. Instalação de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos

Esta instalação tem como objetivos a valorização energética de resíduos urbanos, através de um processo controlado e automatizado que, ao realizar o tratamento dos resíduos termicamente possibilita a produção de energia elétrica.

A energia elétrica produzida pela IIRSU é assegurada pelo grupo turbogerador, tendo uma capacidade nominal de 8 MWh. Sendo parte da energia produzida utilizada para autoconsumo na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos, enquanto que o remanescente é direcionado para a rede de distribuição pública, ou seja, é vendida à Empresa de Eletricidade da Madeira.

No último ano foram fornecidos pela Estação da Meia Serra à EEM, cerca de 35 GWh, sendo este valor transmitido em 5,7% da emissão de energia por fonte de energia primária. Permitindo assim o abastecimento energético de aproximadamente 38 mil habitantes, constituindo assim 15% da população da Região. [1, 23,24]



Figura 21 - Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

2.1.7. Consumo de Energia Elétrica

No gráfico 2 são indicadas as emissões de energia na rede elétrica da Madeira por fonte de energia primária:

No ano de 2017 a componente hidroelétrica teve uma contribuição de 77,56 GWh, podendo este valor ser traduzido para uma emissão de 9,3% do total emitido por fonte de energia primária.

Analisando a componente eólica, esta representa um total de emissão de 83,11 GWh, havendo então uma participação de 9,9% desta fonte de energia primária neste mesmo ano. Tendo sido este último mais favorável em termos de recurso como também de menores constrangimentos de receção pela rede, por motivos de segurança e estabilidade dinâmica do sistema elétrico.

Observando a componente solar, esta apresenta uma emissão de 3,6% sendo este valor representativo de 29,78 GWh da emissão total de energia na RAM.

Analisando agora a energia proveniente de combustíveis fósseis, foi registado uma emissão total por fonte de energia de 71,5%.

Assim o mix energético para a rede a ter origem fontes de energia não fósseis atingiu 28,5%. Tendo assim uma contribuição de 9,9%, 9,3%, 5,7%, e 3,6%, nas componentes eólica, hídrica, resíduos e fotovoltaica, respetivamente. [1]

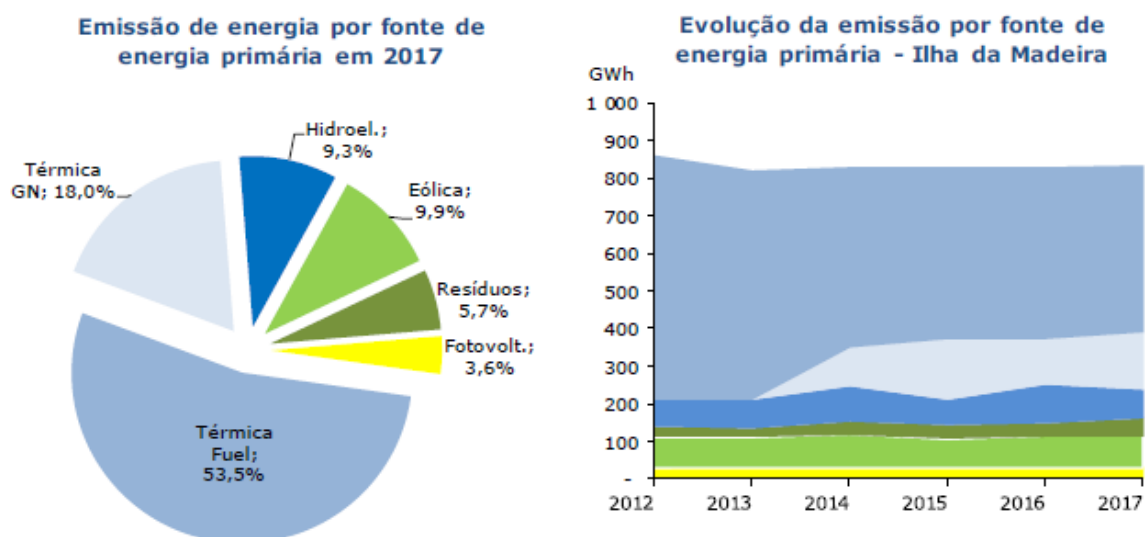


Gráfico 2 - Emissão por fonte de energia primária - Evolução da emissão por fonte de energia

2.1.7.1. Diagrama de Cargas

No gráfico 3, apresentam-se os diagramas de carga típicos por estação do ano, referentes à emissão. Estes diagramas são referentes ao ano de 2017.

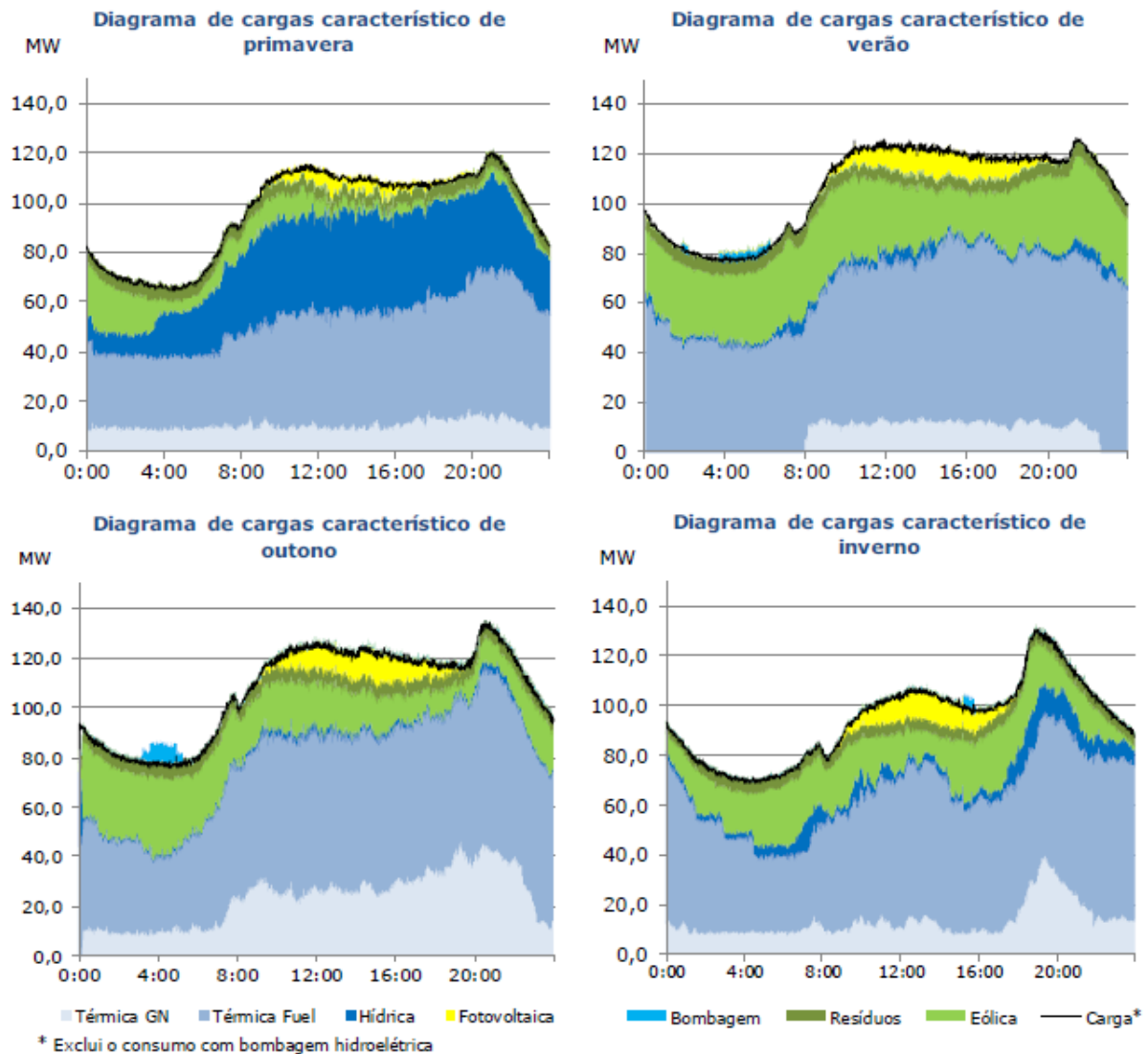


Gráfico 3 - Diagramas de carga (Estações)

Por observação dos diagramas de carga nota-se uma ponta muito pronunciada no outono e no inverno, ocorrendo estas entre as 20h00/21h00 e por volta das 18h00/20h00 respetivamente. Realizando a mesma observação para a estação de

verão, nota-se os consumos elevados entre as 11h00 e as 12h00 e entre as 20h00 e as 22h00, sendo estes sensivelmente equivalentes.

Em análise do diagrama de cargas concluímos que a fonte de energia renovável mais afluente na maior parte do ano é a energia eólica, sendo que esta, na estação de primavera tem uma pequena contribuição, onde é dado mais uso à energia hídrica por ser mais abundante. [1]

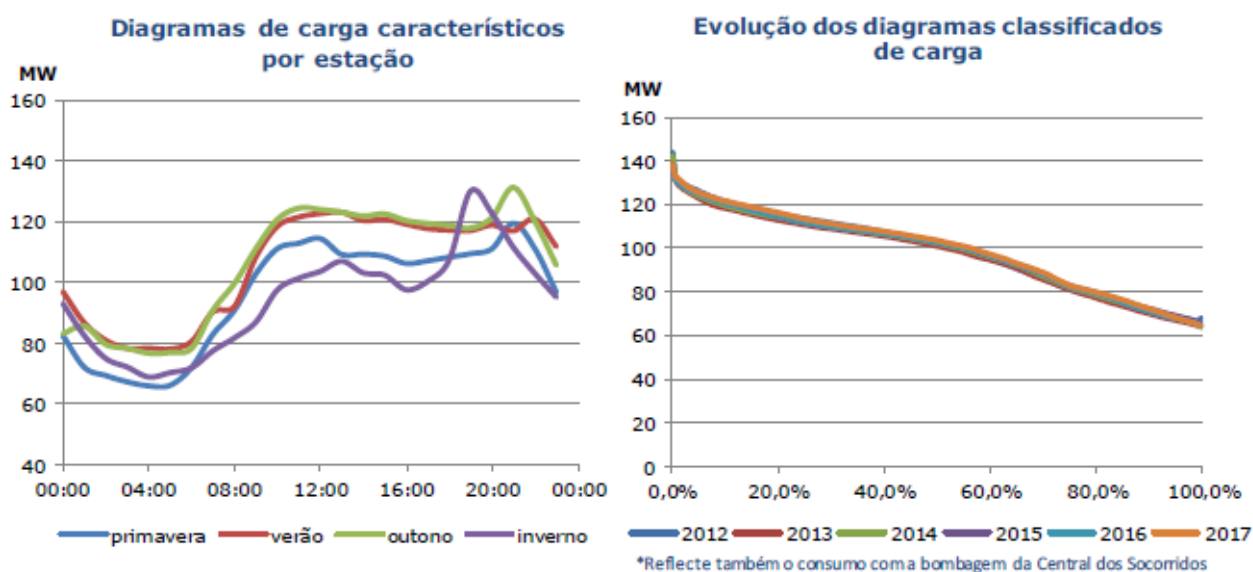


Gráfico 4 - Diagramas de carga - Evolução do diagrama de classificados de cargas

Observa-se na evolução dos diagramas, uma ligeira tendência decrescente das cargas entre os anos 2012 e 2016, havendo uma ligeira estabilização em 2016. Os anos de 2016 e 2017 apresentam uma inflexão positiva de evolução de carga, com uma taxa de 0,7%.

Capítulo III

3. Veículos Elétricos

O veículo elétrico é a melhor solução de mobilidade tendo em consideração os aspetos ambientais, nomeadamente aquecimento global, a qualidade do ar e a dependência que existe nos combustíveis fósseis.

Diferenciando-se dos veículos usuais pelo facto de utilizarem um sistema de propulsão elétrica em vez da comum combustão interna.

O motor elétrico utiliza energia química armazenada em baterias recarregáveis sendo esta depois convertida em energia elétrica, alimentando assim o motor que depois fará a conversão em energia mecânica, possibilitando o movimento do veículo.
[25]

3.1. Veículos elétricos – História

O conceito de veículo elétrico não é propriamente recente. Os primeiros veículos elétricos foram desenvolvidos durante os anos iniciais da indústria automóvel. Considera-se que o primeiro veículo elétrico tenha sido construído na década de 1830, tendo outros sido fabricados nos anos seguintes. No que diz respeito a automóvel elétrico real, este surgiu em 1891 na oficina de William Morrison, de Des Moines, em Iowa. Ao longo dos anos que se seguiram, os automóveis elétricos continuaram a ter uma considerável expansão. Na cidade de Nova Iorque existia uma frota de mais de 60 táxis elétricos. Em 1900 os carros elétricos estavam no seu apogeu, representando cerca de um terço de todos os veículos nos Estados Unidos. Contudo, quando Henry Ford introduz o seu Modelo T com motor de combustão no mercado, sendo este vendido a metade do preço de qualquer veículo elétrico existente na altura, o carro elétrico caiu em declínio. Em 1920 o carro elétrico havia praticamente desaparecido. O desenvolvimento das vias de comunicação, a necessidade de maior autonomia dos veículos para viagens mais longas e o peso a nível financeiro, foram fatores decisivos na transição para os veículos com motor a combustão.

Na década de 1970 com a preocupação ambiental e o aumento dos preços da gasolina, é impulsionado o desenvolvimento do veículo elétrico. Sendo o EV1 da General Motors (GM) um dos carros elétricos mais conhecidos desta fase, a marca projetou e desenvolveu o seu veículo a partir do zero. Inicialmente este modelo foi

produzido com uma bateria chumbo-ácido, tendo sido em 1999 substituída por uma bateria de níquel-hidreto metálico (NiMH), que tinha um melhor desempenho no seu carregamento.

Com este novo reaparecimento dos veículos elétricos, vários outros fabricantes se juntaram ao EV1. Havendo um novo começo para os carros elétricos.

No início do século XXI houve um impulsionamento e elevado interesse na produção em massa de veículos elétricos. Podem ser caracterizados dois eventos como principais estímulos para este novo começo. O primeiro, acontece em 1997 no Japão com a produção em massa do primeiro veículo elétrico híbrido, o Toyota Prius. No ano 2000 o Prius foi lançado mundialmente, este lançamento tornou a ideia de uma mobilidade mais ecológica cada vez mais real. Os Toyota Prius são lançados com baterias de hidrato metálico de níquel. O segundo evento que ajudou a relançar os veículos elétricos e a sua indústria, foi o anúncio em 2006 da empresa *Tesla Motors* que afirmou a produção de carros elétricos desportivos de luxo com autonomias superiores a 200 quilómetros, com uma única carga. Em 2010, a Tesla recebe um empréstimo de 465.000.000 dólares do departamento de Energia dos EUA para a construção de uma fábrica no estado da Califórnia. Com este anúncio por parte da *Tesla Motors* e o seu sucesso, fez com que muitos outros fabricantes de automóveis, nomeadamente a Nissan, a Renault, VW, Kia e BMW, direcionassem e acelerassem os trabalhos para o âmbito dos veículos elétricos.

Podemos considerar um terceiro estímulo, sendo este o crescente aumento dos preços dos combustíveis e crescente preocupação com a poluição, nomeadamente as emissões de dióxido de carbono (CO₂). Em 2015 realizou-se o Acordo de Paris, que consiste na contenção do aquecimento global do planeta, ao reduzir as emissões de gases com efeito de estufa. Este acordo foi negociado por 195 países, e até ao momento tendo sido ratificado por 147, onde estes se comprometeram a mitigar as alterações climáticas. [26, 27, 28]

3.2. Tipos de Veículos Elétricos

3.2.1. *Battery Electric Vehicle* (BEV)

Este tipo de veículo elétrico, utiliza somente o motor elétrico e baterias e não tem o suporte do tradicional motor de combustão. Este veículo tem como meio principal de carregamento uma fonte externa de eletricidade (rede elétrica). Como todos os veículos

elétricos, BEV's utilizam para recarregamento das baterias um processo de regeneração da energia de travagem. No processo de travagem do veículo é libertada energia cinética. O sistema de regeneração da energia de travagem utiliza este potencial, carregando a bateria através da energia elétrica produzida a partir da energia cinética libertada em regime de desaceleração ou travagem. Este tipo de veículo é também conhecido como veículo elétrico 100% puro, VE ou BEV. [29, 30]

3.2.2. Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Veículos elétricos híbridos têm como impulsionadores tanto um motor elétrico (EM) como um motor de combustão interna (ICM).

Este veículo não utiliza uma fonte externa de eletricidade para o carregamento das baterias. Estas são carregadas pela geração de energia elétrica através do processo de travagem do próprio veículo, ou seja, pelo processo de regeneração da energia de travagem.

Ao iniciar a marcha o veículo elétrico híbrido utiliza somente o motor elétrico, e com o aumento da velocidade o motor de combustão entra em funcionamento. Ambos os motores são controlados por um computador interno que assegura uma prestação mais económica do veículo. [29]

3.2.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

Estes veículos igualmente híbridos, têm a particularidade de possuírem uma bateria que pode ser recarregada pela fonte externa de eletricidade (rede elétrica), mas também pelo motor de combustão interna do veículo e pelo processo de regeneração da energia de travagem. O motor de combustão para além de poder recarregar as baterias, pode substituir o motor elétrico quando as baterias estão com falta de carga.

Ao contrário dos HEV, os PHEV têm a possibilidade de utilizarem somente o motor elétrico para curtas distâncias, antes da entrada de funcionamento do motor de combustão. [29, 30]

3.3. Vantagens dos Veículos Elétricos

Com o passar dos anos, tem sido registada uma crescente melhoria no que concerne os veículos elétricos. Existem diversas vantagens diretamente associadas ao veículo elétrico, desde fatores financeiros a fatores ambientais. E é cada vez mais notória a aceitação exponencial deste meio de transporte e é possível a sua verificação no número de VE vendidos nos últimos anos.

Os veículos elétricos apresentam um menor custo por quilómetro do que os veículos a combustão (cerca de um terço dos custos destes). Os veículos elétricos utilizam entre 0,1 a 0,23 kW/h por quilómetro enquanto que a média de consumo equivalente para um veículo a combustão é de 0,98 kW/h por quilómetro, sendo assim menos eficiente que um veículo elétrico.

A nível ambiental, o veículo elétrico é a melhor solução 100% zero-emissões presente no mercado. Estando subentendido que zero-emissões significa zero ruídos, zero emissões de gases efeito de estufa, e zero emissões de poluentes.

Os veículos elétricos proporcionam uma experiência de condução caracterizada por uma deslocação mais suave e silenciosa. Tal é possível pela ausência de diversas peças móveis no motor, do ruído da combustão e pela ausência do sistema de escape, sendo esta uma das principais fontes de ruído num automóvel.

Os veículos elétricos são caracterizados pelo menor custo de utilização quando comparados com os veículos de combustão. Sendo o custo da energia elétrica dependida por veículos elétricos com um sistema de armazenamento de energia em baterias, correspondente a um terço do valor do custo do combustível utilizados por veículos com motores de combustão interna sendo considerada a mesma distância percorrida e em condições idênticas de utilização. Podemos ainda ter em conta o menor custo de manutenção já que estes não necessitam de mudanças de óleo frequentes e outras operações de manutenção pois os motores possuem menos peças móveis.

A travagem regenerativa utiliza o facto de um motor elétrico poder funcionar como gerador tanto em regime de desaceleração como de travagem, sendo a energia assim produzida utilizada para recarregar as baterias, ou seja, o veículo devolve energia ao sistema.

Os automóveis elétricos nos dias de hoje, beneficiam de diversos impostos tais como o ISV e imposto de circulação. Também existem diversos governos que oferecem benefícios para conseguirem uma maior penetração dos veículos elétricos.

Para a avaliação completa das emissões de gases de efeito de estufa e de poluentes associados importa referir também o modo como a energia elétrica é produzida, designadamente as fontes de energia utilizadas e os poluentes libertados durante o processo respetivo. Na Ilha da Madeira cerca de 25% da energia produzida é de origem renovável, e um aumento significativo do consumo total de energia elétrica permitirá aumentar esta percentagem. [31, 32]

3.4. Alimentação de Instalações e de Veículos Elétricos

O carregamento dos veículos elétricos consiste no processo de reposição de energia química nas baterias do veículo elétrico. Este carregamento em regra, deve ser feito nos locais dedicados para o efeito, sendo que as respetivas canalizações elétricas devem ser dimensionadas de maneira a não interferirem com as restantes instalações afetas a outros serviços. Tal é executado e realizado para garantir uma maior segurança nas operações de carregamento.

Nos parques de estacionamento onde o carregamento dos VE seja efetuado nas zonas dedicadas para o efeito, é necessário ter em consideração um número mínimo de lugares destinados para o carregamento destes mesmos veículos. Pode ser obtido, o número mínimo de lugares para esses parques, através da seguinte expressão:

$$N = 0,9 + 0,1 \times n \quad (3.1)$$

onde n é o número de lugares de estacionamento total do parque.

No caso de parques de estacionamento de grande dimensão, com capacidade superior a 400 veículos, o número de lugares destinados ao carregamento de veículos elétricos (N) pode ser limitado a 40.

As instalações para o carregamento de veículos elétricos, devem ser dimensionadas para o número de lugares assim obtidos. Após a obtenção do número de lugares de estacionamento para o carregamento dos VE, é necessário a multiplicação pela potência unitária de 3 680 VA, por ponto de conexão de VE sendo aplicado um fator de simultaneidade igual a 1. Para os postos de carregamento (PC) rápido, deve ser considerada a sua potência e não o valor de 3 680 VA.

No caso de instalações elétricas para o carregamento de veículos elétricos em parques de estacionamento de edifícios de habitação multifamiliar, o carregamento de

VE pode ser feito nos lugares de estacionamento afetos a cada utilizador. Estabelecendo assim uma exceção à regra acima descrita. [33]

3.4.1. Carga e Carregadores VE

A carga do veículo elétrico consiste no conjunto de todas as funções que são necessárias para a realização da conversão da tensão e da frequência da alimentação num nível adequado de modo a garantir uma carga correta da bateria de tração do VE. Estas mesmas funções, asseguram o fornecimento de energia aos elementos da bateria de tração do VE, para o funcionamento controlado dos equipamentos elétricos no interior do veículo, garantindo assim uma transferência correta de energia.

Carregadores de veículos elétricos, são equiparáveis às bombas de combustíveis utilizadas pelos veículos convencionais a combustão. As estações de carga para veículos elétricos e híbridos *plug-in* são equipamentos que permitem, devido aos seus componentes, uma conversão de energia, garantindo as funções necessárias à carga de uma bateria. Estes equipamentos são projetados com vista a que o carregamento dos VE seja realizado de uma maneira mais segura e eficaz do que um sistema simples residencial. [33]

3.4.2. Carregamento de veículos elétricos

Nesta secção, são apresentadas infraestruturas e modos de carregamento para os veículos elétricos (BEV e PHEV). Estes veículos possuem quatro modos de carregamento distintos, sendo estes definidos na norma internacional EN 61851-1:2011. O modo de carregamento três foi especificamente desenvolvido e recomendado pelos fabricantes de veículos elétricos sendo o mais comum nos postos de carregamento. Os carregamentos nos respetivos modos de carga têm uma duração variável estando diretamente associado ao fabricante dos veículos e da instalação elétrica da infraestrutura de carregamento.

Os atuais modos de carga e carregamento dos veículos elétricos são os seguintes:

3.4.2.1. Modo de carga 1

Ligação do veículo elétrico por meio de tomadas normalizadas, tipo Schuko com norma de fabrico NP 1260, de corrente estipulada permanente não superior a 10 A, ou tomada industrial de acordo com a norma IEC 60309, de corrente estipulada não superior a 16 A e de tensão estipulada não superior a 250 V, em circuitos monofásicos, ou a 480 V, em circuitos trifásicos. O circuito de alimentação é constituído por condutores de fase, neutro e proteção. Este modo de carregamento realiza-se usualmente num sistema monofásico que utiliza 230 V, não excedendo a potência de 3 kW. [33, 34]

3.4.2.2. Modo de carga 2

Ligação do veículo elétrico por meio de tomadas normalizadas. Consiste numa ligação a tomadas domésticas tipo Schuko com norma de fabrico NP 1260, ou tomada industrial de acordo com a norma IEC 60309, de corrente estipulada não superior a 32 A e de tensão estipulada não superior a 250 V, em circuitos monofásicos, ou a 480 V em circuitos trifásicos. O circuito de alimentação é constituído por condutores de proteção com uma função piloto, e com um sistema de proteção das pessoas contra os choques elétricos por meio de um dispositivo diferencial (DR) localizado entre o veículo elétrico e a ficha ou na caixa de controlo integrada no cabo. Este modo de carregamento pode ter uma duração compreendida entre 6 a 12 horas, é normalmente mais demorado do que o modo de carga 3.

O carregamento realizado através de tomadas domésticas, utiliza 10 A enquanto que o carregamento efetuado através de tomadas industriais, compatíveis com a carga de VE em modo 2 utiliza até 32 A. [33, 34]

3.4.2.3. Modo de carga 3

O modo de carga 3, segundo a norma EN/NP61851, é um sistema de fornecimento de energia em corrente alternada, especificamente desenvolvido para veículos elétricos com o objetivo de aumentar a segurança do processo de carregamento de um veículo elétrico e reduzir o risco decorrente de eventuais erros. Este modo consiste na ligação direta do VE à instalação elétrica por meio de um SAVE dedicado, onde a função piloto se estende aos aparelhos de controlo localizados no interior do SAVE, que são permanentemente alimentados pela instalação elétrica. O modo de carga 3 possui um tempo de carregamento inferior aos modos de carga 1 e 2, podendo este demorar entre 2 a 8 horas a abastecer por completo as baterias do VE. O carregamento por este modo de carga é realizado usualmente num sistema monofásico, que utiliza 230 V, 16 A ou 32 A e uma potência de aproximadamente 3,6 kW ou 7,3 kW.

Na tabela seguinte são apresentados três tipos de ligações para este modo de carregamento. Estes três tipos de ligações, sistema de tomada e ficha, foram desenvolvidos de acordo com a norma internacional IEC 62196. [33, 34]

Modo de Carga 3	
Tipos de Ligação	Descrição
Tipo 1: "Yazaki"	Sistema monofásico, de corrente até 32 A e tensão de 250 V. Sistema de tomada e ficha com cinco pinos (Fase, neutro, proteção, detetor de inserção e piloto de controlo)
Tipo 2: "Mennekes"	Sistema monofásico até 70 A ou trifásico até 63 A por fase e tensão de 500 V. Sistema de tomada e ficha com sete pinos (3 fases, neutro, proteção, detetor de inserção e piloto de controlo).
Tipo 3: "Scame"	Sistema monofásico ou trifásico, até 32 A por fase e tensão de 500 V. Sistema de tomada e ficha com 5 ou sete pinos (1 ou 3 fases, neutro, proteção, detetor de inserção e piloto de controlo).

Tabela 3 - Tipos de ligação (Modo 3)



Figura 22 - Tomada tipo 1 - "Yazaki" [35]



Figura 23 - Tomada tipo 2 - "Mennekes" [36]



Figura 24 - Tomada tipo 3 - "Scame" [37]

3.4.2.4. Modo de carga 4

Ligação do VE à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de um carregador externo onde a função piloto se estende aos aparelhos ligados em permanência à instalação. Como exemplo do modo 4 temos os carregadores rápidos DC que alimentam a bateria do veículo diretamente em DC, fazendo o *bypass* do carregador de bordo. O modo de carga 4, está presente em postos de carregamento rápido e está regulamentado pela norma japonesa IEC 61000 CHAdeMO. O tempo de duração deste modo de carregamento varia entre os 15 e 30 minutos, abastecendo 80% da capacidade da bateria. Estes tempos e capacidades dependem do veículo elétrico e do tipo de infraestrutura utilizada. Este carregamento rápido é realizado num sistema trifásico que utiliza até 400 V, utiliza 32 A, 63 A ou 100 A e uma potência que pode variar entre os 22kW e os 50 kW. Durante o período de carregamento, é o veículo elétrico que controla o carregador através da comunicação presente no cabo, evitando assim riscos e perigos de o carregador injetar corrente de forma nociva para o veículo. Este tipo de tomada para além da alimentação faz também a transmissão de dados, permitindo assim o controlo do carregamento através da transmissão de parâmetros e medições da bateria como também o cumprimento dos requisitos de segurança quando colocado o carregador em tensão. [33, 34]

Este protocolo segue uma sequência de procedimentos para o carregamento do veículo elétrico, podendo estes serem descritos em três fases:

- **Preparação para o carregamento:** São verificadas as condições de compatibilidade do veículo com o carregador através da informação transmitida ao veículo. Após esta verificação e cumprimento da mesma, é bloqueada a tomada através de um pulso de tensão para testar o circuito, por forma a verificar se não existem problemas tais como curto-circuitos ou falhas de terra. [43]
- **Inicialização da fonte de alimentação:** Nesta fase o veículo elétrico calcula o valor de corrente máximo a que pode ser carregada a bateria tendo em conta parâmetros como a temperatura e estado de carga. Após verificadas todas as condições, o carregador fornece corrente constante, sendo este tendencialmente o valor anteriormente calculado pelo veículo. [43]
- **Fim de carregamento:** O VE envia sinais de corrente nula pelos canais de comunicação. Para a abertura da tomada e desbloqueio da mesma, o carregador pára o carregamento aguardando a receção de sinais de medição de corrente nula nas linhas de entrada do veículo. [43]

Na figura 25 são ilustrados os procedimentos descritos acima:

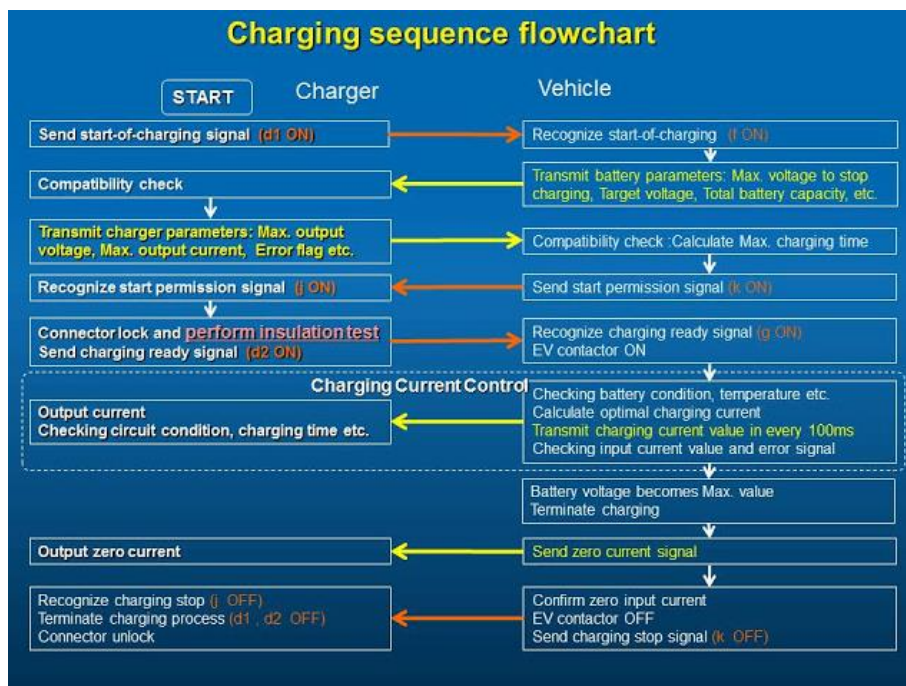


Figura 25- Procedimentos protocolo CHAdeMO [44]



Figura 26 -Tomada norma CHAdeMO [45]

Para este modo de carga é importante referir um outro modelo de carregamento, o COMBO (CCS). É um sistema que possui um conector que pode ser utilizado para sistemas em corrente alternada e corrente contínua ao contrário da tomada do sistema CHAdeMO.

3.4.3. Conexão entre o VE e o SAVE

O sistema de conexão de veículo elétricos, é o meio de realizar a conexão manual entre um cabo flexível e um VE com o objetivo de carregar as baterias de tração. [33]

3.4.3.1. Dispositivo com função de controlo

Dispositivo, eletrónico ou mecânico, que garante que são verificadas as condições de segurança ou de transmissão de dados requeridas para um determinado modo de carga. [33]

3.4.3.2. Dispositivo com função piloto

Dispositivo eletrónico ou mecânico, que estabelece as condições de segurança ou de transmissão de dados requeridas para um determinado modo de carga. [33]

3.4.3.3. Dispositivo com função de proximidade

Dispositivo eletrónico ou mecânico, existente num conector que indica a presença do conector móvel do veículo elétrico no veículo. [33]

3.4.3.4. Dispositivo de retenção

Dispositivo mecânico que mantém em posição a ficha ou a tomada móvel depois de corretamente introduzidas, impedindo a remoção involuntária. [33]

3.5. Posto de carregamento (PC)

Existem dois tipos de postos de carregamento de veículo elétrico. O primeiro, é o posto de carregamento em corrente alternada sendo constituído por um conjunto de equipamentos utilizados para o fornecimento de corrente alternada aos VE, instalados num único ou em vários invólucros assegurando funções especiais de controlo e comunicação. O segundo posto de carregamento, consiste em carregar o veículo elétrico por meio de corrente contínua, incluindo a carga por impulsos. Este é um

conjunto de todos os equipamentos utilizados para o fornecimento de energia em corrente contínua aos veículos elétricos, instalados num único ou em vários invólucros, assegurando funções especiais de controlo e de comunicação e localizado no exterior do veículo. [33]

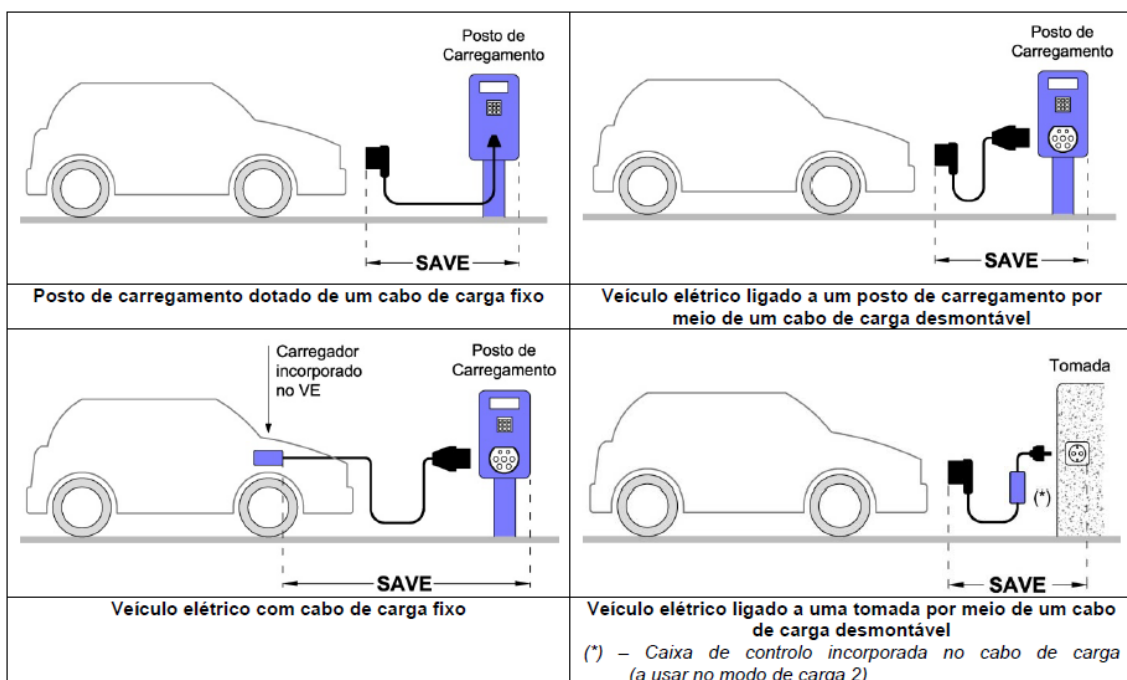


Figura 27 - Exemplos de SAVE

3.5.1. Casos de conexão

3.5.1.1. Caso A de conexão:

Conexão do veículo elétrico à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de um cabo de carga, que inclui a ficha, e que está ligado ao veículo de forma permanente, como pode ser observado na figura 28. [33]

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

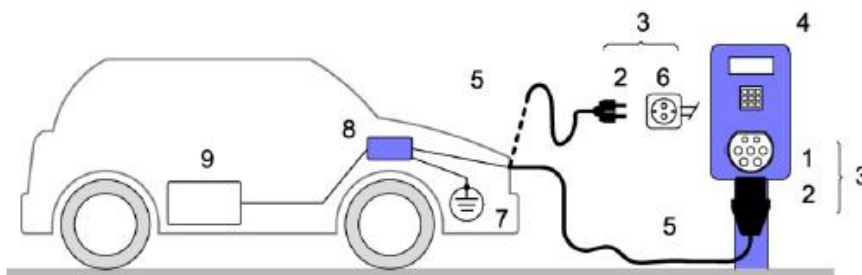


Figura 28 - Caso A de conexão

Legenda:

1. Tomada do posto de carregamento
2. Ficha
3. Sistema de ficha/tomada
4. Posto de carregamento
5. Cabo de carga
6. Tomada para usos domésticos ou industriais ou específica para a carga de VE
7. Ligador de massa do VE
8. Carregador integrado no VE
9. Bateria de acumuladores (bateria de tração) [33]

3.5.1.2. Caso B de conexão:

A conexão do veículo elétrico à instalação de alimentação em corrente alternada por meio de um cabo de carga que não está ligado ao VE de forma permanente. Este cabo de carga é constituído por conetor móvel do VE e o equipamento de alimentação em corrente alternada. Pode ser observado este modo de conexão na figura que se segue. [33]

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

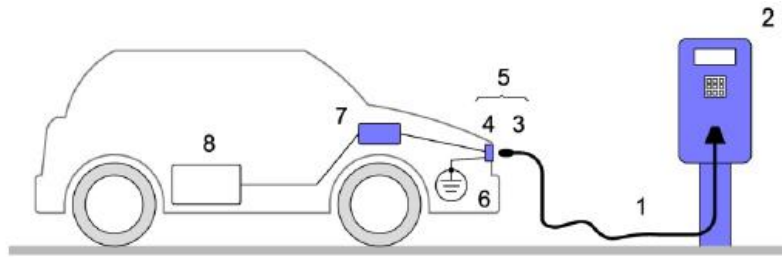


Figura 30 - Caso C de conexão

Legenda:

1. Cabo de carga
2. Posto de carregamento (PC)
3. Conector móvel do VE
4. Entrada de conector do VE
5. Sistema de conexão do VE
6. Ligador de massa do VE
7. Carregador integrado no VE
8. Bateria de acumuladores (bateria de tração) [33]

3.6. Tecnologias e tendências futuras para o carregamento de VE

Nesta seção irão ser apresentadas e descritas algumas das tecnologias e tendências futuras para o carregamento dos veículos elétricos, e que são as seguintes:

3.6.1. Sistema de carregamento por indução

Esta tecnologia de carregamento permite a transferência de energia através de um campo eletromagnético. Este tipo de conexão indutiva resume-se à existência de um primário e um secundário, assemelhando-se assim a um transformador. Esta tecnologia em desenvolvimento permite a transferência sem fios da energia de carregamento entre uma plataforma (podendo ser caracterizado como o lado primário) que estará ligada a uma fonte de alimentação a outra localizada na parte inferior do veículo (sendo caracterizada como secundário) que estará ligado ao carregador interno do veículo.

Este sistema possibilita um carregamento automático e seguro. Havendo já soluções para o carregamento indutivo capazes de carregar os veículos a uma potência

que poderá chegar aos 11 kW com um rendimento na ordem dos 90%. Os componentes para o carregamento indutivo colocados no veículo elétrico são constituídos por uma plataforma recetora, eletrónica de potência, controladores e interface homem-máquina para o melhor posicionamento entre o primário e o secundário. Através de uma tolerância de espaçamento compreendida entre os 10 e os 20 cm é garantida uma ideal transferência de energia entre a plataforma no solo e o veículo elétrico.

No presente caso de estudo, a uma potência de 11 kW, cada minuto de carregamento possibilita aproximadamente um quilómetro de autonomia de condução.

Estão associadas a este tipo de sistema de carregamento duas metodologias distintas, estático e dinâmico. A aplicação do modelo estático consiste num carregamento automatizado, num local de estacionamento, seja este público ou privado, onde o carregamento se inicia sem a necessidade do uso de cabos ou outros equipamentos. Analisando o modelo dinâmico, este corresponde ao carregamento do veículo elétrico enquanto este se desloca. Este carregamento facilita a realização de viagens de longa distância sem a necessidade de efetuar paragens para executar os carregamentos. A transferência de energia neste modelo, é realizada a altas frequências, fator este que obriga a existência de um conversor de frequência devido à pequena frequência que estará presente e disponível no sistema de alimentação (50Hz em Portugal). Analisando este fator, é notória a necessidade de uma maior complexidade em eletrónica de potência que irá traduzir num maior investimento e aumento considerável de custos. Foram já realizados testes neste âmbito, tendo a empresa Renault juntamente com a Qualcomm Technologies e a Vedecom concebido um sistema apto a carregar a 20 kW a velocidades não superiores aos 100 km/h numa pista com 100 metros de comprimento. [38, 39, 40, 41, 42]

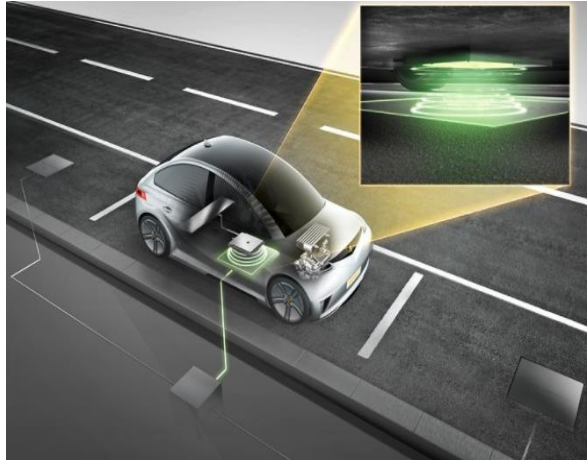


Figura 31 - Carregamento Indução estático



Figura 32 - Carregamento Indução Dinâmico

3.6.2. Integração com redes elétricas inteligentes – V2G

Métodos de carregamento apropriados são determinantes para a integração dos veículos elétricos na rede. Estes carregamentos podem ser feitos de forma direta e não inteligente, que consiste no carregamento imediato estando o veículo ligado a um posto de carregamento. O carregamento inteligente tem como principal foco o carregamento do veículo em circunstâncias mais benéficas, como por exemplo o preço da eletricidade atingir valores mais baixos ou quando a procura é menor, havendo assim excesso de produção. Tudo isto torna um tipo de carregamento promissor.

Este carregamento implica um certo controlo por parte do utilizador ou do operador do sistema elétrico. No que concerne ao operador do sistema elétrico este terá

como premissa critérios como a satisfação das necessidades de deslocamento dos proprietários dos veículos elétricos, o preço da energia e parâmetros da gestão da rede.

Este carregamento não exige investimentos adicionais de reforço de produção nem nas redes de transporte ou de distribuição.

Um veículo elétrico capaz de ser utilizado num sistema “*vehicle-to-grid*”, tem a capacidade de armazenar energia elétrica e em seguida injetar na rede, sendo um tipo de carregamento que possibilita o fluxo bidirecional de energia. “*Vehicle-to-grid*” (V2G) é um conceito que foi proposto pela primeira vez por Kempton e Letendre, os autores sugeriam que este sistema poderia ser vantajoso para o utilizador gerando assim algum lucro, caso a energia fosse utilizada sobre certas e determinadas condições. Sendo parte das condições: regulação (segundo por segundo analisando a procura e a oferta); fornecimento de energia de pico; “*Spinning reserve*”. Este sistema possibilita à rede uma maior flexibilidade e fiabilidade, assim como uma maior facilidade no equilíbrio da oferta e da procura. Com a introdução desta tecnologia, seria possível satisfazer parte dos picos de consumo.

A implementação desta tecnologia pode ser realizada através de diferentes formas, sendo que numa é considerado uma entidade agregadora que se encarregará de estabelecer a ligação entre os proprietários dos veículos e os mercados de energia, e noutra a comunicação direta por parte dos proprietários com o gestor da rede e com os produtores de energia.

Tendo em conta que mais de 90% do tempo os veículos estão estacionados, os veículos elétricos nesse tempo ao estarem ligados à rede através do “*vehicle-to-grid*” tornam-se armazenadores de energia elétrica (tendo um papel ativo na estabilização e suporte da rede elétrica). Este sistema é visto como uma possível alternativa à substituição de reservas fósseis ao operar como uma reserva de potência, permitindo assim um melhor e mais sustentável controlo de frequência da rede.

Esta tecnologia, para ser implementada, necessita de veículos elétricos suficientes, bem como do melhoramento das tecnologias e das infraestruturas de carregamento disponíveis. [46, 47, 48]



Figura 33 - Tecnologia V2G

3.6.3. Parques de estacionamento inteligentes e sustentáveis – *Smart Microgrid*

No âmbito desta dissertação, poderemos analisar a micro geração (MG) com o objetivo de maximizar a fiabilidade e flexibilidade dos sistemas de energia elétrica, sendo definida como uma unidade de armazenamento de energia. A micro geração pode ser operada como ilha e interligada à rede. No que concerne esta dissertação, a micro geração será abordada como um parque de estacionamento inteligente interligado com a rede, ou seja, irá ser abordada o caso em que a micro geração está ligada à rede e não como ilha.

Ao analisarmos a interligação dos veículos elétricos (VEs) com os parques de estacionamento inteligentes (PEI), formando assim uma unidade de produção (micro geração) e armazenamento, quando ligado à rede, esta unidade oferece inúmeras vantagens para os proprietários dos veículos, proprietários dos parques e também para o operador da rede elétrica. A implantação deste sistema oferece ótimas soluções para solucionar a dependência dos combustíveis fósseis bem como a diminuição substancial das emissões de carbono.

Como constatado anteriormente, os automóveis estão a maior parte do seu tempo estacionados, estando estes estacionados em parques de estacionamento (PEs). Ao estarem imobilizados e estacionados em parques de estacionamento, permite a estes mesmo parques ter um enorme potencial para carregamento de veículos elétricos. Cada vez mais estes têm um papel significativo na mobilidade elétrica, encontrando-se num constante desenvolvimento.

O objetivo destes parques de estacionamento inteligentes passa pela aglomeração dos VEs, formando assim uma unidade de armazenamento de energia.

Este sistema possibilita, aos proprietários dos veículos elétricos e proprietários dos parques de estacionamento inteligentes, beneficiar com receitas. Tendo a rede elétrica o benefício da estabilização e reserva de energia. Cabe ao operador do PE inteligente controlar a carga dos veículos elétricos de acordo com critérios previamente estabelecidos entre ambas as partes (proprietários dos veículos e proprietários dos PE). A título exemplificativo: um proprietário ao definir o estado de carga da bateria (*state-of-charge* - SOC) que necessita, ao retirar o veículo do PE inteligente possibilita ao operador do parque o controlo de carregamento na forma que mais lhe beneficie. Para tal, é necessário a constante comunicação entre proprietários e operadores, para que seja realizada uma gestão de forma a maximizar os lucros e benefícios para ambas as partes. Esta comunicação é caracterizada pela: a permanência do veículo no PE, SOC inicial e final, especificações das baterias, como também os intervalos de preço para compra e venda de energia. [49, 50, 51]



Figura 34 - Integração de energias renováveis e veículos elétricos – SmartPark [52]

Capítulo IV

4. Descrição do sistema eletroprodutor e oportunidades de aumento de eficiência

No presente capítulo irá ser realizado um levantamento das principais infraestruturas de produção de energia presentes na ilha da Madeira. Serão também analisados os projetos realizados recentemente e que estão em curso para um melhoramento e atualização da rede elétrica, sendo que esses projetos vão de encontro às linhas estratégicas do plano energético regional e o reconhecimento de oportunidades para o aumento de eficiência do sistema. Antes do levantamento das possíveis oportunidades será realizado uma introdução aos potenciais existentes no aproveitamento hídrico e eólico na ilha da Madeira.

Neste capítulo serão abordados temas como; energia produzida, energia consumida, utilização da estação de bombagem dos Socorridos e a utilização da energia produzida através das eólicas.

4.1. Descrição do sistema eletroprodutor

4.1.1. Consumo de energia elétrica

Nesta secção iremos analisar a evolução do consumo de energia elétrica nos últimos anos. Será demonstrado na tabela seguinte o número de consumidores, o consumo por eles efetuado e os setores a que se destina.

Evolução da Energia Consumida							
Ano	Número de Consumidores	Consumo (GWh)					
		Total	Doméstico e Agrícola	Comércio e Serviços	Serviços Públicos	Indústria	Iluminação Pública
2008	129.636	839,32	259,76	358,50	60,02	74,57	86,47
2009	130.786	842,00	265,25	364,32	60,81	70,80	80,82
2010	131.962	830,80	265,64	349,46	61,29	69,63	84,78
2011	132.782	812,85	261,69	344,61	55,97	68,90	81,68
2012	132.555	786,53	249,10	334,89	53,64	72,18	76,72
2013	131.905	748,73	236,21	317,42	52,85	60,68	78,57
2014	131.888	756,84	248,47	341,95	62,84	28,63	74,95
2015	131.990	754,35	242,27	354,27	58,04	30,19	69,58
2016	132.213	756,96	247,57	357,90	49,98	30,50	71,01
2017	133.012	762,20	238,40	365,93	55,96	31,5	70,56

Tabela 4 - Evolução da Energia Consumida

Analisando a tabela 4, traduzida no gráfico 5, verifica-se o aumento gradual dos consumidores de energia entre 2008 e 2011, havendo a partir desse mesmo ano um ligeiro decréscimo. Apesar desse aumento, verificamos que entre 2009 e 2012 o consumo de energia elétrica contraí-o cerca de 7,3%, tendo este sido mais pronunciado entre 2011 e 2012. Esta redução está fortemente relacionada com agudização da crise de dívida soberana na área do Euro e pelo pedido de assistência financeira efetuado pelo Governo Regional da Madeira ao Governo da República. Estas ações culminaram numa série de medidas para a inversão do desequilíbrio da situação financeira na RAM e para que fosse garantida a sustentabilidade das finanças públicas. Estas medidas traduziram-se numa redução do rendimento disponível das famílias, no aumento do desemprego e na saída de muitas empresas da Região através da perda de benefícios fiscais do Centro Internacional de Negócios da Madeira, gerando pressões deflacionistas na economia regional.

A partir de 2011, verifica-se essa redução em todos os setores, sendo este mais acentuado nos setores domésticos e de comércio. Essa redução é terminada em 2014 onde existe uma ligeira retoma do consumo de energia elétrica. No final de 2015 é terminado o Programa de Ajustamento específico para a Região, assinado entre o Governo Regional e o Governo da República trazendo assim um ligeiro aumento para

2016 tanto no consumo como no número de consumidores. Este aumento é verificado na maior parte dos setores, à exceção do setor de serviços públicos.

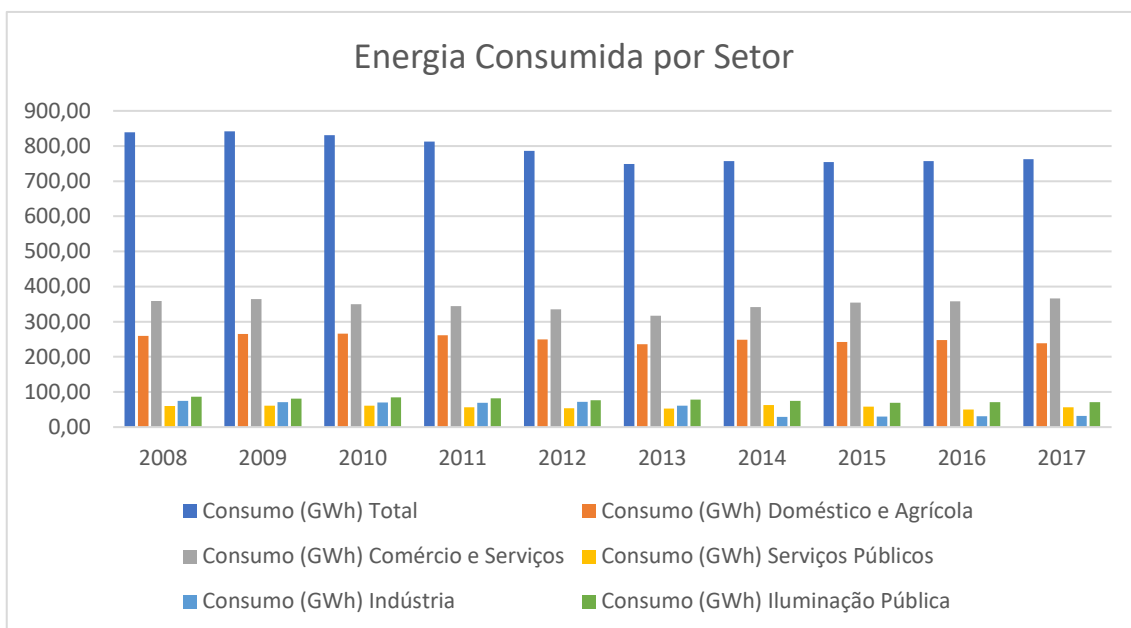


Gráfico 5 - Energia Consumida por Setor

4.1.2. Evolução da energia produzida e consumida na ilha da Madeira

Para reconhecer e identificar as oportunidades de melhoramento de eficiência na rede elétrica na ilha da Madeira, é necessário estudar e analisar o seu sistema eletroprodutor. Para o realizar é preciso analisar a potência instalada na ilha, as infraestruturas de produção de energia e como estas estão a ser utilizadas, assim como energia produzida e consumida anualmente.

Evolução da Energia Produzida e Consumida na ilha da Madeira						
Ano	Potência Instalada (MW)	Produção (GWh)	Consumo com Bombagem Socorridos (GWh)	Energia total entrada na rede ilha da Madeira (GWh)	Variação média anual energia entrada na rede ilha da Madeira	Fornecimento a Clientes (GWh)
2008	262,2	941,28	2,4	921,9	4,30%	839,32
2009	292	940,48	1,1	924,5	0,30%	842,00
2010	352,8	924,94	0,9	911,3	-1,40%	830,80
2011	368,62	902,02	0,56	890,99	-2,30%	812,85
2012	354,5	870,28	0,65	861,33	-3,30%	786,53
2013	340,44	828,67	0,56	820,26	-4,80%	748,73
2014	325,06	838,78	1,33	829,33	1,20%	756,84
2015	325,94	841,79	1,83	826,29	-0,30%	754,35
2016	325,12	842,45	0,72	829,67	0,20%	756,96
2017	322,45	848,26	1,34	834,24	0,70%	762,20

Tabela 5 - Evolução da Energia Produzida e Consumida

A tabela 5 sintetiza os valores de balanço de energia elétrica da ilha da Madeira nos últimos 10 anos. Através destes valores é possível analisar o sistema eletroprodutor na região, para depois realizar um levantamento das possíveis oportunidades de aumento de eficiência.

Analisando os valores acima representados, verifica-se uma redução na energia produzida a partir de 2010, resultado da redução do consumo onde a variação média anual foi de -1,4% face ao ano anterior. É importante salientar que neste mesmo ano e no seguinte (2010 e 2011) a potência instalada na ilha é a mais significativa, atingido um valor de 368,62 MW em 2011, sendo este o valor mais elevado nos últimos 10 anos.

Nos anos seguintes é notório a descida da energia consumida e consequentemente energia produzida devido à desaceleração da economia na região. Devido a esta situação existe uma redução na taxa de crescimento do consumo anual de aproximadamente 12% de 2010 a 2013. Devido a este decréscimo e estagnação da economia podemos concluir, analisando os valores da potência instalada que certas infraestruturas de produção de energia foram temporariamente desligadas. Comparando os valores de potência instalada e os valores de produção de energia, e

relacionando estes, é possível verificar que em 2008 e 2009 com valores inferiores na potência instalada na ilha existiu uma grande produção de energia face aos anos seguintes em que existia uma maior capacidade de produção. Tais medidas foram tomadas para satisfazer as necessidades da procura e equilibrar a demanda de energia com a produção da mesma.

Nos últimos três anos houve uma retoma do consumo de energia elétrica na ilha da Madeira, acentuando assim a tendência de subida do consumo e consequentemente da retoma da economia na região que havia sido fortemente afetada pela conjuntura económica desfavorável a nível nacional em 2011 e 2013.

No gráfico 6 são apresentadas as afirmações anteriores

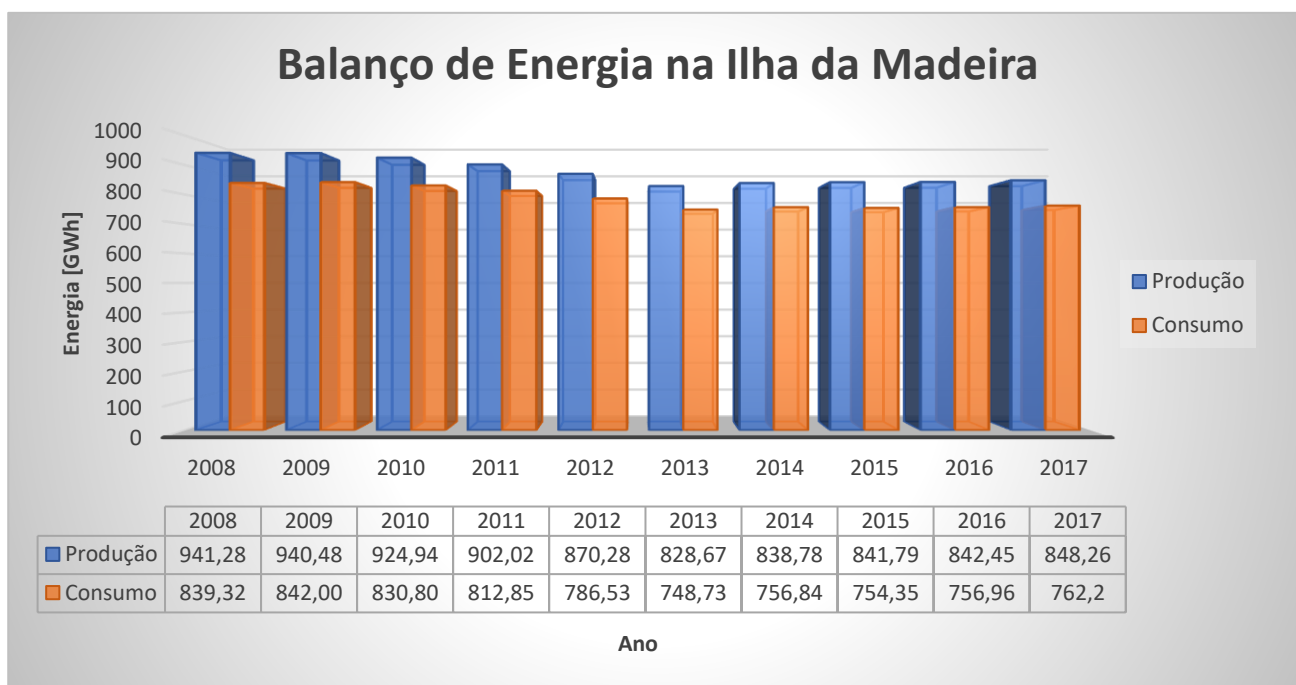


Gráfico 6 - Evolução da produção e consumo de energia (2008-2017)

4.1.3. Produção hídrica e utilização da Estação de bombagem dos Socorridos

Para estudar o aproveitamento da estação de bombagem dos Socorridos é necessário ter em conta a sua utilização face ao consumo de energia elétrica na ilha, mas também é necessário examinar e considerar o tipo de ano hidrológico, podendo ser este favorável ou não. Em seguida é apresentado a tabela que sustenta esta relação.

Evolução da energia produzida nas principais infraestruturas de produção hídrica

Ano	Serra de Água		Calheta I		Calheta II		Socorridos		Estação bombagem Socorridos
	Potência Instalada (MW)	Produção (GWh)	Potência Instalada (MW)	Produção (GWh)	Potência Instalada (MW)	Produção (GWh)	Potência Instalada (MW)	Produção (GWh)	Consumo em Bombagem (GWh)
2008	4,90	12,17	4,72	12,33	7,30	13,13	24,30	26,68	2,40
2009	4,90	18,05	4,72	19,68	7,30	26,92	24,30	49,66	1,10
2010	4,90	11,00	4,72	21,47	7,30	31,97	24,30	39,99	0,90
2011	5,20	15,60	4,52	20,18	7,00	24,69	24,00	37,65	0,56
2012	5,20	10,44	4,52	10,33	7,00	10,95	24,00	26,05	0,65
2013	5,20	12,82	4,52	9,85	7,00	15,77	24,00	17,18	0,56
2014	5,20	13,59	4,52	12,03	7,00	18,41	24,00	30,87	1,33
2015	5,20	11,80	4,52	10,94	7,00	11,50	24,00	13,98	1,83
2016	5,20	14,14	4,52	11,93	7,00	22,81	24,00	34,68	0,72
2017	5,20	11,33	4,52	10,39	7,00	14,89	24,00	21,35	1,34

Tabela 6 - Evolução da energia produzida nas principais infraestruturas de produção hídrica

Ao analisar a tabela 6 onde estão presentes os valores de produção de energia pelas principais infraestruturas de produção hídrica, constata-se com base nesses mesmos valores que os anos hidrológicamente mais favoráveis foram 2009, 2010, 2011, 2014 e 2016. Analisando estes anos e olhando para o consumo de energia elétrica na ilha – representado na tabela 5 – existe um decréscimo deste como observado anteriormente a partir de 2009. Entre 2009 e 2013 existe um decréscimo no consumo de aproximadamente 14%, que se reflete na não utilização da estação de bombagem dos socorridos. Apesar de terem existido anos hidrológicamente favoráveis, a quase nula utilização da estação de bombagem demonstra o desaproveitamento da disponibilidade hídrica para produção de energia elétrica, face à produção de energia por meio de fontes de energia não renováveis. Podemos fundamentar esta ideia olhando para o ano de 2014, onde apesar de ter sido um ano hidrológicamente favorável existe uma maior utilização da estação de bombagem devido ao aumento de 1,2% na energia

total entregue à rede, sendo esta diretamente proporcional ao consumo de energia elétrica.

4.1.4. Produção eólica na ilha da Madeira

Para estudar o real aproveitamento dos parques eólicos presentes na ilha da Madeira, irão ser analisadas as horas de funcionamento da totalidade dos aerogeradores como também, a real potência produzida face à energia utilizada para abastecimento do sistema eletroprodutor.

Ano	Parques Eólicos na ilha da Madeira			
	Potência Instalada (MW)	Produção (GWh)	Horas de utilização anual *	Horas de utilização diária *
2008	8,64	13,09	1515	4,00
2009	37,91	36,9	973	2,50
2010	37,91	67,33	1776	5,00
2011	43,91	71,49	1628	4,50
2012	43,91	82,62	1881	5,00
2013	45,11	81,71	1811	5,00
2014	45,11	87,58	1941	5,50
2015	45,11	75,01	1662	4,50
2016	45,11	82,48	1828	5,00
2017	45,11	83,11	1842	5,00

* Horas de utilização à máxima potência (valores aproximados)

Tabela 7 - Utilização média anual dos parques eólicos da ilha da Madeira

Analisando os valores da tabela 7, verificamos a realização de uma aposta em novos parques eólicos nos anos 2009 e 2011. Em 2009 é possível constatar um grande aumento na potência instalada na ilha, sendo esta na ordem dos 30 MW. Através do investimento realizado, era previsto uma maior utilização deste recurso tanto para abastecimento do sistema eletroprodutor, como para auxiliar a estação de bombagem dos Socorridos no fornecimento de energia para a realização da bombagem.

Através da observação dos valores de horas de utilização anuais e diárias, é importante realçar a pouca quantidade de horas que os parques eólicos estão em

funcionamento. Como referido acima, a aposta realizada em novos parques eólicos tinha como objetivo uma maior contribuição desta fonte de energia para utilização no despacho como também a utilização da energia produzida para a realização de bombagem.

Será agora analisado individualmente cada um destes casos.

Ao analisar os valores de produção pelos parques eólicos nos últimos anos, verificamos que houve um maior aproveitamento deste recurso em 2012, 2013, 2014, 2016 e 2017, tendo a utilização diária nestes anos sido superior ou igual a 5 horas. Observando também os valores percentuais da emissão de energia por fonte de energia primária nos últimos 10 anos, constatamos que a componente eólica não teve uma contribuição superior aos 10%.

No que concerne ao auxílio da estação de bombagem, é importante referir que foi previsto para esta, uma utilização média anual de 800 horas e que o seu período de bombagem é de cerca de 6 horas para a totalidade dos caudais acumulados. Assim sendo, pela previsão da sua utilização, podemos afirmar que seria garantido o fornecimento de energia proveniente dos parques eólicos nas suas duas horas diárias de funcionamento como também o fornecimento da energia durante as 6 horas para a realização da bombagem para a totalidade dos seus caudais.

É possível afirmar que com um maior aumento do consumo de energia elétrica na ilha da Madeira, as horas de utilização seriam superiores e haveria um maior aproveitamento da potencialidade destas instalações, aumentando assim as eficiências e as suas contribuições anuais.

No gráfico 7, é representada o volume de geração eólica face à total produção de energia na ilha da Madeira entre 2008 e 2017.

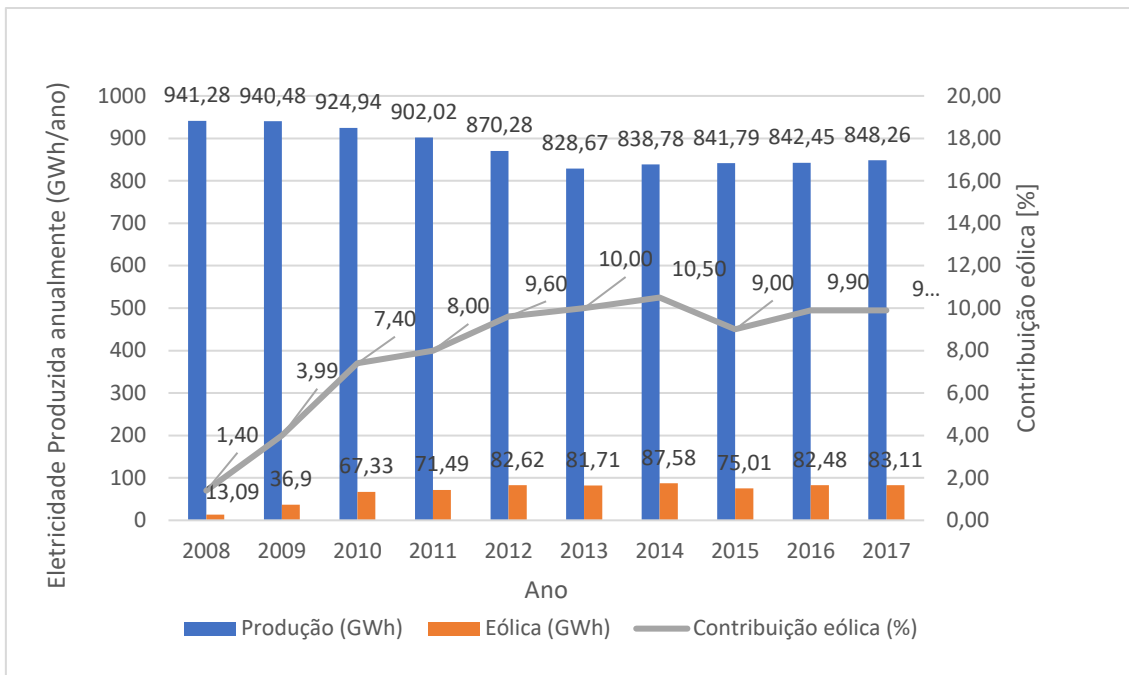


Gráfico 7 - Geração eólica vs produção total de energia elétrica

4.1.5. Evolução do despacho de energia

Na tabela seguinte estão sintetizados os valores da emissão por fonte de energia primária na ilha da Madeira, sendo estas fontes; energia térmica, hidroelétrica, eólica, resíduos urbanos e fotovoltaica. Através dos valores apresentados será possível verificar a capacidade de produção pelas infraestruturas associadas a essas energias e em que anos é que a produção esteve abaixo do aproveitamento máximo. Pretende-se com a análise destes dados estudar a eficiência presente na produção de energia elétrica na ilha da Madeira e como esta poderá ser otimizada.

Origem da produção de energia elétrica na ilha da Madeira

Ano	Térmica (GWh)	Térmica (%)	Hidroel. (GWh)	Hidroel. (%)	Eólica (GWh)	Eólica (%)	Resíd. Urb. (GWh)	Resíd. Urb. (%)	Fotovol. (GWh)	Fotovol. (%)
2008	807,28	85,60	83,7	9,00	13,09	1,40	37,22	4,00	-	-
2009	726,63	76,95	140,14	15,09	36,9	3,99	36,51	3,94	0,29	0,03
2010	684,85	73,70	131,7	14,40	67,33	7,40	39,41	4,30	1,65	0,20
2011	661,4	73,10	121,91	13,50	71,49	8,00	34,27	3,80	13,67	1,50
2012	657,17	75,30	75,1	8,70	82,62	9,60	27,72	3,80	27,68	3,20
2013	615,45	74,10	76,71	9,30	81,71	10,00	25,71	3,10	29,1	3,50
2014	591,29	70,30	96,73	11,60	87,58	10,50	33,14	4,00	30,03	3,60
2015	630,51	74,60	67,03	8,00	75,01	9,00	38,85	4,70	30,39	3,70
2016	589,18	69,60	105,37	12,60	82,48	9,90	35,57	4,30	29,85	3,60
2017	609,69	71,50	78,07	9,30	83,11	9,90	47,61	5,70	29,78	3,60

Tabela 8 - Emissão por fonte de energia

Ao analisar os valores da tabela 8 é possível observar que existe um desaproveitamento da capacidade de produção nas infraestruturas de produção de energia. Ao observarmos os valores máximos de energia fornecidos de cada uma das fontes e tendo também em conta os valores de energia produzidos e consumidos nesses mesmos anos (valores demonstrados anteriormente) é possível concluir que há equipamentos que são poupados/desligados devido à oferta e procura de energia. Tais medidas são tomadas para ter uma rede eficiente e uma melhor gestão das fontes de energia.

4.2. Plano energético regional e projetos futuros

A Região Autónoma da Madeira aprovou o seu primeiro plano energético regional em 1989 tendo havido atualizações desse mesmo plano em 1992 e 2002. Este plano tem servido como orientação para a estratégia de valorização dos recursos endógenos como também para a promoção da eficiência energética.

Esta política energética tem sido ao longo dos anos aplicada para garantir a segurança do aprovisionamento de energia, assegurar a sustentabilidade económica e ambiental do sector e contribuir para um aumento na qualidade dos serviços energéticos.

Através da adoção deste plano, foi previsto para a ilha da Madeira uma série de objetivos e metas a atingir até o ano de 2020. Esses mesmos objetivos, metas e resultados esperados no ano de 2020 estão sintetizados na tabela seguinte. [53]

Objetivos		Metas	Resultados esperados
1	Melhorar a segurança no aprovisionamento de energia	Aumentar em 20% o número de dias de autonomia de armazenamento de energia em relação a 2005	> 20%
2	Reduzir a dependência do exterior	Aumentar para 20% a participação dos recursos energéticos renováveis na procura de energia primária	20%
		Aumentar para 50% a participação dos recursos energéticos renováveis na produção de eletricidade.	50%
3	Reduzir a intensidade energética no Produto Interno Bruto	Reduzir em 20% a intensidade energética no Produto Interno Bruto (energia primária/Produto Interno Bruto) em relação a 2005.	>20%
4	Reduzir as emissões de dióxido de carbono	Reduzir em 20% as emissões de CO ₂ em relação a 2005	23%

Tabela 9 - Objetivos e metas do plano energético regional

4.2.1. Linhas estratégicas

Visando os objetivos e metas para 2020, foram estabelecidas seis linhas estratégicas para a orientação das ações para a energia sustentável a implementar na ilha da Madeira. Sendo estas as seguintes:

- Melhorar a eficiência na conversão e utilização de energia.
- Aumentar a contribuição dos recursos energéticos renováveis.
- Diversificar as fontes de energia.

- Aumentar a capacidade das infraestruturas de armazenamento de energia.
- Promover produtos e serviços energéticos que favoreçam o desenvolvimento económico, o valor acrescentado regional e o emprego qualificado.
- Promover formas de energia com menos teor de carbono.

No quadro seguinte é demonstrado como as linhas estratégicas contribuem para os objetivos estabelecidos. [53]

Objetivos		Linhas estratégicas
1	Melhorar a segurança no aprovisionamento de energia	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a eficiência na conversão e utilização de energia. <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a contribuição dos recursos energéticos renováveis. <ul style="list-style-type: none"> • Diversificar as fontes de energia. • Aumentar a capacidade das infraestruturas de armazenamento de energia.
2	Reduzir a dependência do exterior	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a eficiência na conversão e utilização de energia. • Aumentar a contribuição dos recursos energéticos renováveis.
3	Reduzir a intensidade energética no Produto Interno Bruto	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a eficiência na conversão e utilização de energia. <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a contribuição dos recursos energéticos renováveis. • Promover produtos e serviços energéticos que favoreçam o desenvolvimento económico, o valor acrescentado regional e o emprego qualificado.
4	Reduzir as emissões de dióxido de carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Melhorar a eficiência na conversão e utilização de energia. <ul style="list-style-type: none"> • Aumentar a contribuição dos recursos energéticos renováveis. • Promover formas de energia com menor teor de carbono.

Tabela 10- Linhas estratégicas por objetivo

As linhas estratégicas do melhoramento da eficiência na conversão e utilização de energia, tal como o aumento da contribuição dos recursos energéticos renováveis, são orientações estratégicas comuns a todos os objetivos. Estas orientações são fundamentais para que se faça concretizar as metas traçadas até 2020, tornando assim a rede mais sustentável e eficiente.

4.2.2. Projetos realizados recentemente ou em curso

Com vista nos objetivos mencionados anteriormente no âmbito do Plano Energético Regional, estão a ser realizados na ilha da Madeira alguns projetos para que se faça cumprir as metas desejadas, sendo que desses mesmo projetos alguns já foram concluídos. Destacam-se dentro desses projetos, a introdução de gás natural na Madeira e a ampliação do aproveitamento hidroelétrico da Calheta no setor da produção. No setor do transporte os projetos estão diretamente relacionados com a melhoria de ligações, mas também com a restauração e atualização de subestações. Assinalam-se ainda outros projetos com relevância para o setor elétrico na ilha sendo estes a mobilidade elétrica e o SMILE (*SMart ISLand Energy systems*).

4.2.2.1. Introdução do gás natural na Madeira

A introdução de gás natural na Madeira na central térmica da Vitória – Nave III – vem proporcionar à economia regional uma nova matéria-prima energética mais limpa e competitiva face ao petróleo e seus derivados.

Foi demonstrado, após a realização de estudos sob a responsabilidade da EEM, viabilidade técnica e económica à introdução do gás natural na Madeira, revelando este ser um combustível competitivo em termos de custo, e também como uma ótima solução alternativa à utilização de produtos petrolíferos para a produção de eletricidade. A nível ambiental, vem proporcionar uma significativa redução nas emissões poluentes além de colmatar com a segurança em relação à dependência de combustíveis fósseis face os mercados internacionais.

Foi prevista uma substituição gradual do fuelóleo pelo gás natural tendo este, menor intensidade de carbono, tornando-o um combustível fóssil mais limpo. Esta substituição foi realizada através da instalação de uma unidade autónoma de gás (UAG) para a

receção, armazenamento e regaseificação do gás natural, para abastecer os três grupos geradores dual-fuel, que se encontravam em exploração na Nave III da central térmica da Vitória.

Com a realização deste projeto na ilha da Madeira, é promovido o desenvolvimento energético sustentável, especialmente no que diz respeito à segurança do abastecimento, sendo este feito em condições económicas mais competitivas, contribuindo igualmente para que a Região alcance as metas ambientais definidas pela União Europeia para 2020. [54]

4.2.2.2. Ampliação do aproveitamento hidroelétrico da Calheta

No contexto anteriormente falado, sobre a estratégia para uma energia sustentável na ilha da Madeira segundo o plano energético regional, o projeto em questão concorre, através da valorização da água para produção de energia elétrica e do encaixe eólico proporcionado pela bombagem, armazenamento de energia e capacidade reversível, para os grandes objetivos estabelecidos no Plano de Ação para Energia Sustentável da Madeira, no âmbito do compromisso assumido pela ilha da Madeira, perante a Comissão Europeia através da assinatura do Pacto das Ilhas em Bruxelas no dia 12 de Abril de 2011.

O projeto de ampliação do aproveitamento hidroelétrico da Calheta integra o respetivo plano de ação para a energia sustentável, elaborado aquando a assinatura do Pacto das Ilhas, onde visava a redução em pelo menos 20% das emissões de CO₂ no respetivo território.

No que respeita à redução da emissão de gases de efeito de estufa, este projeto permite a redução de 51,8 kt/ano CO₂ equivalente, o que representa um contributo considerável para a responsabilidade da ilha da Madeira perante os compromissos nacionais no âmbito do protocolo de Quioto e das metas da UE, em matéria de energia e clima para 2020.

A implantação de novos aproveitamentos hidroelétricos está neste momento limitada pela dificuldade em encontrar locais com características adequadas à produção de energia, uma vez que já existe uma grande exploração do recurso hídrico para fins energéticos em toda a ilha, como prova o estudo '*Identificação do Potencial de Energia*

Hídrica da Região Autónoma da Madeira, realizado pela Agência Regional da Energia e Ambiente da RAM em Agosto de 2005. Após a realização desse estudo, a AREAM conclui que a maximização do aproveitamento do potencial hídrico teria de ser concretizada através da adoção de medidas que permitissem melhorar a exploração das centrais existentes e pela minimização das perdas nos canais de transporte.

Adotando essa estratégia, a EEM entendeu que na área dos aproveitamentos hidroelétricos, aquele que apresentava maior potencial para a ampliação e introdução de um sistema reversível, é o da Calheta, a que ainda acresce o facto das infraestruturas deste aproveitamento se localizarem nas imediações do Paul da Serra, a área com maior potencial para o aproveitamento da energia eólica. Ao estudar a interligação destes dois potenciais, concluiu-se que seria possível enquadrar o sistema hidroelétrico da Calheta num sistema de bombagem, e que o mesmo assumiria condições ímpares para flexibilizar a integração da energia eólica. Será então realizada uma réplica da filosofia de produção e bombagem já implementada na Central dos Socorridos. Através do investimento realizado neste novo sistema reversível, assistir-se-á assim, a uma ampliação da capacidade de produção de energia elétrica e aumento da capacidade de exploração da rede.

No âmbito deste projeto estão compreendidas, uma capacidade de armazenamento adicional no Pico da Urze e a construção da Central Hidroelétrica da Calheta III que permitirá aumentar a capacidade de produção de energia elétrica em 30 MW, e proporcionar um encaixe de cerca de 25 MW adicionais de potência eólica. [55]

4.2.2.3. Mobilidade Elétrica

Devido à evolução tecnológica é possível olhar para a mobilidade elétrica como uma ótima alternativa aos atuais veículos que possuem motores de combustão interna. Como referido na motivação desta dissertação, ao querer estudar e melhor compreender uma possível evolução da rede elétrica na ilha da Madeira, não é possível realizar esse estudo sem ter em conta o contributo da mobilidade elétrica.

Atualmente na ilha da Madeira, aproximadamente 55% do consumo de energia final está diretamente ligado ao setor dos transportes. Este representa o maior fator de dependência de combustíveis fósseis e de emissões de gases com efeito de estufa (GEE), mais concretamente o CO₂.

O programa da mobilidade elétrica constitui para a ilha da Madeira uma oportunidade de a promover como uma ilha mais sustentável, com forte utilização dos recursos endógenos, com menor intensidade de carbono, mais verde e amiga do ambiente, tornando-se assim uma Região insular de referência. Este programa tem como principais objetivos: a contribuição para uma menor dependência energética, suportada numa mobilidade sustentável; o aumento da eficiência na utilização da energia; incentivar a utilização de fontes de energia renovável nos transportes; a contribuição para a dinamização da economia regional; reduzir consideravelmente as emissões de GEE; a redução da poluição sonora nos transportes; a redução da assimetria atual do diagrama de cargas (consumo em horas de vazio) e com isso aumentar a integração de fontes de energia renovável na produção de eletricidade e por fim, o aumento da eficiência, sabendo que as perdas de transformação associadas (produção de eletricidade) são substancialmente menores quando comparadas com as perdas de transformação de derivados de petróleo em eletricidade.

Para a implementação desta nova forma de mobilidade, a EEM, como líder do grupo de trabalho para o Programa da Mobilidade Elétrica (PNEM), tomou iniciativa de implementar as primeiras medidas efetivas deste Programa, através da instalação de postos de carregamento de acesso público e da aquisição de dois veículos 100% elétricos para a sua frota automóvel.

A localização por concelho e o número dos postos de carregamento presentes na ilha da Madeira é a seguir indicado:

Funchal

- 1 Posto de carregamento rápido
 - Tomada CHAdeMO c/ potência de 50 kW
 - Tomada Combo Tipo 2 c/ potência de 50 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência de 43 Kw

- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada monofásica IEC 309-2 c/ potência 3,7 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 3,7 kW

Santa Cruz

- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 22 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 22 kW

Machico

- 1 Posto de carregamento rápido
 - Tomada CHAdeMO c/ potência de 50 kW
 - Tomada Combo Tipo 2 c/ potência de 50 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência de 43 kW
- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 22 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 22 kW

Santana

- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada monofásica IEC 309-2 c/ potência 3,7 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 3,7 kW

S. Vicente

- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 22 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 22 kW

Porto Moniz

- 1 Posto de carregamento rápido
 - Tomada CHAdeMO c/ potência de 50kW
- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada monofásica IEC 309-2 c/ potência 3,7 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 3,7 kW

Calheta

- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 11 kW
- 1 Posto de carregamento rápido
 - Tomada CHAdeMO c/ potência de 50 kW

- 1 Posto de carregamento normal
 - Tomada monofásica IEC 309-2 c/ potência 3,7 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência 3,7 kW

Ribeira Brava

- 1 Posto de carregamento rápido
 - Tomada CHAdeMO c/ potência de 50 kW
 - Tomada Combo Tipo 2 c/ potência de 50 kW
 - Tomada Mennekes Tipo 2 c/ potência de 43 kW

Perfazendo um total de 13 postos de carregamento na ilha da Madeira, sendo que desses, 5 são de carregamento rápido e 8 de carregamento normal. [56],[57]

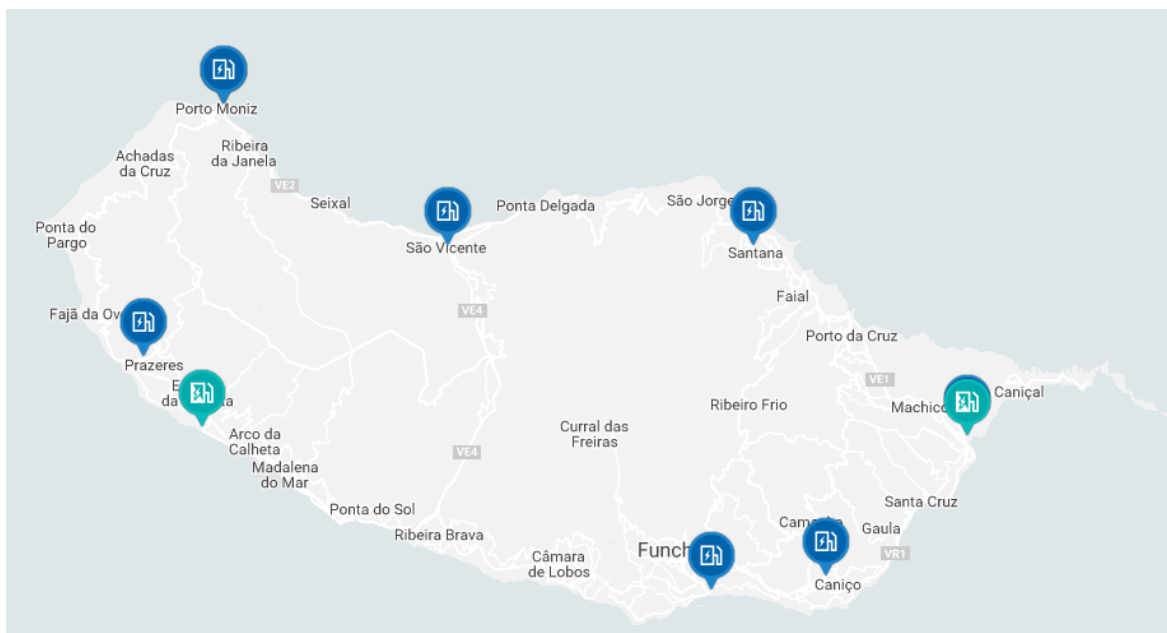


Figura 35 - Mapa da localização dos PC

4.2.2.4. SMart IsLand Energy Systems (SMILE)

A ilha da Madeira é uma das ilhas envolvidas no SMart IsLand Energy Systems. Este é um projeto financiado pelo quadro-programa Horizonte 2020 (H2020) da União. Com este projeto é pretendido a demonstração de novas tecnologias de redes elétricas

inteligentes, sendo que estas podem entrar no mercado a curto prazo. No que concerne este programa, a ilha da Madeira é a única com a rede elétrica isolada.

Existem várias soluções a serem testadas ao longo de todo o projeto, tais como: integração de baterias; aquecimento; acumulação de energia hídrica; veículos elétricos, armazenamento de energia em barcos e tarifas dinâmicas. No que diz respeito à ilha da Madeira, o SMILE irá ser orientado para três pilares fundamentais: a microprodução, o autoconsumo com armazenamento e a mobilidade elétrica (carregamento). Através desta combinação será possível a realização do estudo da futura implementação de pequenas redes inteligentes locais (“smart-grids”) na ilha da Madeira, aumentando assim a produção descentralizada renovável, aliada a uma gestão adequada e inteligente para que sejam garantidos o abastecimento, a segurança e a qualidade.

Para a concretização deste projeto, mais concretamente nos três pilares mencionados anteriormente, existem três subprojectos que estão interligados a esses pilares:

- A Microprodução solar para injeção na rede elétrica pública (BT) da ilha da Madeira, sendo que esta tem como principal objetivo a maximização e controlo da microprodução solar fornecida na rede elétrica pública, através da instalação de baterias locais e instalação de baterias no ponto de ligação da rede de distribuição BT/MT para controlo e regulação da frequência e tensão da rede local.
- Unidades de produção solar para autoconsumo, onde será realizada uma maximização do aproveitamento solar em Unidades de Produção de Autoconsumo (UPACs) através do armazenamento com baterias, incluindo um sistema de controlo e possibilidade de integração do excedente na rede elétrica local (BT).
- Mobilidade elétrica: Pontos de carregamento para veículos elétricos em áreas de acesso privativo, tendo como objetivo a otimização dos carregamentos de veículos elétricos em parques e frotas privadas, através do controlo inteligente e automação de posto de carregamento já existentes.

Com a concretização deste projeto, será possível uma melhor gestão da rede elétrica, mais propriamente no setor da distribuição, aumentando assim a fiabilidade, a eficiência energética e a segurança de todo o sistema elétrico na Madeira. [58]

4.3. Potenciais das energias hídricas e eólicas na ilha da Madeira

Como referido anteriormente nesta dissertação, foi realizado um estudo em 2002 e 2005 pela AREAM – Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, sobre a “Maximização da Penetração das Energias Renováveis e Utilização Racional da Energia nas Ilhas da Macaronésia”. Esse estudo teve como objetivo a redução da dependência energética com vista a melhorar a segurança do abastecimento, a melhoria da economia local e menor dependência dos fornecimentos externos de combustíveis fósseis.

Nesta parte da dissertação irão ser demonstrados os resultados dos potenciais energéticos hídricos e eólicos na ilha da Madeira, sendo estes dois os mais relevantes para esta dissertação.

4.3.1. Potencial da energia hídrica

Devido às limitações que atualmente existem para a instalação de novas instalações hidroelétricas, podemos afirmar que a maximização do aproveitamento do potencial hídrico passa pelo melhoramento das infraestruturas e suas componentes já existentes. Tendo estas limitações em conta, é necessário, para otimizar o sistema produtivo e maximizar o aproveitamento do potencial hídrico existente, realizar o aumento dos reservatórios de acumulação de água a montante e a jusante das centrais, transformar e melhorar as centrais existentes, mas também melhorar a rede de transporte de água, garantido assim potência nas horas de maior procura de eletricidade.

Para que seja possível este melhoramento de otimização do sistema produtivo e maximização do aproveitamento, está em desenvolvimento a ampliação do aproveitamento hidroelétrico da Calheta. Este projeto consiste na introdução de uma adicional capacidade de armazenamento no Pico da Urze, tendo esta barragem uma albufeira com a capacidade de aproximadamente 1.000.000 m³; a construção da Central Hidroelétrica da Calheta III, que permitirá aumentar a capacidade de produção de

energia elétrica em 30 MW, proporcionando ao mesmo tempo um encaixe de 25 MW adicionais de potência eólica; a conduta elevatória/forçada desde a barragem do Pico da Urze até à nova Central da Calheta III, permitindo a restituição à albufeira dos caudais armazenados no reservatório de restituição da Calheta, através de bombagem, utilizando as disponibilidades de energia renovável; serão igualmente criadas mais duas estações elevatórias (Calheta e Paul), sendo que a estação elevatória da Calheta possuirá bombas que servirão para em caso de excesso de produção renovável, nomeadamente eólica, elevar a água novamente para a barragem, permitindo assim uma nova utilização da mesma. Por fim haverá uma remodelação e ampliação de levadas já existentes.

4.3.2. Potencial da energia eólica

No estudo realizado pela AREAM, no que concerne o potencial eólico da ilha da Madeira, foi tido em conta a rugosidade do terreno, o declive, a turbulência, a ocupação do terreno, todas as nuances de grande complexidade orográfica que caracterizam a ilha e por fim os dados meteorológicos registados por seis estações meteorológicas automáticas na ilha da Madeira.

Desse estudo foi concluído que as zonas com maior potencial eólico na ilha são o Paúl da Serra, o Caniçal e a Ponta do Pargo. Sendo estes os locais com melhor aptidão para a construção e desenvolvimento de projetos eólicos.

Desde a realização do estudo em 2005, foram desenvolvidos 6 novos parques eólicos, sendo que desses 6 parques eólicos 3 são operados por entidades privadas e os outros 3 são operados pela EEM, através da sua participação na sociedade ENEREEM. Globalmente a potência eólica instalada desde a realização do estudo ascende os 32,85 MW. Contabilizando todos os parques eólicos na Madeira (3 antes do estudo e 6 depois do estudo) existe aproximadamente 45 MW de potência eólica instalada.

Tem sido possível uma contribuição anual de 68 GWh, nos últimos 10 anos através da potência instalada na ilha.

Para analisar corretamente o potencial eólico é necessário ter em conta dois investimentos realizados na componente hídrica. A central de Bombagem dos Socorridos (já realizado) e a ampliação do aproveitamento hidroelétrico da Calheta (em curso). Ambos os investimentos foram projetados para que fosse possível a interligação

com a produção de energia eólica, para que quando necessário a restituição à albufeira dos caudais armazenados nos reservatórios através de bombagem, fosse então utilizado a energia renovável não acumulável pelos aerogeradores.

Analisando a produção de energia através dos parques eólicos, esta poderá trazer à rede uma maior eficiência e sustentabilidade quer seja para consumo dos consumidores quer seja para a utilização da bombagem num sistema hidroelétrico reversível.

4.4. Oportunidades de aumento de eficiência

Neste subcapítulo pretende-se fazer um levantamento das oportunidades que possam existir para o aumento da eficiência do sistema eletroprodutor na ilha da Madeira. Para a realização desse estudo, foi tido em conta a atual constituição da rede elétrica na ilha como tem sido demonstrado até então. Para um correto levantamento das oportunidades de aumento de eficiência foi necessário estudar as infraestruturas existentes, a sua potencialidade de produção face à real produção existente e comparando estes dados com o número de consumidores e a energia consumida por estes.

4.4.1. Aumento do consumo de energia elétrica

Ao longo dos anos tem existido uma aposta na melhoria e eficiência de todo o sistema elétrico presente na ilha da Madeira através do investimento realizado nos diversos setores (produção, transporte e distribuição). Este investimento é fundamental para a evolução e atualização do sistema elétrico na ilha da Madeira. Esta evolução e atualização vieram trazer uma maior capacidade de produção nas infraestruturas do sistema elétrico.

Como verificado anteriormente nesta dissertação, o consumo de energia por parte dos consumidores na ilha da Madeira tem sofrido um considerável decréscimo ao longo dos últimos anos. Esta redução no consumo causa uma menor eficiência no sistema elétrico devido à potencialidade que existe para a produção de energia. Ao analisarmos estas duas componentes, relacionando a energia consumida com a capacidade de produção, verificamos que a energia consumida não acompanha a

aposta realizada para o aumento da capacidade de produção. Assim sendo, existe aqui uma oportunidade de aumento de eficiência caso exista um aumento do consumo por parte dos utilizadores.

Ao existir um aumento da energia consumida, haverá uma maior eficiência no sistema elétrico pois existirá um acompanhamento proporcional à real capacidade de produção nas instalações de produção de energia. Existindo este aumento, haverá um maior aproveitamento da energia produzida ao mesmo tempo que existe aproveitamento da potencialidade de produção nas infraestruturas.

4.4.2. Maior utilização das infraestruturas de produção de energia renovável

Como referido ao longo desta dissertação, ao longo dos anos têm existido diversos projetos e investimentos para melhorar e atualizar a rede elétrica na ilha da Madeira. Um dos grandes objetivos desses investimentos e projetos é o aumento da contribuição da componente renovável no fornecimento de energia elétrica. Em 2008 esta contribuição foi de aproximadamente 15%, tendo em 2009 aumentado para os 23% graças ao aumento das componentes eólicas e hídricas. Este valor sofre um ligeiro aumento nos anos seguintes devido aos investimentos realizados, havendo no presente uma contribuição na ordem dos 30%.

Segundo as metas do plano energético regional e através dos projetos a este associado, é pretendido o aumento para 50% da participação dos recursos energéticos renováveis.

Este aumento irá trazer à rede uma maior eficiência e sustentabilidade face ao caso atual.

Capítulo V

5. A utilização dos consumos dos veículos elétricos para otimização da rede elétrica na ilha da Madeira

Neste capítulo irão ser referidas as oportunidades de aumento de eficiência com uma maior utilização de VE na ilha da Madeira, com base em todos os pontos referidos anteriormente nesta dissertação. Será também realizado um estudo das alterações que irão ocorrer no sistema energético devido a uma maior utilização de veículos elétricos.

Após a realização deste estudo, serão estudados vários cenários de implementação dos veículos elétricos tendo por base o parque automóvel na ilha da Madeira.

5.1. Oportunidades de aumento de eficiência no sistema elétrico da ilha da Madeira com recurso a veículos elétricos

5.1.1. Aumento da produção de energia

A utilização de veículos movidos a eletricidade iria causar na região um aumento da produção de energia. Através desse, seria possível uma otimização das infraestruturas existentes.

Como foi demonstrado nos capítulos anteriores, existiu uma redução na procura de energia elétrica devido à desaceleração da economia na região, causando assim uma redução na necessidade de produção. Esta diminuição do consumo provocou uma menor utilização das capacidades de produção das centrais, como tal, ao considerar o aumento do consumo provocado pela maior utilização de veículos elétricos, é possível justificar uma maior produção de energia tanto por fontes de energia renovável como também através dos combustíveis fósseis e potencializar os equipamentos de produção existentes, otimizando assim a rede eletroprodutora.

5.1.2. Aproveitamento de energia excedentária produzida por fontes de energia renováveis

A produção de energia por meio de recursos renováveis constitui nos dias de hoje um papel importante na sustentabilidade e na eficiência energética. Com a maior utilização das energias renováveis é possível reduzir a dependência de fornecimentos externos de combustíveis fósseis como também o melhoramento da economia local.

Ao olhar para as instalações de produção de energia renovável na ilha da Madeira, estas têm um contributo médio anual de aproximadamente 200 GWh. Fazendo com que cerca de 25% da energia fornecida na ilha da Madeira seja proveniente de fontes de energia renovável.

Devido à variação da disponibilidade das fontes de energia renovável, consideramos esta produção variável, dependente da existência do recurso, sendo este a água, vento ou o sol. De momento na região nem sempre é possível a utilização imediata da energia possível de ser produzida, fazendo com que esta seja desperdiçada. Não existindo a possibilidade de armazenamento desta, e tendo em conta a diminuição do consumo de energia elétrica na região, as infraestruturas são desaproveitadas.

Com a implementação dos veículos elétricos no arquipélago, e o conseqüente aumento de consumo de eletricidade, é necessário aumentar a produção de energia elétrica na região e também realizar um melhor aproveitamento da energia produzida através das fontes renováveis. Melhorando assim a sustentabilidade, a eficiência energética e a economia.

Ao analisarmos as infraestruturas já existentes, sendo estas suficientes para a demanda de energia na região não haverá necessidade de novos investimentos.

5.1.3. Aumento do consumo nas horas de vazio

Para realizar um correto levantamento das oportunidades de aumento de eficiências num sistema elétrico isolado, é necessário compreender as suas limitações. Como referido anteriormente, não estando estes sistemas ligados a uma outra rede elétrica, não existe a possibilidade de uma gestão interligada com outros sistemas como é o caso da rede elétrica em Portugal Continental.

Através da introdução dos veículos elétricos num sistema elétrico isolado, é possível uma maior utilização da energia produzida nas horas de vazio. O veículo elétrico é visto como uma carga ótima para as horas de menor consumo, podendo este carregamento ser controlado ou não controlado. Estando as horas de vazio para o Arquipélago da Madeira compreendidas entre as 23h00 e as 9h00, é possível o aproveitamento da energia produzida nestas horas (sendo este normalmente escasso) pelos veículos elétricos.

Com a utilização da energia produzida nestas mesmas horas para a realização do carregamento dos veículos elétricos, é possível tornar um sistema elétrico isolado mais eficiente, isto é, existe a possibilidade de utilização da energia possível de ser produzida nestas horas de menor consumo para a demanda provocada pela carga dos veículos elétricos.

Resumindo, é possível reduzir a assimetria atual do diagrama de cargas (consumo em horas de vazio) e ao mesmo tempo aumentar a integração de fontes de energia renovável na produção de eletricidade.

5.1.4. Aumento da utilização da estação de bombagem dos Socorridos (com energia dos parques eólicos)

Ao analisar equipamentos de produção existentes, já referidos anteriormente (estação de bombagem dos Socorridos e a totalidade dos parques eólicos) é possível constatar que poderá existir uma maior utilização de ambos com a penetração dos VE na ilha da Madeira.

A estação de bombagem dos Socorridos que complementa a central, garante a disponibilidade desta através da sua reserva estratégica de água de cerca de 40.000 m³ à cota 547 metros. A água presente no reservatório é turbinada nas horas de ponta, sendo acumulada após este processo numa galeria com a mesma capacidade à cota 85 metros. Durante a noite e nos períodos de vazio a água é novamente colocada no reservatório à cota 547 metros, em regime de bombagem pura, para início de novo ciclo.

Esta estação de bombagem está equipada com três bombas de cerca de 3,75 MW de potência unitária, tendo mais uma de reserva. O seu período de bombagem é de cerca de 6 horas para a totalidade dos caudais acumulados. Foi prevista uma utilização média anual desta instalação, de cerca de 800 horas.

Ao analisarmos os valores de consumo desta estação de bombagem na tabela 2 verificamos a redução da utilização da mesma nos últimos anos. Entre 2010 e 2013 a sua utilização não foi significativa, tendo havido uma ligeira retoma da sua utilização nos anos seguintes. Como foi apresentado anteriormente, esta redução foi resultado da diminuição do consumo na região e da estagnação da economia no arquipélado.

Para consolidar esta analogia, ao analisar os valores de horas de utilização média anual à máxima potência representados na tabela 11, verificamos uma nula utilização desta estação nos últimos 10 anos. É notório o desaproveitamento deste sistema de bombagem devido à redução do consumo, e uma pouca utilização da componente eólica para a realização da bombagem.

Ao existir uma aposta na mobilidade elétrica na região e com a retoma do consumo de energia elétrica diretamente provocada por esta, haveria a possibilidade de uma maior utilização desta estação de bombagem com energia de parques eólicos

Além do referido a energia eólica poderia ser utilizada e armazenada nas baterias dos veículos elétricos.

Através da utilização conjunta destes dois sistemas, é possível aumentar a eficiência e a sustentabilidade da rede elétrica na ilha da Madeira, isto é, existe uma oportunidade de recorrer mais vezes ao sistema de bombagem melhorando, por esta via, a contribuição da componente eólica.

Ano	Central hidroelétrica dos Socorridos		Estação de bombagem dos Socorridos		
	Potência Instalada (MW)	Produção (GWh)	Potência Instalada (MW)	Consumo em Bombagem (GWh)	Horas de utilização anual *
2008	24,30	26,68	11,25	2,40	213,0
2009	24,30	49,66	11,25	1,10	97,5
2010	24,30	39,99	11,25	0,90	80,0
2011	24,00	37,65	11,25	0,56	50,0
2012	24,00	26,05	11,25	0,65	58,0
2013	24,00	17,18	11,25	0,56	50,0
2014	24,00	30,87	11,25	1,33	118,0
2015	24,00	13,98	11,25	1,83	162,5
2016	24,00	34,68	11,25	0,72	64,0
2017	24,00	21,35	11,25	1,34	119

* Horas de utilização à máxima potência

Tabela 11 - Utilização média anual da Estação de Bombagem dos Socorridos

5.2. Estudo da implementação dos veículos elétricos

5.2.1. Parque automóvel na ilha da Madeira

Analisando o gráfico 8, é possível observar um crescimento contínuo no parque automóvel da R. A. Madeira nos últimos anos. Em 2013 o número de veículos a circular na região era de 136.118 enquanto em 2017 existiam 148.443, havendo assim um crescimento de 9%.

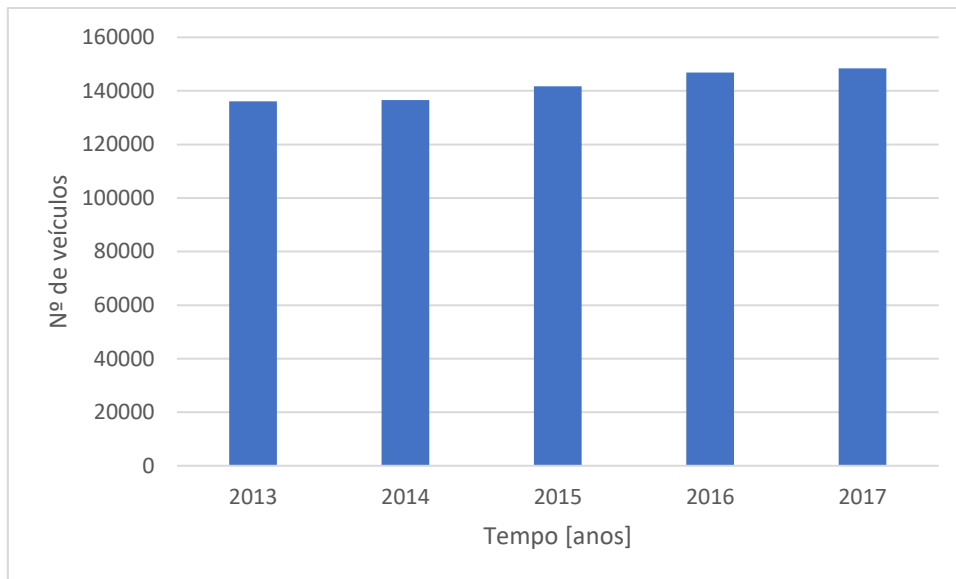


Gráfico 8 - Evolução do Parque Automóvel na R. A. Madeira [64]

Para a realização do estudo pretendido, é importante perceber a energia média diária necessária para realizar um carregamento de um veículo elétrico. Em seguida será demonstrado os cálculos realizados para a obtenção desse mesmo valor.

5.2.2. Energia Média Diária Consumida por um veículo Elétrico

Com o objetivo de determinar a energia média diária necessária para a realização de um carregamento de um EV, é necessário ter em conta o consumo médio dos veículos elétricos e a distância média diária percorrida.

Para o cálculo do consumo médio diário, foi utilizada a média do consumo dos 5 modelos de veículos elétricos mais vendidos em Portugal nos primeiros 4 meses de 2018. A soma dos 5 modelos mais vendidos atingiu o valor de 1048.

O consumo de um veículo elétrico é calculado através da seguinte expressão:

$$C_{ev} = \frac{\text{capacidade da bateria} \times 100}{\text{autonomia}} \quad (5.1)$$

Onde,

C_{EV} – Consumo de um veículo elétrico [kWh/100km]

Na tabela 12 são apresentadas as unidades dos 5 veículos elétricos mais vendidos entre Janeiro e Abril de 2018 e as suas principais características. [66]

Marca e Modelo	Unidades de veículos vendidos	Capacidade [kWh]	Autonomia	Consumo Calculado [kWh/100km]
Renault Zoe	485	41	300	13,67
Nissan Leaf	230	40	270	14,81
Citroen C-Zero	153	14,5	150	9,67
Smart Fortwo	107	17,6	155	11,35
BMW seriei3	73	27,2	200	13,60

Tabela 12 - Unidade de veículos vendidos e suas principais características [67,68,69,70,71]

Após a realização do cálculo do consumo para cada um dos 5 modelos apresentados anteriormente, procedemos ao cálculo do consumo médio desses mesmos veículos através da seguinte expressão:

$$C_{MED_EV} = \frac{\sum(V_{EV} \times C_{EV})}{\sum V_{EV}} \quad (5.2)$$

Onde,

C_{MED_EV} - Consumo médio do veículo elétrico (kWh/100km);

V_{EV} – Número de unidades do modelo de EV vendidas;

C_{EV} – Consumo do modelo de EV (kWh/100km)

$$C_{MED_EV} = 13,094 \text{ kWh/100km}$$

Para concluir o cálculo da energia média diária necessária para o carregamento de um veículo elétrico, é essencial ter em consideração a capacidade da bateria do veículo e a distância percorrida por este.

Tendo em conta o estudo “*Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe*”, foi determinado que a distância média percorrida por um veículo nos países europeus é de 27 km. Ao assumir que a energia disponível na bateria representa 80 % da energia necessária para a realização do carregamento, é possível afirmar que a energia média diária para o carregamento de um veículo elétrico é dada pela expressão seguinte:

$$E_{MED_EV} = \frac{C_{MED_EV}}{Perf_{bat}} \times \frac{Dist_{MED}}{100} \quad (5.3)$$

Onde,

E_{MED_EV} – Energia média diária necessária para o carregamento de um EV (kWh);

$Perf_{bat}$ – Performance da bateria;

$Dist_{MÉDIA}$ – Distância média percorrida por um veículo nos países europeus (km).

$$E_{MED_EV} = 4,42 \text{ kWh}$$

Para finalizar o cálculo vamos ter em conta 10 % das perdas das linhas de distribuição, perfazendo assim um valor de 4,86 kWh de energia média diária necessária para o carregamento de um VE. [72]

$$E_{MED_totalEV} = 4,86 \text{ kWh}$$

5.2.3. Cenários de Implementação de Veículos Elétricos na Ilha da Madeira

Irão ser estudados vários cenários de implementação de veículos elétricos na ilha da Madeira.

No início do presente ano, estavam a circular na ilha da Madeira pouco mais de uma centena de veículos elétricos (híbridos e totalmente elétricos). Está também previsto uma aposta nos transportes públicos, nomeadamente no trajeto entre o aeroporto e o centro do Funchal, como também numa ligação entre o centro do Funchal e uma das maiores zonas hoteleiras da região, o corredor da Estrada Monumental.

Tendo em conta diferentes números de VE e através da energia média diária necessária para o seu carregamento, irá ser estudado o impacto da demanda de energia provocada por estes na rede elétrica da ilha da Madeira.

Serão então estudados 5 cenários, sendo estes os seguintes:

- 1º cenário:

Implementados 750 veículos elétricos. Cerca de 0,5% do atual parque automóvel na ilha da Madeira.

- 2º cenário:

Para este cenário, serão tidos em conta 2225 veículos elétricos. Este número corresponde a 1,5% do parque automóvel da ilha da Madeira no ano de 2017.

- 3º cenário:

Neste cenário será estudado a implementação de 3700 veículos elétricos, sendo que este número representa 2,5% do parque automóvel.

- 4º cenário:

Este penúltimo cenário é ligeiramente mais ambicioso, pois será considerado que 10% do parque automóvel é composto por VE. Isso traduz-se em 15.000 veículos movidos a eletricidade.

- 5ª cenário:

No último cenário será estudado a penetração de 30 000 veículos na ilha da Madeira. Este cenário é o mais otimista, pois representa 20% do atual parque automóvel.

5.2.3.1. Cenário I

Neste cenário será previsto que 0,5% do atual parque automóvel na ilha da Madeira é constituído por veículos elétricos.

$$E_{total_dia (0,5\%)} = E_{MEDtotalEV} * \text{Número de veículos}$$

$$E_{total_dia (0,5\%)} = 4,86 \times 750 \Leftrightarrow E_{total_dia (0,5\%)} = 3\,645 \text{ kWh}$$

$$E_{total_dia (0,5\%)} = 0,003645 \text{ GWh}$$

$$E_{total_ano (0,5\%)} = 1,33 \text{ GWh}$$

Com 750 veículos elétricos na ilha da Madeira, existiria um reduzido aumento no consumo de energia elétrica anual. Como é possível observar através do cálculo realizado, haveria um aumento na ordem dos 0,16%, tendo em conta o consumo de energia elétrica no ano de 2017.

É possível afirmar que a rede elétrica na ilha da Madeira, está preparada e possui todas as capacidades para este pequeno aumento no consumo de energia.

5.2.3.2. Cenário II

O segundo cenário será estudado tendo em conta 2 225 veículos elétricos, este número traduz-se em 1,5% do atual parque automóvel

$$E_{total_dia (1,5\%)} = E_{MEDtotalEV} * \text{Número de veículos}$$

$$E_{total_dia (1,5\%)} = 4,86 \times 2\,225 \Leftrightarrow E_{total_dia (1,5\%)} = 10\,813,5 \text{ kWh}$$

$$E_{total_dia (1,5\%)} = 0,0108135 \text{ GWh}$$

$$E_{total_ano (1,5\%)} = 3,95 \text{ GWh}$$

Neste segundo cenário, devido à demanda de energia provocada pelos consumos dos 2 225 veículos elétricos, existiria um aumento de 0,47% no consumo de energia anual. Verifica-se que este valor ainda está muito abaixo do desejado e previsto para um considerável aumento de eficiências no sistema eletroprodutor. Igualmente como verificado no cenário anterior, este aumento não traria contrariedades à rede elétrica na ilha da Madeira, tendo esta a capacidade de produção para satisfazer este ligeiro aumento.

5.2.3.3. Cenário III

O terceiro cenário consiste na análise que 2,5% do parque automóvel é constituído por veículos elétricos. Estariam assim a circular na ilha cerca de 3 700 VE.

$$E_{total_dia (2,5\%)} = E_{MEDtotalEV} * \text{Número de veículos}$$

$$E_{total_dia (2,5\%)} = 4,86 \times 3\,700 \Leftrightarrow E_{total_dia (2,5\%)} = 17\,982 \text{ kWh}$$

$$E_{total_dia (2,5\%)} = 0,017982 \text{ GWh}$$

$$E_{total_ano (2,5\%)} = 6,56 \text{ GWh}$$

Através da análise deste terceiro cenário, é possível constatar um aumento de 0,8% no consumo anual. Este aumento, como nos cenários anteriores é reduzido, não provocando ainda uma maior utilização das infraestruturas de produção de energia renovável. Através da implementação de 3 700 veículos elétricos haveria um menor

consumo de combustíveis fósseis, contribuindo para uma menor dependência energética.

5.2.3.4. Cenário IV

Neste penúltimo cenário, seremos um pouco mais ambiciosos e iremos considerar 15 000 veículos elétricos a circular na ilha, isto é, 10% do parque automóvel em 2017.

$$E_{total_dia (10\%)} = E_{MEDtotalEV} * \text{Número de veículos}$$

$$E_{total_dia (10\%)} = 4,86 \times 15\ 000 \Leftrightarrow E_{total_dia (10\%)} = 72\ 900\ kWh$$

$$E_{total_dia (10\%)} = 0,0729\ GWh$$

$$E_{total_ano (10\%)} = 26,6\ GWh$$

Este cenário consiste na implementação de 15 000 veículos movidos a eletricidade. Este valor corresponde a uma das metas da mobilidade elétrica na RAM num horizonte de 2020.

O valor do consumo provocado pelos 15 000 veículos, já vai de encontro aos objetivos desta dissertação. Através do aumento de cerca de 3% do atual consumo, traduzindo-se este em 26,6 GWh seria possível uma maior utilização das instalações de produção de energia por fontes renováveis, como também, com um carregamento controlado, reduzir a assimetria do diagrama de cargas.

Olhando para o valor de energia anual consumida pelos VE, este representa 13% da total produção por fontes de energia renovável. Podemos então concluir que esse aumento iria provocar uma maior utilização da potencialidade tanto dos parques eólicos como da estação de bombagem dos Socorridos.

5.2.3.5. Cenário V

Concluindo os cenários em estudo, teremos agora como objetivo a análise do impacto que 30 000 veículos elétricos na ilha. Este número representa cerca de 20% do parque automóvel. É o cenário mais ambicioso, pois para que tal aconteça é necessária uma grande aposta nesta nova tecnologia e meio de transporte. Para que tal aposta se realize, é necessário a continuidade da divulgação e da isenção de determinados impostos.

$$E_{total_dia (20\%)} = E_{MEDtotalEV} * \text{Número de veículos}$$

$$E_{total_dia (20\%)} = 4,86 \times 30\ 000 \Leftrightarrow E_{total_dia (20\%)} = 145\ 800\ kWh$$

$$E_{total_dia (20\%)} = 0,1458\ GWh$$

$$E_{total_ano (20\%)} = 53,22\ GWh$$

Vamos estudar a repercussão da implementação de 30 000 veículos elétricos no sistema eletroprodutor da ilha da Madeira.

A existência desta quantidade de veículos movidos a eletricidade, traria à rede elétrica um aumento do consumo na ordem dos 6%. Através deste seria possível um maior encaixe de renováveis no abastecimento de energia elétrica. Sendo que 200 GWh são produzidos atualmente através de fontes endógenas renováveis, 53 GWh significam 26,5% dessa produção, perfazendo assim um possível aumento na utilização das infraestruturas de produção de energia renovável.

Olhando para os valores de energia elétrica produzida pelas seguintes fontes: hidroelétrica, eólica, resíduos urbanos e fotovoltaica, sendo estes 78 GWh, 83 GWh, 47 GWh e 29 GWh, respetivamente, é possível verificar que o consumo dos 30 000

veículos elétricos ultrapassa a contribuição no último ano das fontes de energia fotovoltaica e de resíduos urbanos.

Através da análise da constituição da rede elétrica na ilha da Madeira, é possível concluir que esta possui potência instalada suficiente para assegurar o abastecimento do sistema eletroprodutor com este aumento. Assim sendo, é provado aqui uma oportunidade de aumento de eficiências no sistema elétrico da ilha da Madeira. Devido a este aumento, seria possível uma maior produção de energia elétrica, contribuindo para um maior uso das instalações já existentes sem a necessidade de novos investimentos.

Os cenários acima estudados são traduzidos nas tabelas e gráficos seguintes.

	1º cenário	2º cenário	3º cenário	4º cenário	5º cenário
Consumo provocado pela implementação dos VE (GWh)	1,33	3,95	6,56	26,6	53,22
Energia total entrada na rede 2017 (GWh)	834,24	834,24	834,24	834,24	834,24
Total de energia requerida pelo atual sistema e pelo consumo dos VE (GWh)	835,57	838,19	840,8	860,84	887,46

Tabela 13 - Quantificação dos cenários da implementação dos VE

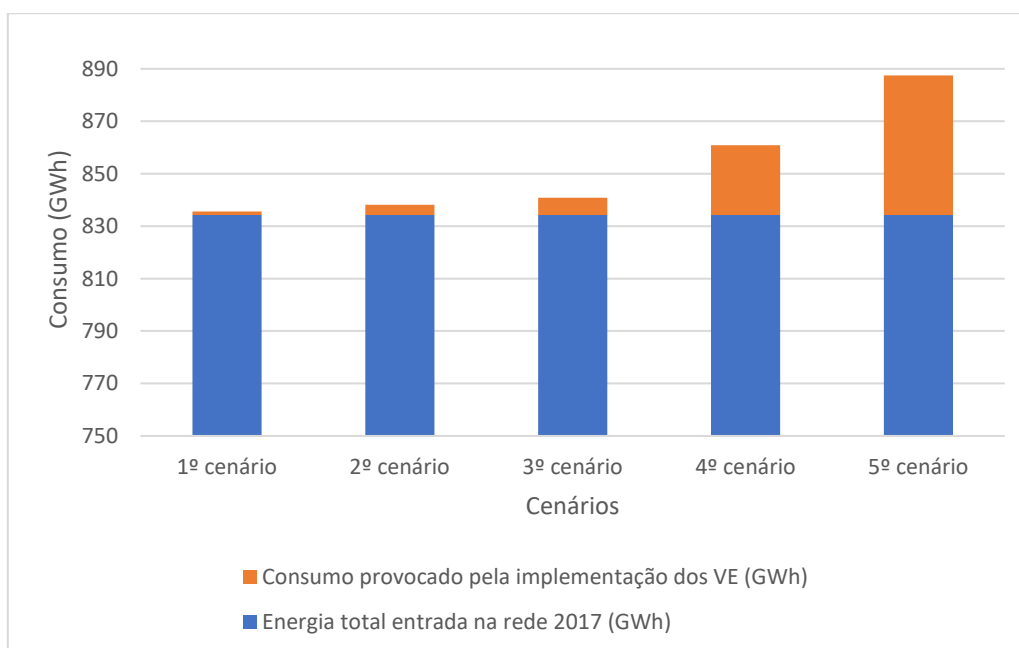


Gráfico 9 - Aumento da energia entrada na rede através dos consumos dos VE

	1º cenário	2º cenário	3º cenário	4º cenário	5º cenário
Consumo provocado pela implementação dos VE (GWh)	1,33	3,95	6,56	26,6	53,22
Produção de energia através de fontes de energia renovável * (GWh)	190,45	190,45	190,45	190,45	190,45
Total de energia requerida pelo atual sistema e pelo consumo dos VE (GWh)	191,78	194,4	197,01	217,05	243,67

* Hídrica, eólica e fotovoltaica.

Tabela 14- Análise da produção de energia por fontes renováveis vs consumo dos veículos elétricos

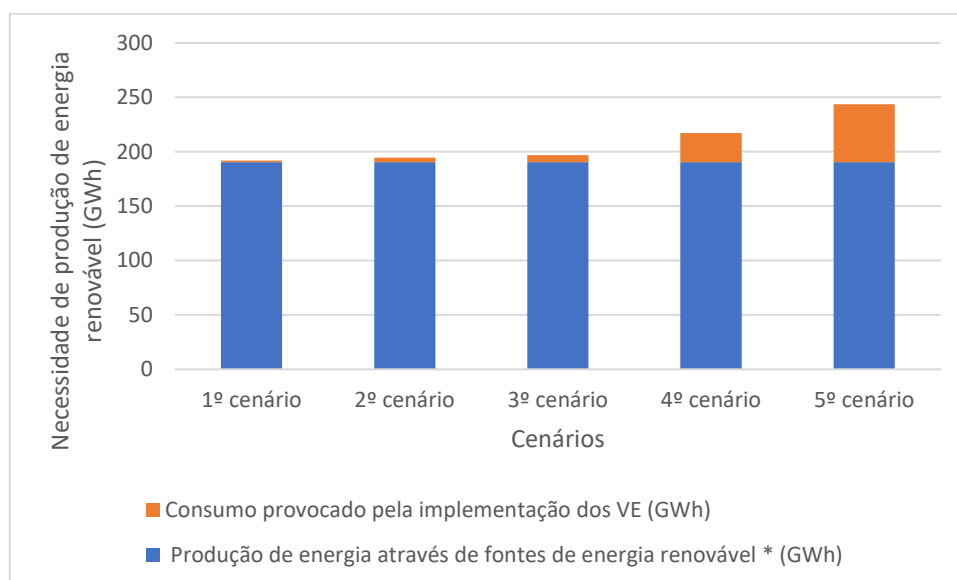


Gráfico 10 - Produção de energia renovável vs consumo dos VE

5.2.4. Implementação de veículos elétricos no horizonte 2021

Será agora estudado, a implementação de veículos elétricos na ilha da Madeira num determinado intervalo temporal.

Irá ser realizado uma estimativa do aumento do consumo de energia elétrica na ilha, através da penetração dos veículos elétricos e através da tendência apresentada nos últimos anos na curva da procura. Será também tido em conta o aumento da potência instalada com a entrada em serviço da central hidroelétrica da Calheta III.

Em relação aos veículos elétricos a serem implementados, iremos ter em consideração o objetivo da RAM em ter entre 5% e 10 % do parque automóvel em veículos elétricos até 2020.

Pretende-se estudar através deste aumento, como se comportará a rede elétrica, nomeadamente as instalações de produção através de energias renováveis.

Para a realização deste estudo, irá ser admitido uma evolução do consumo a uma taxa média de 0,7% entre 2017 e 2018, e 2018 e 2019. Entre 2019 e 2020, e 2020 e 2021 a taxa média irá aumentar para 1%.

Iremos também ter em consideração a meta traçada pelo Plano Energético Regional, em que está previsto o aumento para 50% da participação dos recursos energéticos renováveis na produção de eletricidade.

Os valores para a realização deste estudo estão representados na tabela 17.

Ano	Potência Instalada (MW)	Energia total entrada na rede ilha da Madeira (GWh)	Nº de VE	Consumo provocado pelos VE (GWh)	Total energia entrada para a rede c/ consumo dos veículos elétricos (GWh)
2017	322,45	834,24	85,00	-	834,24
2018	322,45	840,08	350,00	0,62	840,70
2019	352,45	845,96	1 250,00	2,22	848,18
2020	352,45	854,42	6 500,00	11,53	865,95
2021	352,45	862,96	15 000,00	26,60	889,56

Tabela 15 - Evolução do consumo face à implementação dos VE

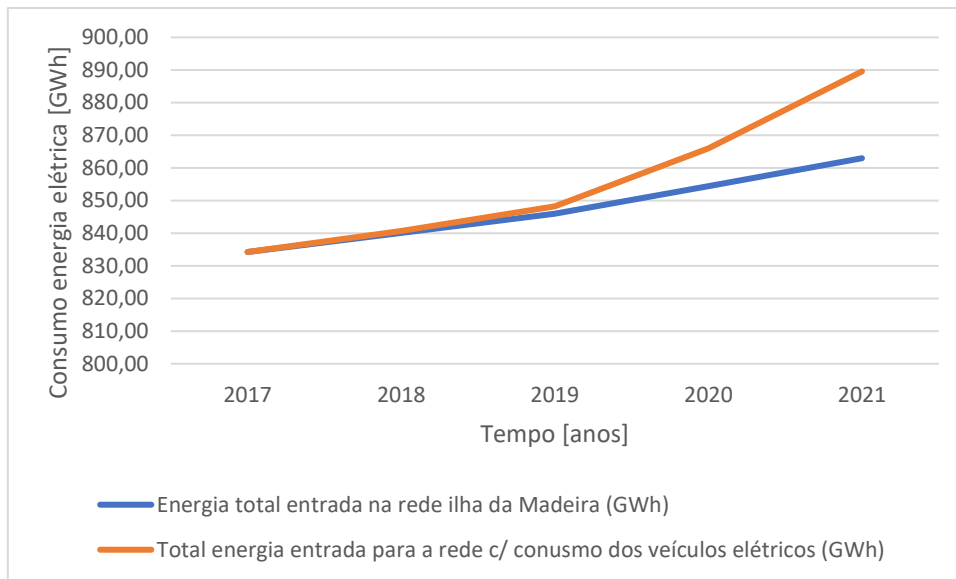


Gráfico 11 - Evolução do consumo c/ implementação dos VE

Através da análise dos valores da tabela 15, verificamos um considerável aumento no consumo de energia elétrica para os próximos anos. Tendo em conta a energia atual entrada na rede, até 2021 é previsto um aumento de aproximadamente 6%.

Ao realizar uma correspondência entre os valores de produção representados na tabela 5, com os valores de energia total entrada na rede da tabela 15, podemos concluir que para o ano de 2021 haveria um aumento na necessidade de produção de 6%.

Considerando uma das metas estabelecidas no Plano Energético Regional, 50% deste valor de produção, seria possível através da contribuição de fontes de energia renovável, sendo estas: as atuais centrais hidroelétricas com a inclusão em 2019 da Central Hidroelétrica da Calheta III, os parques eólicos, a estação de tratamento de resíduos sólidos e os parques fotovoltaicos. Perfazendo assim um valor total de 444,78 GWh.

Interpretando os valores deste estudo, tendo estes sido previstos de acordo com as metas traçadas pelo Governo Regional e por entidades do setor energético, podemos concluir que devido ao aumento do consumo de energia elétrica na ilha da Madeira haveria a oportunidade para uma maior contribuição de fontes endógenas de energia. Este aumento também causado pela implementação dos veículos elétricos, traria mais eficiências ao sistema eletroprodutor, como foi estudado ao longo deste documento.

Podemos então afirmar, que devido ao consumo provocados pelos VE, iria existir:

- Um maior encaixe de energias renováveis no abastecimento do sistema eletroprodutor,
- Uma maior utilização das instalações de produção através de fontes endógenas de energia;
- Uma redução na assimetria do diagrama de cargas, devido aos carregamentos nas horas de vazio dos veículos elétricos;
- Uma contribuição para uma menor dependência energética, sendo esta reduzida por aumento da mobilidade sustentável;
- Uma redução nas emissões de GEE;

5.3. Alterações no setor energético com a implementação dos veículos elétricos

5.3.1. Setor dos Combustíveis

Nesta secção irá ser estudado a evolução do consumo de combustíveis na ilha da Madeira, como também a evolução prevista dos preços do barril de petróleo num certo intervalo temporal com vista a realizar uma correta análise ao impacto dos veículos elétricos no sector energético da ilha.

5.3.1.1. Evolução do Consumo de Combustíveis

No gráfico seguinte é apresentado a evolução no consumo de combustíveis na R.A. da Madeira entre 2010 e 2017. Através da análise desses dados é possível compreender o consumo efetuado principalmente pelo setor dos transportes.

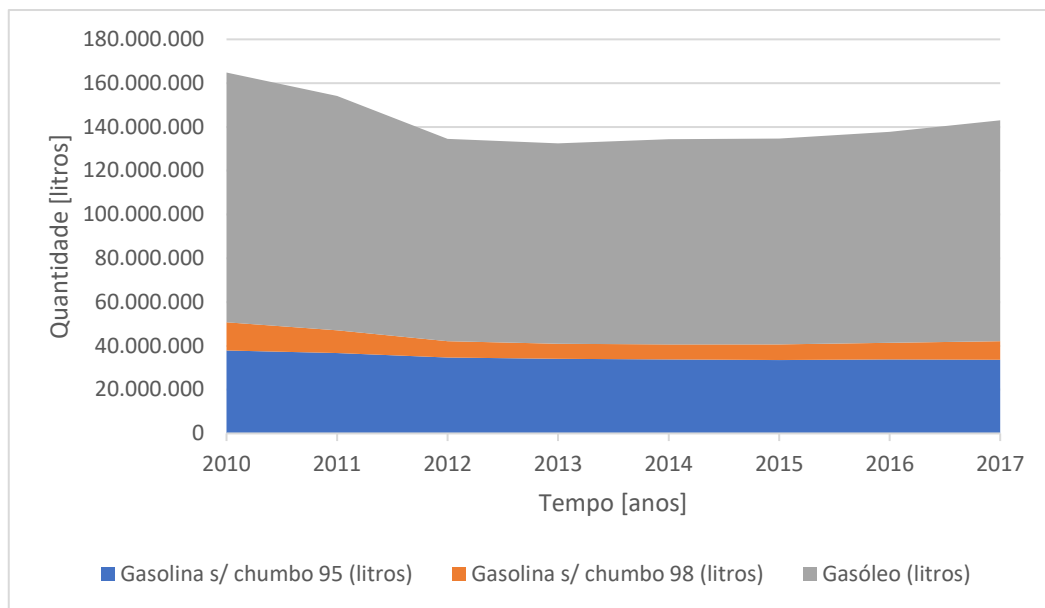


Gráfico 12 - Consumo de Combustíveis na R. A. Madeira 2010-2017 [59]

Analisando o gráfico 12, observamos uma grande redução do consumo de combustíveis entre 2010 e 2012, tendo esta sido mais significativa no gasóleo e na gasolina s/ chumbo 98. De 2012 até 2016 observamos uma estabilidade em todos os tipos de combustível, havendo uma ligeira subida no consumo após o ano de 2016. O consumo de gasolina s/ chumbo 95, manteve-se constante em todo o intervalo temporal.

5.3.1.2. Evolução de preços dos combustíveis

Serão apresentados em seguida os valores previstos do petróleo *BRENT* (USD/bbl) como também o preço de venda dos combustíveis na ilha da Madeira num determinado intervalo temporal. É pretendido com estes valores, comprovar a tendência crescente dos preços dos combustíveis tanto para um curto e médio prazo.

Ano	Gasolina s/ chumbo 95	Gasolina s/ chumbo 98	Gasóleo
2010	1,293 €	1,434 €	1,082 €
2011	1,461 €	1,599 €	1,290 €
2012	1,685 €	1,816 €	1,421 €
2013	1,688 €	1,811 €	1,382 €
2014	1,642 €	1,773 €	1,322 €
2015	1,487 €	1,624 €	1,149 €
2016	1,372 €	1,513 €	1,096 €
2017	1,449 €	1,596 €	1,184 €

Tabela 16 - Preços médios anuais dos combustíveis na ilha da Madeira [60,61]

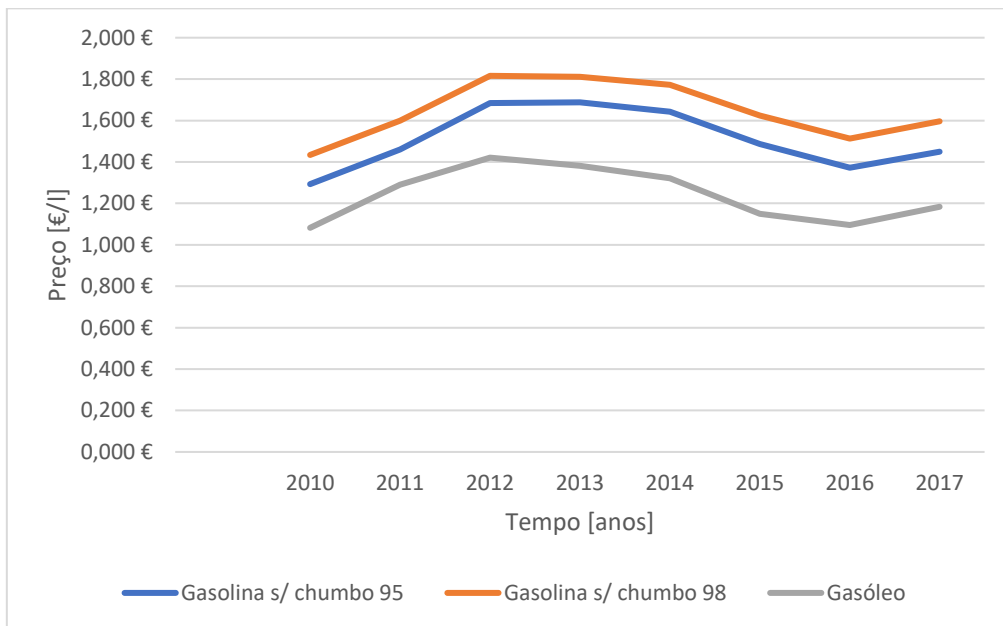


Gráfico 13 - Evolução temporal do preço médio anual dos combustíveis na ilha da Madeira [60,61]

	Petróleo BRENT (USD/bbl)
2014	99,5
2015	59,7
2016	68,2
2017	72,0
2018	74,5
2019	76,0
2020	81,1
2021	86,6
2022	92,5
2023	98,8
2024	105,7

Tabela 17 - Previsão do preço do barril de petróleo BRENT [62,63]

Por análise do gráfico 13, verificamos o aumento dos preços dos combustíveis entre 2010 e 2012, tendo atingido o valor médio anual máximo nesse mesmo ano. Havendo uma estabilização até 2014 e após essa estabilização um decréscimo até 2016.

Analisando os valores da tabela 17, é possível concluir que nos próximos anos haverá um considerável aumento dos preços dos combustíveis. Estando previsto, estes atingirem valores máximos históricos.

5.3.1.3. Emissões de CO₂ Produzidas pelo Setor dos Transportes

Para realizar o cálculo das emissões de CO₂ produzidas pelo setor dos transportes, é necessário ter em consideração o valor da emissão durante a combustão, sendo este valor diferente para os vários tipos de combustível. Sabendo este valor e multiplicando pela quantidade de combustíveis consumidos na ilha da Madeira, é possível obter a totalidade das emissões por tipo de combustível, presente na Gráfico 14.

Emissões de CO₂ durante a combustão: [65]

- Gasóleo

1kg combustível <=> 3,16 kg CO₂

- Gasolina

1kg combustível <=> 3,088 kg CO₂

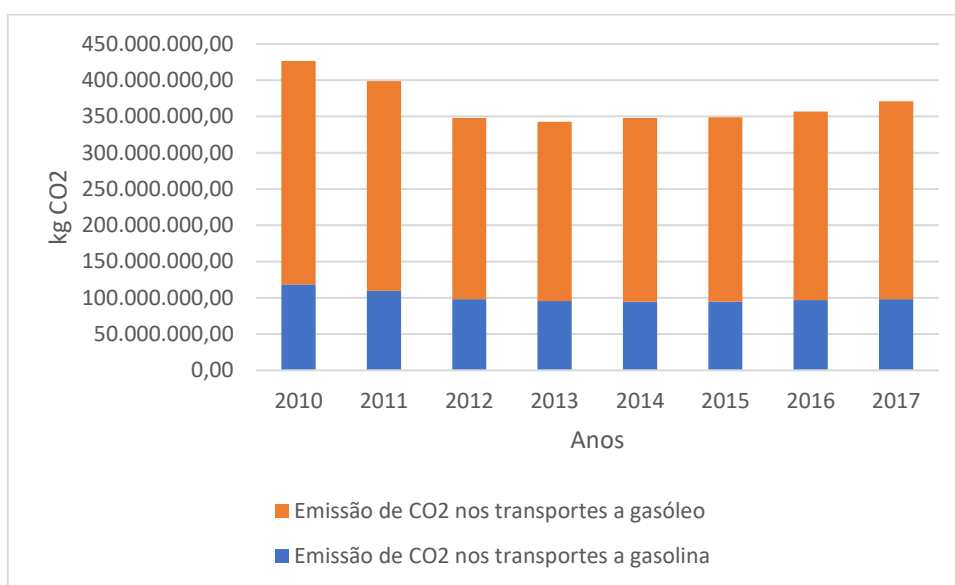


Gráfico 14 - Evolução das emissões de CO₂ pelo tipo de combustível

Tendo em consideração as tabelas e gráficos anteriores, e relacionando-os com os valores do parque automóvel da ilha da Madeira, poderemos verificar que num futuro próximo, haverá uma estabilização do número de veículos a circular na ilha, em consequência da aposta nos veículos movidos a eletricidade e devido a esta, determinados veículos convencionais chegarão ao seu fim de vida útil.

A implementação de veículos elétricos, irá provocar uma redução na importação de combustíveis fósseis, sendo esta diretamente proporcional ao número de veículos elétricos a serem implementados. Esta mesma situação irá provocar um decréscimo nas emissões de CO₂ no setor dos transportes.

Está previsto no Plano Energético Regional uma redução nas emissões de CO₂, na ordem dos 23% até 2020. Esta redução será possível através da contínua introdução dos veículos elétricos na ilha da Madeira e por uma maior utilização de infraestruturas de produção de energia renovável.

Irá ser realizado uma previsão da redução de emissões de CO₂, tendo por base o estudo realizado na sessão 5.2.4.

Ano	Parque Automóvel	Nº de Veículos Elétricos	Total de Veículos c/ emissão de CO ₂	Total de combustível consumido anualmente (litros)	Total de gasolina consumida anualmente (kg)	Total gasóleo consumido anualmente (kg)	Emissões de CO ₂ (ton)
2017	148 443	85,00	148 443	103 019 442	20 611 614	64 739 992	268 227
2018	150 224	350,00	149 874	104 012 556	20 810 312	65 364 090	270 813
2019	151 726	1 250,00	150 476	104 430 510	20 893 934	65 626 743	271 901
2020	152 637	6 500,00	146 137	101 418 798	20 291 366	63 734 108	264 060
2021	152 942	15 000,00	137 942	95 731 658	19 153 511	60 160 167	249 252

Tabela 18 - Previsão da evolução da emissão de CO₂ no setor dos transportes

Analisando os valores da tabela 18, onde foi realizado uma previsão de aumento do parque automóvel em 1% entre 2017 e 2018, e 2019 e 2019, tendo nos anos seguintes, havido um aumento inferior, 0,6% e 0,2% respetivamente. Estes valores foram tidos em consideração de acordo com o descrito acima, onde a previsão de aumento do parque automóvel irá estabilizar devido à implementação de veículos elétricos, provocando estes um fim de vida útil a veículos de combustão.

De maneira a obter o valor de combustíveis fósseis consumidos anualmente, foi considerado o valor médio diário percorrido por um veículo numa cidade europeia (27km), com um consumo médio de 7litros/100km.

Para o cálculo de emissão de CO₂, foi considerado que 26,5% dos veículos utilizavam gasolina e 73,5% utilizavam gasóleo. Estes valores representam a atual realidade no que concerne às emissões em estudo.

Assim, através da previsão em estudo, é possível concluir que haverá uma redução de 8 % nas emissões de CO₂ no setor dos transportes devido à implementação de veículos elétricos na ilha da Madeira.

Capítulo VI

6. Conclusões

A implementação de veículos elétricos no sistema elétrico isolado da ilha da Madeira, representa para este uma oportunidade de aumento de eficiências.

Através do estudo realizado neste Trabalho Final de Mestrado (TFM), é possível compreender como a rede elétrica na ilha se encontra numa situação de subaproveitamento de sistemas de produção de energia devido à redução no consumo nos últimos anos. Esta situação poderá ser ultrapassada através dos consumos dos veículos elétricos.

O aumento do consumo, provocado pela aposta numa nova forma de mobilidade sustentável, traria mais eficiência ao sistema eletroprodutor através do aumento da produção de energia, sendo que este aumento na produção provocaria uma maior contribuição de fontes de energia renovável.

Nos casos estudados nesta dissertação foi possível verificar que havendo 20% de veículos elétricos do atual parque automóvel, existiria um aumento na necessidade de produção anual de aproximadamente 50 GWh. Este valor poderia ser totalmente fornecido através de fontes de energia renovável. Quando realizado o estudo da previsão temporal até 2021, tendo em consideração a atual tendência de aumento do consumo conjugada com a penetração dos veículos elétricos constatou-se um aumento na produção de energia elétrica de 6% face ao ano de 2017.

A maior utilização dos veículos elétricos na ilha, contribuirá para a redução da assimetria no diagrama de cargas através do carregamento destes nas horas de vazio. Esta nova forma de mobilidade é um fator contribuinte para a obtenção das metas traçadas no Plano Energético Regional que visa uma redução de 23% das emissões de CO₂ até 2020, como também um aumento para 50% da produção de energia realizada nas centrais hidroelétricas, parques eólicos, na estação de tratamento de resíduos sólidos e nos parques fotovoltaicos.

Num futuro próximo, os veículos elétricos poderão contribuir ainda mais para a eficiência, segurança e sustentabilidade do sistema eletroprodutor da ilha da Madeira através da tecnologia V2G. Esta tecnologia poderá garantir uma maior estabilidade na frequência da rede quando existe o fornecimento de energia proveniente de fontes de energia renovável, nomeadamente por parques eólicos.

Bibliografia

Referências Bibliográficas

- [1] Caracterização da Rede de Transporte e Distribuição em AT e MT 2017 – EEM Online Available https://www.eem.pt/media/283469/sepm_2016.pdf [acedido a 16/05/2017]
- [2] Centrais Termoelétricas – EEM Online Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/centrais-termoel%C3%A9tricas/> [acedido a 08/08/17]
- [3] Centrais Termoelétricas – Central da Vitória – EEM Online Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/centrais-termoel%C3%A9tricas/central-da-vit%C3%B3ria/> [acedido a 08/08/17]
- [4] IBC-Madeira – Centro Internacional de Negócios da Madeira – Central Térmica da ZFI Available <http://www.ibc-madeira.com/pt/noticias/noticias/203-central-termica-da-zfi-recebeu-certificacao.html>
- [5] Sistema Elétrico – Produção na RAM – EEM Online. Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/centrais-hidroel%C3%A9tricas/> [acedido a 04/09/17]
- [6] Central Hidroelétrica da Serra de Água – EEM Online. Available <https://www.eem.pt/media/68391/ctserraagua.pdf> [acedido a 05/09/17]
- [7] Central Hidroelétrica da Calheta – EEM Online. Available <https://www.eem.pt/media/99002/ctcalheta.pdf> [acedido a 05/09/17]
- [8] Central Hidroelétrica da Calheta Inverno – EEM Online Available <https://www.eem.pt/media/63684/ctcalhetainverno.pdf> [acedido a 05/09/17]
- [9] Central Hidroelétrica dos Socorridos – EEM Online Available <https://www.eem.pt/media/99008/ctsocorridos.pdf> [acedido a 05/09/17]
- [10] Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira – EEM Online Available <https://www.eem.pt/media/99005/ctfnogueira.pdf> [acedido a 05/09/17]
- [11] Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela – EEM Online Available <https://www.eem.pt/media/99011/ctribeirajanela.pdf> [acedido a 05/09/17]

- [12] Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela – EEM Online Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/centrais-hidroel%C3%A9tricas/central-da-ribeira-da-janela/> [acedido a [05/09/17]
- [13] Central do Lombo Brasil – EEM Online Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/centrais-hidroel%C3%A9tricas/central-do-lombo-brasil/> [acedido a 05/09/2017]
- [14] Central da Fajã dos Padres – EEM Online Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/centrais-hidroel%C3%A9tricas/central-da-faj%C3%A3-dos-padres/> [acedido a 06/09/2017]
- [15] Caracterização da Rede Elétrica da Região Autónoma da Madeira – AERAM Available <http://cloud.aream.pt/Downloads/Projetos/TRES/TRES-Characterizac%C3%A7%C3%A3o%20da%20rede%20electrica%20da%20RAM.pdf> [acedido a 06/09/2017]
- [16] ETA Santa Quitéria – Águas da Madeira Available <http://www.aguasdmadeira.pt/Portals/0/Documentos/Instala%C3%A7%C3%B5es/ETA%20Santa%20Quit%C3%A9ria.pdf> [acedido a 06/09/17]
- [17] Parques Eólicos – EEM Online Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/sistema-el%C3%A9trico/produ%C3%A7%C3%A3o/parques-e%C3%B3licos/> [acedido a 06/09/17]
- [18] Parques Eólicos em Portugal - Energias Endógenas de Portugal Online Available <http://e2p.inegi.up.pt/?Lang=PT> [acedido a 06/09/17]
- [19] The Wind Power – Parque Eólicos Portugal Available http://www.thewindpower.net/windfarms_list_es.php [acedido a 06/09/17]
- [20] Soluções Eficiência Energética – Sistemas Solares Fotovoltaicos – ADENE Available <http://www.adene.pt/sites/default/files/documentos/10see-10-sist-fotovoltaico.pdf> [acedido a 08/09/17]
- [21] Energias Renováveis – Aprender Madeira Online Available <http://aprendermadeira.net/energias-renovaveis/> [acedido a 08/09/17]
- [22] Parques Fotovoltaicos em Portugal - Energias Endógenas de Portugal Online Available <http://e2p.inegi.up.pt/index.asp#noqo> [acedido a 08/09/17]

- [23] A IIRSU – Instalação de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos – ARM – Águas e Resíduos da Madeira, SA Online Available <http://aguasdamadeira.pt/Portals/0/Documentos/Instala%C3%A7%C3%B5es/ETRS%20-%20IIRSU.pdf> [acedido a 11/09/17]
- [24] Estação da meia Serra produz energia para cerca de 38 mil habitantes – Diário de Notícias Online – Available <http://www.dnoticias.pt/madeira/estacao-da-meia-serra-produz-energia-para-cerca-de-38-mil-habitantes-XE1017365> [acedido a 11/09/17]
- [25] Veículos Elétricos Pt Online Available <http://www.veiculoselectricospt.com/ev/> [acedido a 11/09/17]
- [26] História dos Veículos Elétricos – Veículos Elétricos Pt Online Available <http://www.veiculoselectricospt.com/historia-dos-veiculos-electricos/> [acedido a 11/09/17]
- [27] Linha do tempo | História do carro elétrico – Voltimum Online Available <https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/linha-do-tempo-historia> [acedido a 11/09/17]
- [28] Paris Agreement – United Nations 2015 Online Available https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf [acedido a 12/09/17]
- [29] Emotive – The Electric Vehicle Experience Online Available http://pluginbc.ca/wp/wp-content/uploads/2014/07/EV-Beginners-Guide_Final_Sept2_2014.pdf [acedido a 14/09/17]
- [30] EVgo Types of Electric Vehicles Online Available <https://www.evgo.com/why-evs/types-of-electric-vehicles/> [acedido a 14/09/17]
- [31] Prós e Contras – Veículos elétricos Online Available <http://www.veiculoselectricospt.com/pros-e-contras/> [acedido a 15/09/17]
- [32] Vantagens e desvantagens do Carro Elétrico vs Gasolina – Portal Energia Online Available <https://www.portal-energia.com/vantagens-e-desvantagens-do-carro-electrico-vs-gasolina/> [acedido a 15/09/17]
- [33] Guia técnico das instalações elétricas para a alimentação de veículos elétricos – Direção Geral de Energia e Geologia
- [34] Formas de Carregamento de Veículos Elétricos em Portugal – SGORME
- [35] SAE J1772-2009 electric vehicle connector – Online Available https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772 [acedido a 14/01/2018]

- [36] Type 2 (VDE-AR-E 2623-2-2) Mennekes – Online Available https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196 [acedido a 14/01/2018]
- [37] Type 3 connector Scame – EV PLUG ALLIANCE – Online Available <http://www.scameargentina.com.ar/en/infopoint/news/20120416.asp> [acedido a 14/01/2018]
- [38] Quickly and Easily Recharging Electric Cars – Continental – Online Available <http://revistaveiculoseltricos.pt/2017/07/01/continental-desenvolve-carregamento-por-inducao/> [acedido a [14/01/2018]
- [39] Wireless charging for electric vehicles and hybrid electric vehicles – WiTricity Online Available <http://witricity.com/products/automotive/> [acedido a 14/01/2018]
- [40] A future of never plugging in electric vehicles – Groupe Renault – Online Available <https://media.group.renault.com/global/en-gb/media/pressreleases/91420/renault-kangoo-ze-vers-la-recharge-sans-contact-des-vehicules-electriques1> [acedido a 14/01/2018]
- [41] Hayes, J.G. “Battery charging systems for electric vehicles” Conference Electric Vehicles – A technology Roadmap for the Future (Digest No. 1998/262), June 1998
- [42] From wireless to dynamic electric vehicles charging: The evolution of Qualcomm Halo – Online Available <https://www.qualcomm.com/news/onq/2017/05/18/wireless-dynamic-ev-charging-evolution-qualcomm-halo>
- [43] André Luís Lenz “Veículos Automotivos Movidos a Eletricidade” - Ebah Online Available <http://www.ebah.com.br/content/ABAAfOLEAl/veiculos-automotivos-movidos-a-eletricidade?part=7#> [acedido a 31/01/2018]
- [44] André Luís Lenz “ O Protocolo CHAdeMO e as Estações de Abastecimento Públicas em CC” – Veículos Elétricos – Os carros verdes – Emissão “Zero” de Carbono – Tecnologias e Empreendimentos Online Available <http://automoveiseletricos.blogspot.pt/2012/07/o-protocolo-chademo-e-as-estacoes-de.html> [acedido a 31/01/2018]
- [45] “Electric Vehicle Connector Types” Wallbox Online Available <https://www.wallbox.com/no/blog/5/electric-vehicle-connector-types.html> [acedido a 31/01/2018]
- [46] David B. Richardson, “Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration” Renewable and Sustainable Energy Reviews 19 (2013) 247-254

- [47] H. Lund and W. Kempton, "Integration of renewable energy into the transport and electricity sectors through V2G," *Energy Policy* vol. 36, no. 9. 3578-3587, Sep. 2008
- [48] J. R. Pillai, K. Heusen, and P.A. Østergaard, "Comparative analysis of hourly and dynamic power balancing models for validating future energy scenarios," *Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 3233–3243, 2011
- [49] M. Honarmand, A. Zakariazadeh, and S. Jadid, "Integrated scheduling of renewable generation and electric vehicles parking lot in a smart microgrid," *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, no. October, pp. 745–755, 2014.
- [50] M. Honarmand, A. Zakariazadeh, and S. Jadid, "Self-scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot using stochastic optimization," *J. Franklin Inst.*, vol. 352, no. 2, pp. 449–467, Feb. 2014.
- [51] M. Honarmand, A. Zakariazadeh, and S. Jadid, "Optimal scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot considering vehicle-to-grid concept and battery condition," *Energy*, vol. 65, no. February, pp. 572–579, Feb. 2014.
- [52] "Energias Renováveis e Integração na Smart Grid" - Magnum Cap Electrical Power Solutions – Online Available <http://www.magnumcap.com/pt/index.php/solutions/renewables-smartgridintegration> [acedido a 19/03/2018]
- [53] "Plano de acção para a energia sustentável – Ilha da Madeira" Março de 2012 – Desenvolvido no âmbito do Pacto das Ilhas
- [54] "Introdução de Gás Natural na Madeira" – Online Available <http://eem.pt/pt/conteudo/eem/projetos-recentesem-curso/introdu%C3%A7%C3%A3o-de-g%C3%A1s-natural-na-madeira/> [acedido a 31/07/2018]
- [55] "Ampliação do Aproveitamento Hidroelétrico da Calheta" – Online Available <https://www.eem.pt/pt/conteudo/eem/projetos-recentesem-curso/amplia%C3%A7%C3%A3o-do-aproveitamento-hidroel%C3%A9trico-da-calheta/> [acedido a 31/07/2018]
- [56] "Mobilidade Elétrica na RAM" – Online Available <http://eem.pt/pt/conteudo/eem/projetos-recentesem-curso/mobilidade-el%C3%A9trica-na-ram/> [acedido a 31/07/2018]
- [57] Mapa postos de carregamento MOBI.E – Online Available <https://www.mobie.pt/map> [acedido a 31/07/2018]

- [58] “SMart IsLand Energy systems (Smile) – Online Available <http://eem.pt/pt/conteudo/eem/projetos-recentesem-curso/projeto-smile/> [acedido a 31/07/2018]
- [59] “Introdução no Consumo de Combustíveis na R. A. Madeira (2008-2017)” – Direção Regional de Estatística da Madeira
- [60] “Produtos Petrolíferos e Energéticos 2014” – Direção Regional do Comércio, Indústria e Energia
- [61] “Produtos Petrolíferos e Energéticos 2017” – Direção Regional da Economia e Transportes
- [62] Conselho das Finanças, Previsões Macroeconómicas Subjacentes ao Programa de Estabilidade 2015-2019, Parecer do Conselho das Finanças Públicas, Lisboa 21 de Abril de 2015.
- [63] World Bank, World Bank Commodities Price Forecast, released 2015 Abril 22 – Online Available http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/GEP/GEPcommodities/PriceForecast_20150422.pdf [acedido a 07/09/2018]
- [64] Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões – Instituto de Seguros de Portugal, Parque Automóvel Seguro, 2016 e 2017.
- [65] SunEarthTools.com – Online Available <https://www.sunearthtools.com/pt/tools/CO2-emissions-calculator.php> [acedido a 10/09/2018]
- [66] Venda de carros elétricos dispara de Janeiro a Abril – “Expresso, Economia” – Online Available https://expresso.sapo.pt/economia/2018-06-17-Venda-de-carros-eletricos-dispara-de-janeiro-a-abril#qs.l_mmaPs [acedido a 11/09/2018]
- [67] Catálogo Renault ZOE – Online Available <https://www.renault.pt/gama/veiculos-eletricos/zoe/novo-zoe/> [acedido a 11/09/2018]
- [68] Autonomia e Carregamento Nissan Leaf – Online Available <https://www.nissan.pt/veiculos/novos-veiculos/leaf/carregamento.html> [acedido a 11/09/2018]
- [69] Catálogo Citroën C-ZERO – Online Available http://www.mycitroen.pt/Resources/Content/PT/Brochures/Acessorios/Catalogo_CZero.pdf [acedido a 11/08/2018]

[70] Smart EQ Fortwo: Dados Técnicos - Online Available <https://www.smart.com/pt/pt/index/smart-eg-fortwo-453/technical-data.html> [acedido a 11/09/2018]

[71] Dados Técnicos BMW i3 – Online Available <https://www.bmw.pt/pt/all-models/bmw-i3/2017/dados-tecnicos.html#tab-0> [acedido a 11/09/2018]

[72] The European Topic Center on Air and Climate Change, “Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe,” Julho 2009

[73] Formas de Carregamento de Veículos Eléctricos em Portugal – SGORME 2011

Apêndices

Apêndice 1 – “Evaluation of electric vehicles use to improve the existing power generation system efficiency in Madeira island“

Evaluation of electric vehicles use to improve the existing power generation system efficiency in Madeira island

Hugo F. Silva Pina

Department of Electrical Engineering Energy and Automation
ISEL, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Lisbon, Portugal
a33385@alunos.isel.pt

José L. Rosa de Almeida

Department of Electrical Engineering Energy and Automation
ISEL, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa
Lisbon, Portugal
jlalmeida@deea.isel.pt

Abstract - This paper intends to study the impact of the use of electric vehicle consumption to increase the efficiency of the existing power generation system of Madeira island. Due to the economic crisis there was a considerable decrease in the consumption of electricity. The reduction in the energy consumed was accompanied by an already planned increase of the installed power in the island. This decrease meant that ongoing or already concluded improvement projects were not used to their full potential. By relating these factors to environmental concerns, particularly the transport sector, a study was done on how the implementation of electric vehicles on the island would be beneficial to the electric system, namely by increasing the energy consumption as a possibility of a greater production of renewable energy. With this increased consumption, there will be a need for wider use of existing infrastructures, in particular of renewable energy sources, thus making the electrical grid more efficient and sustainable. It is also verified, through the implementation of electric vehicles, a reduction on imports of fossil fuels, in noise, greenhouse gas emissions and air pollution emissions.

Keywords - island energy network, renewable energies, electric vehicles

I. INTRODUCTION

In order to analyze the electric grid in the island of Madeira and its development, first it is necessary to identify the main problems related to an isolated island. To a large extent, the problems are related with the dependence of fossil fuels and availability of fresh water. But it is also necessary to recognize the limitations to the electric grid, because it's impossible to connect the isolated network to main land electric grids, making it difficult to implement solutions to reduce environmental cost like the air pollution and the CO₂ emissions.

Nowadays it is possible to look at all these limitations in a different way, taking into consideration renewable energy, electric vehicles and energy storage.

In the Portuguese island of Madeira, there can be found several renewable energy production infrastructures. As widely known, these facilities depend on their main source

of energy, which may not always be available or there may be in excess, when production is not consumed and is in surplus because there is no way to store it. Studying the electric vehicles and its implementation in the island, one should consider them as great help to solve the problems.

In addition to being considered as a means of transportation, they can be used to bypass the issues of the lost of energy produced by renewable energy sources and later used as an energy storage unit.

II. CONSTITUTION OF THE ELECTROPRODUCTIVE SYSTEM OF MADEIRA ISLAND

The power generation system of the island of Madeira is composed of two interconnected systems, the *Empresa de Eletricidade da Madeira* (EEM) and the private entities system. The total installed capacity (2017) is approximately 322 MW.

EEM power generation system

	Thermic.		Hydro.	Total
	Fuel oil	Natural Gas		
Number of plants	1		9	10
Installed capacity (MW)	112.64	54.50	46.47	213.51
Production (GWh)	263.00	154.15	73.89	491.03
Emission (GWh)	254.17	150.82	73.37	478.35

Table 1 - EEM power generation system

Private entities power generation system

	Thermic.	Hydro.	Wind Power	Urban Waste	Photo.	Total
Number of plants	1	1	9	1	774	786
Installed capacity (MW)	36.00	0.70	45.11	8.00	19.13	108.94
Acquisition (GWh)	192.54	4.19	83.11	47.61	29.78	357.23

Table 2 - Private entities power generation system

In the last year, it was register a total energy input in the island of Madeira of 835.59 GWh.

The Fig. 1 shows the energy emissions in the electricity grid in that year, [1].

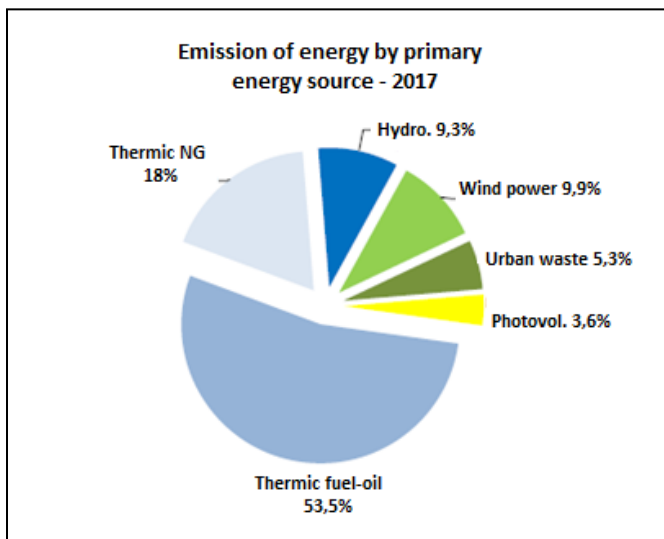


Fig. 1 – Emission of energy by primary energy source - 2017

The hydroelectric component had a contribution of 77.56GWh, and this value accounts to 9.3% of the total emitted by primary energy source.

When analyzing the wind power component, it represents a total emission of 83.11GWh, this is 9.9% share of the primary energy source in this same year. Was a favorable year in terms of resource as well as lower reception constraints on the network, due to security and stability of the electrical system.

Observing the solar component, this one constitutes an emission of 3.6%, being this value representative of 29.78GWh of total emission of energy in the island of Madeira.

Looking at the energy production from fossil fuels, there was a total emission per energy source of 71.5%. Of this type, 18% from the use of natural gas and 53.5% from the burning of fuel oil.

Thus, the energy mix for the grid to originate from non-fossil energies reached 28.5%. With a contribution of 9.9%,

9.3%, 5.7% and 3.6%, in wind power, hydroelectric, urban waste and photovoltaic components respectively.

A. Evolution of energy produced and consumed on the island of Madeira

In order to recognize and identify the opportunities to increase the efficiency of the electricity grid in the island, one must study and analyze its power generation system. To do this, it is necessary to analyze the power installed, the infrastructures of energy production and how they are being used, as well as energy produced and consumed annually.

Year	Installed power (MW).	Production (GWh)	Total energy entering the grid (GWh)	Supply to customers (GWh)	Average annual change
2008	262.2	941.28	921.90	839.32	4.30%
2009	292.00	940.48	924.50	842.00	0.30%
2010	352.8	924.94	911.30	830.80	-1.40%
2011	368.62	902.02	890.99	812.85	-2.30%
2012	354.5	870.28	861.33	786.53	-3.30%
2013	340.44	828.67	820.26	748.73	-4.80%
2014	325.06	838.78	829.33	756.84	1.20%
2015	325.94	841.79	826.29	754.35	-0.30%
2016	325.12	842.45	829.67	756.96	0.20%
2017	322.45	848.26	834.24	762.20	0.70%

Table 3 - Evolution of energy produced and consumed

Table 3 summarizes the values of the balance of electric energy of Madeira island in the last 10 years.

Analyzing the values shown above, there is a reduction in the energy produced from 2010, a result of the reduction in consumption where the average annual variation was -1.4% compared to the previous year. It is important to note that in the same year and in the following years (2010 and 2011) the installed capacity on the island is the most significant, reaching a value of 368.62MW in 2011, which is the highest value in the last 10 years.

In the following years, it is notorious the decrease of the energy consumed and consequently energy produced due to the deceleration of the economy in the region. Given this situation there is a reduction in the annual consumption growth rate of approximately 12% from 2010 to 2013. Due to this decrease and stagnation of the economy we can conclude by analyzing the values of the installed power that certain energy production infrastructures have been temporarily disconnected. Comparing the values of installed power and energy production values, and relating these, it is possible to verify that in 2008 and 2009 with lower values in installed power in the island there was a great energy production in relation to the following years in which there was a greater capacity of production.

In the last three years there has been a resumption of electricity consumption in the island of Madeira, thus accentuating the upward trend in consumption and consequently the recovery of the economy in the region.

B. Hydropower production and use of the Socorridos pumping station

Year	Socorridos Plant		Socorridos pumping station		
	Installed power (MW).	Production (GWh)	Installed power (MW).	Pump consumption (GWh)	Annual hours of use *
2008	24.30	26.68	11.25	2.40	213.0
2009	24.30	49.66	11.25	1.10	97.5
2010	24.30	39.99	11.25	0.90	80.0
2011	24.30	37.65	11.25	0.56	50.0
2012	24.30	26.05	11.25	0.65	58.0
2013	24.00	17.18	11.25	0.56	50.0
2014	24.00	30.87	11.25	1.33	118.0
2015	24.00	13.98	11.25	1.83	162.5
2016	24.00	34.68	11.25	0.72	64.0
2017	24.00	21.35	11.25	1.34	119.00

*Hours of use at maximum power

Table 4 – Hydropower production and use of the Socorridos pumping station

By analyzing Table 4, which are present energy production values for the hydroelectric plant of Socorridos, it appears that the most favorable hydrological years were 2009, 2010, 2011, 2014 and 2016.

Analyzing these years and looking at the consumption of electricity on the island - represented in table 3 - there is a decrease as observed previously from 2009. Between 2009 and 2013 there is a decrease in consumption of approximately 14%, which is reflected in the non-use of the Socorridos pump station. Although hydrologically favorable years have existed, the near-zero use of the pumping station demonstrates the lack of water availability for electricity production, as opposed to the production of energy through non-renewable energy sources. We support this idea looking at the year 2014, where despite being a hydrologically favorable year there is a greater use of the pumping station due to the increase of 1.2% in the total energy delivered to the grid, which is directly proportional to the consumption of electricity.

C. Wind production

Wind parks in island of Madeira				
Year	Installed power (MW).	Production (GWh)	Annual hours of use *	Hours of daily use *
2008	8.64	13.09	1515	4.00
2009	37.91	36.90	973	2.50
2010	37.91	67.33	1776	5.00
2011	43.91	71.49	1628	4.50
2012	43.91	82.62	1881	5.00
2013	45.11	81.71	1811	5.00
2014	45.11	87.58	1941	5.50
2015	45.11	75.01	1662	4.50
2016	45.11	82.48	1828	5.00
2017	45.11	83.11	1842	5.00

* Hours of use at maximum power

Table 5 – Annual average use of wind parks

Analyzing the values in table 5, we verified the investment of new wind parks in the years 2009 and 2011. In 2009 it can be seen a large increase in installed power on the island, this being in the order of 30MW. Through the investment made, it was foreseen a greater use of this resource both to supply the electric power system and to assist the Socorridos pumping station. By observing the values of annual and daily hours of use, it is important to highlight the few hours that wind farms are in operation.

Each of these cases will now be examined individually.

When analyzing the production values of wind farms in recent years, we verified that this resource was better used in 2012,2013,2014,2016 and 2017, with daily usage in these years being greater than or equal to 5 hours.

Concerning the aid from the pumping station, it is important to note that an average annual use of 800 hours was provided for this and that its pumping period is about 6 hours for all the accumulated flows. Therefore, by predicting its use, we can say that it would be guaranteed the supply of energy from the wind farms in their two hours of operation daily as well as the supply of energy during the 6 hours to carry out the pumping for the totality of their flows.

It is possible to affirm that with a greater increase of the consumption of electric power in the island of Madeira, the hours of use would be superior and would take advantage of the potentiality of these facilities, thus increasing the efficiencies and their annual contributions.

D. Opportunities to increase the efficiency of the power generation system of Madeira island

1) Increase in the consumption of electric energy

Throughout the years there has been a commitment to the improvement and efficiency of the entire electrical system present in the island of Madeira, through the investment made in the various sectors (production, transportation and distribution). This investment is fundamental for the evolution and updating of the electrical grid. This evolution and updating brought a greater capacity of production in the infrastructures of the electrical system.

As noted above, the consumption of energy by consumers on the island of Madeira has considerably decreased over the last few years. This reduction in consumption causes less efficiency in the electrical system due to the potential that exists for the production of energy. When analyzing these two components, relating the energy consumed with the production capacity, we verified that the energy consumed does not follow the investment made to increase the production capacity. Therefore, there is an opportunity for increased efficiency if there is an increase in consumption by users.

When there is an increase in the energy consumed, there will be a greater efficiency in the electric system because there will be a monitoring proportional to the real production capacity in the energy production facilities. With this increase, there will be a greater use of the energy produced at the same time as there is use of the potential of production in the infrastructures.

2) Increased use of renewable energy plants

Throughout the years there have been several projects and investments to improve and update the electricity grid in the island of Madeira. One of the main objectives of these investments and projects is to increase the contribution of the renewable component in the supply of electricity. In 2008 this contribution was approximately 15%, having increased in 2009 to 23%, due to the increase in wind and water components. This value increases slightly in the following years due to the investments made, with a contribution of 30%.

According to the goals of the Regional Energy Plan [2] and through the associated projects, it is intended to increase the share of renewable energy resources to 50%.

This increase will bring to the network greater efficiency and sustainability in the current case.

III. ELECTRIC VEHICLE

The electric vehicle is the best mobility solution taking into account the environmental aspects, namely global warming, air quality and the dependence that exists in fossil fuels.

Differing from the usual vehicles, this new form of mobility use an electric propulsion system instead of the common internal combustion.

The electric engine uses chemical energy stored in rechargeable batteries, which is then converted into electrical energy, thus supplying the motor which will then convert to mechanical energy, allowing the vehicle to move.

A. Electric vehicle benefits

- Cheaper to maintain

A petrol or diesel engine require many additional componente to operate correctly – exhaust systems, starter motors, fuel injection system, oil, gears, etc. Pure electric cars, on the other hand, have just three main componentes – the on-board charger, inverter and motor – and fewer moving parts than cars with na internal combustion engine. This means there are less things requiring maintenance. All of wich could save money.

- Zero carbon emissions

Electric cars are 100 percent eco-friendly as they run on electrically powered engines. It does not emit toxic gases or smoke in the environment as it runs on clean energy source. This type of vehicles can be fueled by electricity from renewable source, such as wind, hydropower and solar, reducing even further greenhouse gas emissions.

- Regenerative braking

Regenerative braking can be thought of as an energy recovery mechanism. When braking the motor switches into regenerative mode and acts like a generator. Instead of letting kinetic energy convert to heat, the motor converts the kinetic energy to electrical energy used to restore the batteries or capacitors.

Electric cars are cheaper to operate and maintain, reduce greenhouse gas emissions and deliver better performance. This is particularly important in an island, where everything must be imported.

B. Opportunities to increase efficiencies using electric vehicles consumptions

1) Increase in energy production

The use of vehicles powered by electricity would cause an increase in energy production in the region. Through this, it would be possible to optimize existing infrastructures.

As has been shown in previous chapters, there has been a reduction in demand for electricity due to the slowdown of the

economy in the region, thus causing a reduction in the need for production. This decrease in consumption has led to a lower utilization of the production capacity of the plants, as such, when considering the increase in consumption caused by the greater use of electric vehicles, it is possible to justify a greater energy production by both renewable energy sources and fossil fuels and potentialize existing production equipment, thus optimizing the power generation system.

2) Exploitation of surplus energy produced by renewable energy sources

With the increased use of renewable energies, it is possible to reduce dependence on external supplies of fossil fuels as well as to improve the local economy.

When looking at renewable energy production facilities on the island of Madeira, these have an average annual contribution of approximately 200GWh. Making about 25% of the energy supplied on the island of Madeira come from renewable energy sources.

Due to the variation in the availability of renewable energy sources, we consider this production variable, depending on the existence of the resource, being this water, wind or the sun. At the moment in the region it is not always possible to immediately use the energy that is possible to be produced, causing it to be wasted. As there is no possibility of storage of this and considering the decrease of the consumption of electric energy in the region, the infrastructure is wasted.

With the implementation of electric vehicles in Madeira island and the consequent increase in electricity consumption, it is necessary to increase the production of electric energy in the region and also to make better use of the energy produced through renewable sources. Improving sustainability, energy efficiency and the economy.

When analyzing existing infrastructures, this ones are sufficient for the energy demand in the region, there will be no need for new investments.

3) Increase in consumption during empty hours

By introducing the electric vehicles into an isolated electrical system, it is possible to make greater use of the energy produced during the hours of emptiness. The electric vehicle is seen as an optimal load for the hours of least consumption, and this load can be controlled or uncontrolled. With the empty hours for the Madeira island between the hours of 11:00 p.m. and 9:00 a.m., it is possible to use the energy produced at these times (which is usually scarce) by the electric vehicles.

With the use of the energy produced in these same hours to carry out the charging of the electric vehicles, it is possible to

make an isolated electrical system more efficient, that is, there is the possibility of using the energy possible to be produced in these hours of less consumption for the demand caused by the charging of electric vehicles.

Briefly, it is possible to reduce the current asymmetry of the load diagram (consumption in empty hours) and at the same time increase the integration of renewable energy sources in the production of electricity.

4) Increase in the use of the Socorridos pumping station (with energy from wind farms)

When analyzing existing production equipment, previously mentioned (Socorridos pumping station and all wind farms), it can be seen that there may be a greater use of both with the penetration of the EV in the island of Madeira.

The Socorridos pumping station, which complements the plant, guarantees its availability through its strategic water reserve of around 40.000 m³ at a height of 547 meters. The water present in the reservoir is turbid at rush hour and accumulated after this process in a gallery with the same capacity at 85 meters. During the night and during periods of emptiness, the water is again placed in the reservoir at a height of 547 meters, in a pure pumping regime, to start a new cycle.

This pumping station is equipped with three pumps of about 3.75MW of unit power, plus an additional one of reserve. Its pumping period is about 6 hours for all the accumulated flows. An average annual use of this installation is expected to be around 800 hours.

In order to consolidate this analogy, when analyzing the number of hours used annually at the maximum power represented in table 4, we verified a zero use of this station in the last 10 years. There is a notable lack of use of this pumping system due to the reduction of consumption and the low utilization of the wind component to carry out the pumping.

When there is an increase in electric mobility in the region and with the resumption of electricity consumption, directly caused by this, there would be the possibility of a greater use of this pumping station with energy from wind farms.

Through the combined use of these two systems, it is possible to increase the efficiency and sustainability of the electricity grid in the island of Madeira, that is, there is an opportunity to resort to the pumping system more often, thereby improving the contribution of the wind power component.

IV. STUDY OF THE IMPLEMENTATION OF ELECTRIC VEHICLES

A. Car park in Madeira island

In order to carry out the study, the current car park of the island was taken into account. In 2017 there were 148433 vehicles to circulate in the region, this number increased 9% over the year 2013 as we can see in figure 2. [3]

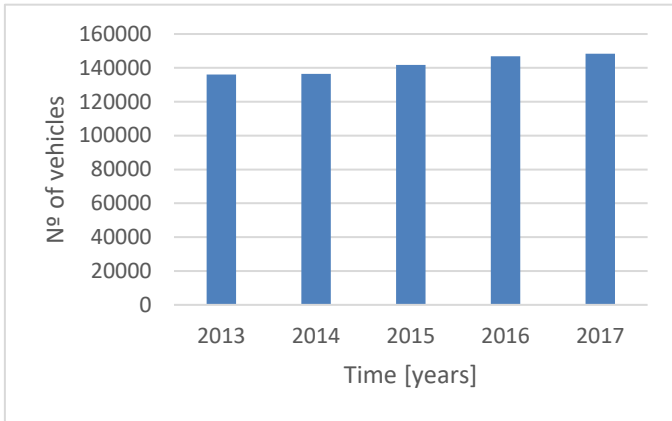


Fig. 2 – Car park evolution in Madeira Island

B. Average daily energy consumed by an EV

In order to determine the average daily energy required to carry a EV load, it is necessary to take into account the average consumption of electric vehicles and the average distance traveled.

For the calculation of average daily consumption, the average consumption of the 5 most sold electric vehicle models in Portugal in the first 4 months of 2018 was used.

The consumption of an electric vehicle is calculated by the following expression:

$$C_{ev} = \frac{\text{battery capacity} \times 100}{\text{autonomy}}$$

With:

C_{ev} – Consumption of an electric vehicle [kWh/100km]

The table 6 shows the units of the 5 most sold electric vehicles between January and April 2018 in Portugal.

Brand and model	Units sold	Capacity [kWh]	Autonomy [km]	Calculated consumption [kWh/100km]
Renaul Zoe	485	41	300	13.67
Nissan Leaf	230	40	270	14.81
Citroen C-zero	153	14.5	150	9.67
Smart Fortwo	107	17.6	155	11.35
BMW seriei3	73	27.2	200	13.60

Table 6 - Units of vehicles sold and their characteristics

After the calculation of the consumption for each of the 5 models presented above, we calculated the average consumption of these vehicles using the following expression:

$$C_{MED_{EV}} = \frac{\sum(V_{EV} \times C_{EV})}{\sum V_{EV}}$$

With:

$C_{MED_{EV}}$ – Average consumption of the electric vehicle (kWh/100km)

V_{EV} – Number of units sold by model;

C_{EV} – Consumption of the EV model (kWh/100km)

$$C_{MED_{EV}} = 13.094 \text{ kWh/100km}$$

In order to complete the calculation of the average daily energy required for the charging of an electric vehicle, it is essential to take into account the battery capacity of the vehicle and the distance traveled by it.

Taking into account the study "Environmental impacts and impact on the electricity market of a large scale introduction of electric cars in Europe", it was determined that the average distance traveled by a vehicle in European countries is 27 km. Assuming that the available energy in the battery represents 80% of the energy required to carry the charge, it can be stated that the average daily energy for charging an electric vehicle is given by the following expression:

$$E_{MED_{EV}} = \frac{C_{MED_{EV}}}{Perf_{bat}} \times \frac{Dist_{MED}}{100}$$

With:

$E_{MED_{EV}}$ – Average daily energy required for the charging of an EV (kWh)

$Perf_{bat}$ – Battery performance;

$Dist_{MED}$ – Average distance traveled by a vehicle in a European country (km).

$$E_{MED_{EV}} = 4.42 \text{ kWh}$$

To finalize the calculation, we will take into account 10% of the losses of the distribution lines, thus making a value of 4.86 kWh of average daily energy required for the loading of a EV.

$$E_{MED_{totalEV}} = 4.86 \text{ kWh}$$

C. Scenarios for the implementation of electric vehicles in Madeira island

Several scenarios of implementation of electric vehicles will be studied in the island of Madeira.

Taking into account different numbers of VE and through the average daily energy required for their loading, will be studied the impact of energy demand caused by these in the electricity grid of the island of Madeira.

Five scenarios will be studied, as follows:

- 1° Scenario

Number of EV: 750 (0.5% of the car park in Madeira island in 2017)

$$E_{total_day(0,5\%)} = E_{MEDtotalEV} * \text{Number of vehicles}$$

$$E_{total_day(0,5\%)} = 4.86 \times 750 = 3\,645\text{kWh}$$

$$E_{total_day(0,5\%)} = 0.003645\text{GWh}$$

$$E_{total_year(0,5\%)} = 1.33\text{GWh}$$

- 2° Scenario

Number of EV: 2225 (1,5% of the car park)

$$E_{total_year(1,5\%)} = 3.95\text{GWh}$$

- 3° Scenario

Number of EV: 3700 (2,5% of the car park)

$$E_{total_year(2,5\%)} = 6.56\text{GWh}$$

The demand of energy caused by the electric vehicles in the three first scenarios, is not significant to a bring a considerable improve in the existing power generation system efficiently.

- 4° Scenario

Number of EVs: 15000 (10% of the car park)

$$E_{total_year(10\%)} = 26.6\text{GWh}$$

In this scenario, with the implementation of 15000 vehicles powered by electricity, it is possible to see an increase of around 3% of current consumption, which translates into 26.6 GWh, would make it possible to increase the use of energy production facilities by renewable sources, as well as, with controlled loading, reduce the asymmetry of the energy loads.

Looking at the annual energy value consumed by EVs, this represents 13% of total production by renewable energy sources. We can therefore conclude that this increase would cause greater use of the potentiality of both the wind farms and the Socorridos pumping station.

- .5° Scenario

Number of EV: 30000 (20% of the car park)

$$E_{total_year(20\%)} = 53.22\text{GWh}$$

The existence of this amount of vehicles powered by electricity, would bring to the electricity grid an increase in consumption of around 6%. Through this would be possible a greater fit of renewable in the supply of electric energy. Since 200GWh are currently produced through renewable endogenous sources, 53GWh means 26.5% of this production, thus making possible a rise in the use of renewable energy production infrastructures.

Through the analysis of the electricity network in Madeira island, it is possible to conclude that it has sufficient installed power to ensure the supply of the electric power system with this increase. Therefore, an opportunity to increase efficiencies in the island's electrical system is proven here.

The following figures represent the increase in energy consumed by the implementations of the various scenarios described above. It is possible to verify in the latter two scenarios a considerable increase and a possibility in the improvement of efficiencies in the electric grid. This improvement would lead to greater use of the potential of electricity generation facilities, in particular through renewable.

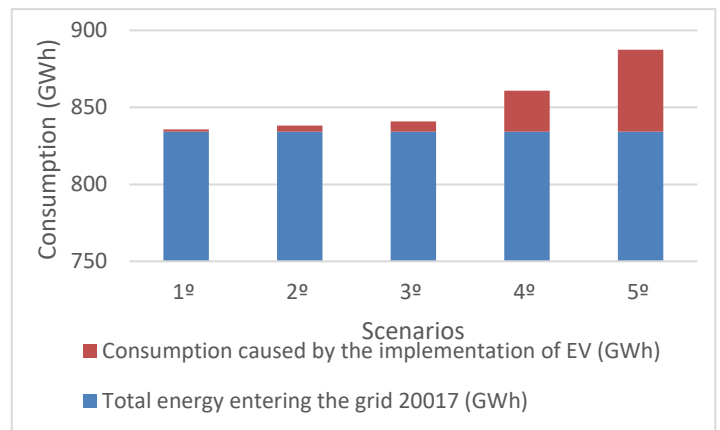


Fig. 3 - Increase in consumption through EV consumption

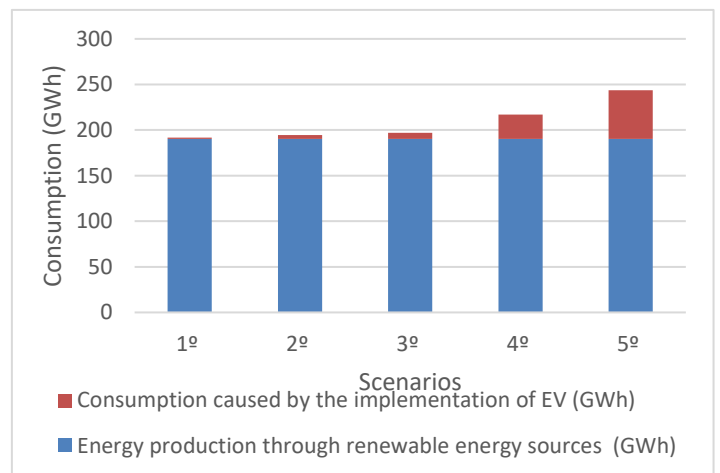


Fig. 4 - Increase in the production of renewable energy through EV consumption

D. Implementation of EV in the 2021 horizon

It will now be studied the implementation of electric vehicles on the island of Madeira in a certain time interval.

An estimate will be made of the increase in electricity consumption on the island, through the penetration of electric vehicles and through the trend presented in recent years in the demand curve. The increase in installed capacity will also be considered when the Calheta III hydroelectric power plant is put into service [4].

Regarding the electric vehicles to be implemented, we will take into account the goal of the RAM to have between 5% and 10% of the car fleet in electric vehicles by 2020. [5]

It is intended to study through this increase, how will behave the electricity grid, namely the production facilities through renewable energy.

In order to carry out this study, an evolution of consumption will be allowed at an average rate of 0,7% between 2017 and 2018, and 2018 and 2019. Between 2019 and 2020, and 2020 and 2021 the average rate will increase to 1%.

We will also take into account the goal set by the Regional Energy Plan, [2] which provides for an increase of 50% in the share of renewable energy resources in electricity production.

The values for this study are shown in table 7.

Year	Installed power (MW).	Total energy entering the grid (GWh)	N~of EV	Consumption caused by the EV (GWh)	Increase in consumption through EV consumption (GWh)
2017	322,45	834,24	85,00	-	834,24
2018	322,45	840,08	350,00	0,62	840,70
2019	352,45	845,96	1250,00	2,22	848,18
2020	352,45	854,42	6500,00	11,53	865,95
2021	352,45	862,96	15000,00	26,60	889,56

Table 7 – Evolution of consumption due to the implementation of EV

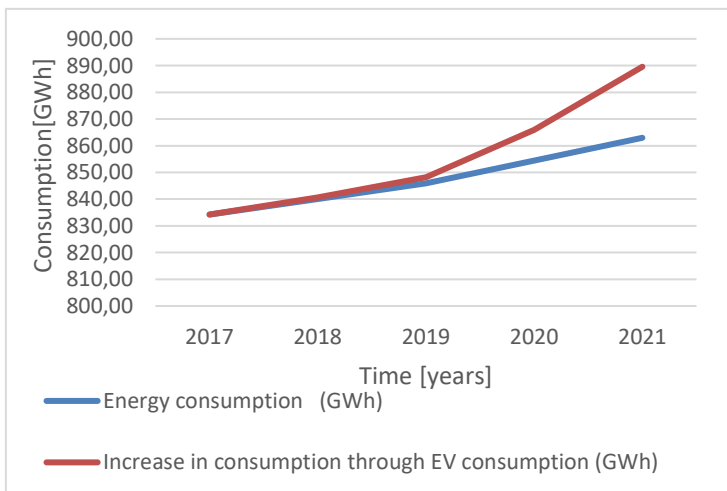


Fig. 5 - Evolution of consumption 2021 horizon

By analyzing the values in Table 7, we see a considerable increase in the consumption of electric energy for the coming years. Taking into account the current energy input into the network, by 2021 an increase of approximately 6% is anticipated.

Considering one of the goals established in the Regional Energy Plan, 50% of this production value would be possible through the contribution of renewable energy sources, such as: the current hydroelectric plants with the inclusion in 2019 of the Calheta III Hydroelectric Plant, wind farms, the solid waste treatment plant and the photovoltaic parks. This makes a total value of 445GWh.

Interpreting the values of this study, which were predicted according to the goals set by the Regional Government and by entities in the energy sector, we can conclude that due to the increase in the consumption of electric power in the island of Madeira, there would be an opportunity for a greater contribution from sources endogenous energy sources. This increase, also caused by the implementation of the electric vehicles, would bring more efficiencies to the electric power system, as studied throughout this document.

We can assume that due to consumption caused by the VE, there would be:

- A greater contribution of renewable energies in the supply of the electroproduction system,
- A reduction in the asymmetry of the load diagram, due to the loadings in the empty hours of the electric vehicles;
- A contribution to lower energy dependency, which is reduced by increasing sustainable mobility;
- A reduction in GHG emissions.

V. CONCLUSIONS

The implementation of electric vehicles in the isolated electrical system of the island of Madeira represents for this an opportunity to increase efficiencies.

Through the study carried out in this article, it is possible to understand how the electricity grid in the island is in a situation of underutilization of energy production systems due to the reduction in consumption in recent years. This situation can be overcome through the consumption of electric vehicles.

Increased consumption, brought about by a new form of sustainable mobility, would bring more efficiency to the electricity generation system by increasing energy production, and this increase in production would lead to a greater contribution from renewable energy sources.

In the cases studied it was possible to verify that there are 20% of electric vehicles of the current car park, there would be an increase in the production requirement of approximately 50GWh. This amount could be fully provided through renewable energy sources. When the study of the temporal forecast was carried out until 2021, taking into account the current trend of increasing consumption coupled with the

penetration of electric vehicles, an increase in electricity production of 6% compared to 2017 was observed.

The greater use of the electric vehicles in the island, will contribute to the reduction of the asymmetry in the diagram of loads through the loading of these in the hours of emptiness. This new form of mobility is a contributing factor to achieving the goals outlined in the Regional Energy Plan that aims to reduce CO₂ emissions by 23% by 2020, as well as a 50% increase in energy production in hydroelectric power stations, parks wind farms, solid waste treatment plants and photovoltaic parks.

REFERENCES

- [1] Caracterização da rede de transporte e distribuição em AT e MT 2017 – EEM - DEP – Direção de Estudos e Planeamento, Março de 2018
- [2] Pact of Islands, Plano de acção para a energia sustentável – Ilha da Madeira, Março, 2012
- [3] Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões – Instituto de Seguros de Portugal, Parque Automóvel Seguro, 2016 e 2017.
- [4] Ampliação do aproveitamento hidroelétrico da Calheta - <https://www.eem.pt/pt/conteudo/eem/projetos-recentesem-curso/amplia%C3%A7%C3%A3o-do-aproveitamento-hidroel%C3%A9trico-da-calheta/>
- [5] Mobilidade elétrica na RAM - <https://www.eem.pt/pt/conteudo/eem/projetos-recentesem-curso/mobilidade-el%C3%A9trica-na-ram/>