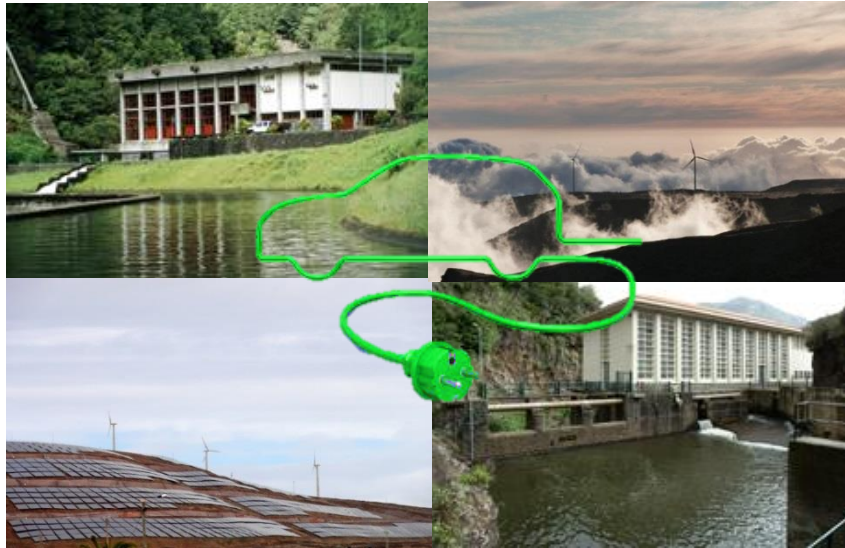




ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia e Sistemas de Potência e Automação



Aumento de Energia Renovável na Ilha da Madeira – Proposta Integrada para o Setor dos Transportes e da Geração de Energia Elétrica

ÉNIA JOSÉ MARTINS DA SILVA
(Licenciada em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientadores:

Professora Cristina Inês Camus

Professor Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Júri:

Presidente: Professor Constantino Vital Sopa Soares

Vogais:

Professora Cristina Inês Camus

Professor Victor Manuel Fernandes Mendes

Dezembro de 2014

Dissertação realizada sob orientação de:

Doutora Cristina Inês Camus

Professora Adjunta

Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação

INSTITUTO SUPERIOR de ENGENHARIA de LISBOA

Mestre Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Equiparado a Assistente 2º Triénio

Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação

INSTITUTO SUPERIOR de ENGENHARIA de LISBOA

Resumo

A presente dissertação tem como objetivo estudar o aumento da penetração de energias renováveis e de veículos elétricos na ilha da Madeira de modo a diminuir os custos económicos com a importação de combustíveis fósseis e reduzir as emissões de dióxido de carbono. Elaborou-se uma curta revisão da literatura sobre os estudos do potencial renovável para a ilha da Madeira e sobre os veículos elétricos. De seguida caracterizou-se o sistema energético da ilha quer em relação ao setor elétrico quer ao setor dos transportes. E por fim mostrou-se o método utilizado para caracterizar e projetar o setor elétrico e dos transportes.

Considerou-se vários cenários, BAU para os anos 2013, 2020 e 2030, cenários de penetração de veículos elétricos para 2020 e 2030, diferentes perfis de carregamento dos veículos elétricos e cenários de consumo de energia elétrica em 2020 e 2030, e realizou-se uma análise dos mesmos.

É de salientar que o carregamento não controlado será o menos adequado para a rede elétrica uma vez que irá intensificar a ponta do diagrama de carga.

Com a penetração de veículos elétricos é possível diminuir os custos e as emissões relativamente ao cenário BAU, sendo que os custos com o combustível apresenta uma redução de 6,1 % e foram evitadas 1398 toneladas de CO₂.

Palavras – chave: Energias Renováveis, Veículos Elétricos, ilha da Madeira, Perfis de Carregamento

Abstract

This thesis aims to study the increased penetration of renewable energy and electric vehicles on the island of Madeira in order to reduce the economic costs of importing fossil fuels and reduce emissions of carbon dioxide. A short literature review of the main studies of the potential for renewable energy in Madeira and on electric vehicles was prepared. Then the energy system of the island was characterized for the electricity sector and the transportation sector. Finally, a methodology was developed to characterize and design the electrical and transportation sectors.

Different scenarios were considered, BAU for the 2013, 2020 and 2030 years, electric vehicle penetration scenarios of 2020 and 2030, are studied different charging profiles and energy electric consumption scenarios in 2020 and 2030.

It should be noted that the uncontrolled loading will be less suitable for the grid as it will intensify the peak of the load diagram.

The penetration of electric vehicles can reduce costs and emissions relative to the BAU scenario, fuel costs shows a reduction of 6.1% and 1398 tons of CO₂ were avoided.

Keywords: Renewable Energy, Electric Vehicles, island Madeira, Charging Profiles

Agradecimentos

Agradeço à minha orientadora, Doutora Cristina Inês Camus, ao meu orientador Engenheiro Eduardo Eusébio pela sugestão do tema, disponibilidade, motivação e orientação ao longo da realização desta dissertação.

Ao Engenheiro Aires Henriques da EEM (Empresa de Eletricidade da Madeira) pelos dados fornecidos, pelos esclarecimentos sobre a rede elétrica da ilha da Madeira e disponibilidade.

Aos meus pais, pela educação, compreensão, carinho, dedicação e esforço ao longo da minha formação.

Ao meu namorado pelo apoio e compreensão durante estes dois anos.

À minha colega e amiga Patrícia, à minha colega Isabel que ao longo do curso partilhamos conhecimentos.

Índice

| | |
|--|------|
| Resumo | i |
| Abstract | iii |
| Agradecimentos | v |
| Índice | vii |
| Índice de Figuras | xi |
| Índice de Tabelas | xv |
| Abreviaturas | xvii |
| Unidades de medida | xix |
| Lista de variáveis | xxi |
| Capítulo 1 – Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 3 |
| 1.2. Motivação | 3 |
| 1.3. Objetivos | 3 |
| 1.4. Estrutura do Documento | 3 |
| 1.5. Notação | 4 |
| Capítulo 2 – Revisão da Literatura | 5 |
| 2.1. Integração de Energias Renováveis em Sistemas Isolados | 7 |
| 2.2. As Energias Renováveis na ilha da Madeira | 7 |
| 2.2.1. Potencial da Energia Hídrica na ilha da Madeira | 8 |
| 2.2.2. Potencial da Energia Eólica na ilha da Madeira | 8 |
| 2.2.3. Potencial da Energia Solar na ilha da Madeira | 9 |
| 2.2.4. Potencial Energético da Biomassa Florestal na ilha da Madeira | 10 |
| 2.2.5. Impacto do Aumento das Energias Renováveis na Rede Elétrica | 11 |
| 2.3. Veículos Elétricos | 13 |
| 2.3.1. Veículos Elétricos – O início | 13 |
| 2.3.2. Veículos Elétricos – A atualidade | 14 |
| 2.3.3. Tipos de Veículos Elétricos | 15 |

| | | |
|---|---|----|
| 2.3.4. | Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos | 17 |
| 2.3.5. | Baterias..... | 19 |
| 2.3.6. | Penetração de Veículos Elétricos | 20 |
| Capítulo 3 – Caracterização do Setor Energético | | 23 |
| 3.1. | Setor Elétrico..... | 25 |
| 3.1.1. | Caracterização do Sistema Electroprodutor da ilha da Madeira | 25 |
| 3.1.2. | Centrais Termoelétricas | 26 |
| 3.1.3. | Centrais Hidroelétricas | 27 |
| 3.1.4. | Parques Eólicos | 32 |
| 3.1.5. | Parque Fotovoltaico | 37 |
| 3.1.6. | Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos | 37 |
| 3.1.7. | Consumo de Energia Elétrica | 38 |
| 3.1.8. | Consumo de Energia Elétrica pelos diferentes Setores | 39 |
| 3.1.9. | Diagramas de carga | 40 |
| 3.1.10. | Emissões Específicas do Setor Elétrico na ilha da Madeira | 41 |
| 3.2. | Setor dos Combustíveis | 43 |
| 3.2.1. | Evolução do Consumo de Combustíveis..... | 43 |
| 3.2.2. | Evolução do Preço dos Combustíveis | 44 |
| 3.3. | Parque Automóvel..... | 45 |
| 3.3.1. | Parque Automóvel em Portugal | 45 |
| 3.3.2. | Parque Automóvel na ilha da Madeira..... | 46 |
| 3.3.3. | Energia Consumida pelo Setor dos Transportes..... | 47 |
| 3.3.4. | Emissões de CO ₂ Produzidas pelo Setor dos Transportes | 47 |
| Capítulo 4 – Metodologia..... | | 49 |
| 4.1. | Evolução da População Residente | 51 |
| 4.1.1. | Evolução da População Residente em Portugal Continental | 51 |
| 4.1.2. | Evolução da População Residente na ilha da Madeira | 52 |
| 4.2. | Evolução dos Preços..... | 53 |
| 4.2.1. | Evolução do Preço dos Combustíveis | 53 |

| | | |
|---|---|-----|
| 4.2.2. | Evolução do Preço da Eletricidade | 55 |
| 4.2.3. | Evolução do Preço do CO ₂ | 56 |
| 4.3. | Setor Automóvel..... | 57 |
| 4.3.1. | Evolução do Parque Automóvel | 57 |
| 4.3.2. | Energia Média Diária Consumida por um Veículo Elétrico..... | 65 |
| 4.3.3. | Perfis de Carregamento..... | 66 |
| 4.3.4. | Cenários de Penetração de Veículos Elétricos na ilha da Madeira | 68 |
| 4.3.5. | Diagrama de Carga dos EV | 70 |
| 4.3.6. | Cálculo das Emissões Evitadas e Energia Consumida | 71 |
| 4.4. | Setor Elétrico | 73 |
| 4.4.1. | Evolução do Consumo | 73 |
| 4.4.2. | Fator de Carga das Centrais | 77 |
| 4.4.3. | Perfil de Produção de Energia | 79 |
| 4.4.4. | Cálculo de Energia Primária | 82 |
| 4.5. | Custo Nivelado da Energia Elétrica da ilha da Madeira..... | 83 |
| 4.5.1. | Custo Nivelado das Centrais Térmicas | 83 |
| 4.5.2. | Custo Nivelado para as Energias Renováveis | 84 |
| 4.5.3. | Simplificação do Custo Nivelado para as Energias Renováveis | 86 |
| 4.5.4. | Custo Nivelado para as Centras Hídricas, Parques Eólicos e Fotovoltaicos..... | 86 |
| 4.5.5. | Custo Nivelado para a Central de Valorização Energética..... | 91 |
| Capítulo 5 – Casos de Estudo..... | | 93 |
| 5.1. | Estudo do caso BAU nos anos 2013, 2020 e 2030..... | 96 |
| 5.2. | Estudo do caso com penetração de veículos elétricos no cenário de referência para 2020 e 2030 com carregamento no vazio. | 101 |
| 5.3. | Estudo do caso com penetração a 100 % de veículos elétricos para o ano 2020 e 2030, carregamento no vazio. | 105 |
| Capítulo 6 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros..... | | 109 |
| 6.1. | Conclusões | 111 |
| 6.2. | Desenvolvimentos Futuros | 112 |

| | |
|---|-----|
| Bibliografia | 113 |
| Apêndices..... | 121 |
| Apêndice 1 – Programação Matlab | 123 |
| Apêndice 2 – Pressupostos | 125 |
| 2.1. Evolução dos Preços..... | 125 |
| 2.2. Setor Automóvel..... | 126 |
| 2.3. Setor Elétrico..... | 132 |
| Apêndice 3 – Custos Nivelados..... | 137 |
| Apêndice 4 – Casos de Estudo | 141 |
| Caso 1: | 141 |
| Caso 2: | 144 |
| Caso 3: | 147 |
| Caso 4: | 150 |
| Caso 5: | 153 |
| Caso 6: | 156 |
| Caso 7: | 159 |
| Caso 8: | 162 |
| Caso 9: | 165 |
| Caso 10: | 168 |
| Caso 11: | 171 |
| Caso 12: | 174 |
| Caso 13: | 177 |
| Caso 14: | 180 |
| Caso 15: | 183 |
| Caso 16: | 186 |
| Caso 17: | 189 |
| Resumo dos casos de estudo..... | 193 |
| Apêndice 5 - “Renewable Energy in Islands. An Integrated Proposal | 209 |
| for Electricity Generation and Transports”..... | 209 |

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1 – Radiação média anual na ilha da Madeira | 9 |
| Figura 2.2 – Radiação média diária na ilha da Madeira durante o mês de janeiro | 9 |
| Figura 2.3 – Radiação média diária na ilha da Madeira durante o mês de julho | 10 |
| Figura 2.4 – Ocupação do solo na ilha da Madeira | 11 |
| Figura 2.5 – Modelo T, de Henry Ford | 13 |
| Figura 2.6 – Veículo 100% elétrico – Nissan Leaf | 14 |
| Figura 2.7 – Veículo Híbrido Plug-in – Chevrolet Volt | 15 |
| Figura 2.8 – Veículo Híbrido - Audi Q5, VW Touareg | 15 |
| Figura 2.9 – Elétrico vs. Gasolina | 19 |
| Figura 2.10 – Circuito equivalente de uma bateria elétrica | 19 |
| Figura 2.11 – Tipos de baterias e as respetivas características | 20 |
| Figura 2.12 – Número de Veículos Elétricos existentes no ano de 2012 | 21 |
| Figura 2.13 – Número de Veículos Elétricos vendidos em 2011 e 2012 | 21 |
| Figura 2.14 – Evolução da produção mundial de veículos elétricos | 22 |
| Figura 3.1 – Contribuição de energia por fonte no ano 2013 | 26 |
| Figura 3.2 – Central Térmica da Vitória | 27 |
| Figura 3.3 – Central Térmica do Caniçal..... | 27 |
| Figura 3.4 – Central Hidroelétrica da Serra de Água | 28 |
| Figura 3.5 – Central Hidroelétrica da Calheta | 28 |
| Figura 3.6 – Central Hidroelétrica da Calheta de Inverno | 29 |
| Figura 3.7 – Central Hidroelétrica dos Socorridos | 30 |
| Figura 3.8 – Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira | 30 |
| Figura 3.9 – Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela | 31 |
| Figura 3.10 – Central Hidroelétrica do Lombo Brasil | 31 |
| Figura 3.11 – Central Hidroelétrica da Fajã dos Padres | 32 |
| Figura 3.12 – Parque Eólico do Juncal | 33 |
| Figura 3.13 – Parque Eólico do Loiral | 34 |
| Figura 3.14 – Parque Eólico do Loiral II | 34 |
| Figura 3.15 – Parque Eólico do Paul da Serra | 35 |
| Figura 3.16 – Parque Eólico do Paul da Serra | 36 |
| Figura 3.17 – Parque Eólica de Pedras | 36 |
| Figura 3.18 – Parque Fotovoltaico do Caniçal | 37 |
| Figura 3.19 – Evolução da emissão na rede elétrica da ilha da Madeira entre 2002 a 2012 | 38 |
| Figura 3.20 – Evolução da Potência instalada na ilha da Madeira entre 2002 e 2013 | 39 |
| Figura 3.21 – Evolução do Consumo de Energia Elétrica por Setor de 1998 a 2011 | 39 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.22 – Diagrama de Carga médio da Primavera para o ano 2013 | 40 |
| Figura 3.23 – Diagrama de Carga médio do Verão para o ano 2013 | 40 |
| Figura 3.24 – Diagrama de Carga médio do Outono para o ano 2013 | 41 |
| Figura 3.25 – Diagrama de Carga médio do Inverno para o ano 2013 | 41 |
| Figura 3.26 – Evolução mensal das emissões de CO ₂ no ano 2012 | 42 |
| Figura 3.27 – Evolução do Consumo de Combustíveis na ilha da Madeira de 2003 a 2012 | 43 |
| Figura 3.28 – Consumo de Combustível na ilha da Madeira por setor ano 2012 | 44 |
| Figura 3.29 – Evolução do preço dos combustíveis na ilha da Madeira | 44 |
| Figura 3.30 – Evolução do Parque Automóvel em Portugal de 1974 a 2012 | 45 |
| Figura 3.31 – Evolução da Vendas de Veículos Ligeiros em Portugal | 46 |
| Figura 3.32 – Número de veículos por tipo de combustível | 46 |
| Figura 3.33 – Evolução do Parque Automóvel na ilha da Madeira | 47 |
| Figura 4.1 – Evolução da população residente em Portugal Continental | 51 |
| Figura 4.2 – Projeção da evolução da população residente em Portugal Continental | 51 |
| Figura 4.3 – Evolução da população residente na ilha da Madeira e na RAM entre 1991 e 2012 | 52 |
| Figura 4.4 – Projeção da evolução da população residente na Região Autónoma da Madeira ... | 52 |
| Figura 4.5 – Projeção da população residente na ilha da Madeira até 2030..... | 53 |
| Figura 4.6 – Preços médios anuais do petróleo no mundo para três cenários | 54 |
| Figura 4.7 – Evolução do preço dos combustíveis na ilha da Madeira | 55 |
| Figura 4.8 – Evolução do preço da eletricidade em Portugal Continental | 55 |
| Figura 4.9 – Evolução expetável do preço da eletricidade na ilha da Madeira até 2030..... | 56 |
| Figura 4.10 – Evolução do preço do dióxido de carbono | 56 |
| Figura 4.11 – Evolução do preço do dióxido de carbono | 57 |
| Figura 4.12 – Veículos ligeiros em Portugal Continental por cada 1000 habitantes | 59 |
| Figura 4.13 – Evolução dos veículos ligeiros em Portugal Continental por 1000 habitantes e translação da curva da ilha da Madeira..... | 59 |
| Figura 4.14 – Veículos ligeiros em Portugal Continental e cenário otimista na ilha da Madeira por cada 1000 habitantes | 60 |
| Figura 4.15 – Veículos ligeiros em Portugal Continental e cenário referência na ilha da Madeira por cada 1000 habitantes | 61 |
| Figura 4.16 – Veículos ligeiros em Portugal Continental e cenário pessimista na ilha da Madeira por cada 1000 habitantes | 62 |
| Figura 4.17 – Curva de penetração dos veículos ligeiros a gasolina em Portugal Continental e sua tendência até 2030..... | 63 |
| Figura 4.18 – Curva de penetração dos veículos ligeiros a gasóleo em Portugal Continental e sua tendência até 2030..... | 64 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.19 – Evolução do parque automóvel de veículos ligeiros, cenário BAU | 65 |
| Figura 4.20 – Perfil de carregamento não controlado | 67 |
| Figura 4.21 – Perfil de carregamento no vazio | 68 |
| Figura 4.22 – Cenários de penetração de veículos elétricos para ilha da Madeira | 69 |
| Figura 4.23 – Evolução do parque automóvel na ilha da Madeira com a penetração de veículos elétricos no cenário de referência | 69 |
| Figura 4.24 – Diagrama de carga dos veículos elétricos existentes em 2030 no cenário de referência com carregamento no vazio | 71 |
| Figura 4.25 – Consumo de energia elétrica per capita em Portugal Continental..... | 74 |
| Figura 4.26 – Consumo de energia elétrica per capita cenário otimista..... | 75 |
| Figura 4.27 – Consumo de energia elétrica per capita cenário de referência | 76 |
| Figura 4.28 – Consumo de energia elétrica per capita cenário pessimista | 76 |
| Figura 4.29 – Consumo de energia elétrica na ilha da Madeira para os diferentes cenários | 77 |
| Figura 4.30 – Diagrama de carga médio de produção de Energia Eólica em Portugal em 2012 [50] | 79 |
| Figura 4.31 – Perfil de produção da Energia Eólica para a ilha da Madeira | 80 |
| Figura 4.32 – Média mensal da taxa de rentabilidade de obrigações de tesouro a taxa fixa – 10 anos | 86 |
| Figura 4.33 – Evolução dos custos nivelados com a variação da taxa de atualização..... | 87 |
| Figura 4.34 – Custo nivelado para os Parques Eólicos referente aos anos 2010, 2020 e 2030 ... | 88 |
| Figura 4.35 – Software PVGIS para exemplificar a introdução dos dados..... | 90 |
| Figura 4.36 – Resultados obtidos com o software PVGIS | 90 |
| Figura 4.37 – Custos niveladas da Central de Valorização Energética | 91 |
| Figura 5.1 – Caso 1, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2013 | 97 |
| Figura 5.2 – Caso 1, diagramas de carga médios para a Primavera e Outono de 2013 | 97 |
| Figura 5.3 – Caso2, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2020 | 98 |
| Figura 5.4 – Caso 2, diagramas de carga médios de Primavera e Outono de 2020..... | 99 |
| Figura 5.5 – Caso 10, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2030 | 100 |
| Figura 5.6 – Caso 10, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2030 | 101 |
| Figura 5.7 – Caso 3, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2020 | 102 |
| Figura 5.8 – Caso 3, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2020, cenário de referência e penetração de veículos elétricos..... | 103 |
| Figura 5.9 – Caso 11, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2030 | 104 |
| Figura 5.10 – Caso 11, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2030, cenários de referência e penetração de veículos elétricos..... | 104 |
| Figura 5.11 – Caso 5, resultados obtidos para o setor energético com o cenário penetração de 100% de veículos elétricos para o ano 2020..... | 106 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.12 – Caso 5, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2020, 100 % de veículos elétricos | 106 |
| Figura 5.13 – Caso 13, resultados obtidos para o setor energético com penetração de 100 % de veículos elétricos para o ano 2030..... | 107 |
| Figura 5.14 – Caso 13, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2030, 100 % de veículos elétricos | 108 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 3.1 – Sistema Electroprodutor da ilha da Madeira no ano 2013 | 25 |
| Tabela 3.2 - Emissões específicas referentes ao mix de produção de 2009 a 2012..... | 42 |
| Tabela 3.3 – Poder calorífico inferior por combustível | 47 |
| Tabela 3.4 – Energia consumida pelo setor automóvel na ilha da Madeira | 47 |
| Tabela 3.5 – Emissões CO2 durante a combustão | 48 |
| Tabela 3.6 – Emissões de CO2 pelo setor dos transportes no ano 2012 | 48 |
| Tabela 4.1 – Parâmetros da função de Gompertz para Portugal Continental | 58 |
| Tabela 4.2 – Parâmetros da função de Gompertz para a ilha da Madeira, cenário otimista | 60 |
| Tabela 4.3 – Parâmetros da função de Gompertz para a ilha da Madeira, cenário referência | 61 |
| Tabela 4.4 – Parâmetros da função de Gompertz para a ilha da Madeira, cenário pessimista | 62 |
| Tabela 4.5 – Parâmetros da função de Gompertz para a penetração de veículos ligeiros a gasolina | 63 |
| Tabela 4.6 - Parâmetros da função de Gompertz para a penetração de veículos ligeiros a gasóleo | 64 |
| Tabela 4.7 – Número de veículos elétricos vendidos principais características e consumo | 65 |
| Tabela 4.8 – Duração dos tipos de carregamento dos veículos elétricos | 68 |
| Tabela 4.9 – Número de veículos elétricos para os diferentes cenários em 2030 | 69 |
| Tabela 4.10 – Consumo e emissões por tipo de combustível | 71 |
| Tabela 4.11 – Número de veículos ligeiros existentes em 2030 para o cenário de referência..... | 71 |
| Tabela 4.12 – Densidade de cada tipo de combustível | 72 |
| Tabela 4.13 – Energia consumida pelos veículos ligeiros em 2030 no cenário de referência | 72 |
| Tabela 4.14 – Energia total consumida pela frota de veículos ligeiros em 2030 no cenário de referência | 72 |
| Tabela 4.15 – Emissões locais emitidas pelos veículos ligeiros em 2030 no cenário de referência | 73 |
| Tabela 4.16 – Total das emissões locais emitidas pelos veículos ligeiros em 2030 para o cenário de referência..... | 73 |
| Tabela 4.17 – Parâmetros da função de Gompertz para o consumo de energia elétrica per capita em Portugal Continental..... | 74 |
| Tabela 4.18 – Parâmetros da função de Gompertz para o cenário otimista | 75 |
| Tabela 4.19 – Parâmetros da função de Gompertz para o cenário de referência..... | 76 |
| Tabela 4.20 – Parâmetros da função de Gompertz para o cenário pessimista..... | 77 |
| Tabela 4.21 – Características do painel fotovoltaico | 82 |

| | |
|--|----|
| Tabela 4.22 – Resumo dos dados para os cálculos do custo unitário médio para os Parques Eólicos para os anos 2010, 2020 e 2030..... | 88 |
| Tabela 4.23 – Custos de investimento, custos de operação e manutenção e custos nivelados para a energia eólica, fotovoltaica e mini-hídrica para os anos 2010, 2020 e 2030 | 89 |
| Tabela 4.24 – Custos nivelados da Central de Valorização Energética | 91 |
| Tabela 4.25 – Custos nivelados da Central de Valorização Energética para os anos 2020 e 2030 | 92 |
| Tabela 5.1 – Casos de estudo | 95 |

Abreviaturas

| | |
|-----------------|---|
| ALE | Central Hidroelétrica da Terça |
| AREAM | Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira |
| BAU | Business As Usual – Sem Penetração de Veículos Elétricos |
| BEV | Battery Electric Vehicle – Veículo Elétrico a Bateria |
| CAV | Central Hidroelétrica da Calheta I |
| CGR | Central Hidroelétrica da Fajã dos Padres |
| CNL | Central Térmica do Caniçal |
| CO ₂ | Dióxido de Carbono |
| CTI | Central Hidroelétrica da Calheta II |
| CTS | Central Hidroelétrica do Lombo Brasil |
| CTV | Central Térmica da Vitória |
| EEM | Empresa de Eletricidade da Madeira |
| ERSE | Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos |
| EV | Electric Vehicle – Veículo Elétrico |
| FCEV | Fuel Cell Electric Vehicle – Veículo Elétrico a Célula de Combustível |
| FDN | Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira |
| GM | General Motors |
| HEV | Hybrid Electric Vehicle – Veículo Elétrico Híbrido |
| ICE | Internal Combustion Engine – Motor Combustão Interna |
| INE | Instituto Nacional de Estatística |
| ISV | Imposto Sobre Veículos |
| Li-íon | Lithium-ion – Iões de Lítio |
| Ni-Cd | Nickel Cadmium – Níquel Cádmio |
| Ni-MH | Nickel-Metal Hydride - Níquel-Hidreto Metálico |
| PHEV | Plug-in Hybrid Electric Vehicle – Veículo Híbrido com carregamento através da Rede Elétrica |
| PVGIS | Photovoltaic Geographical Information System |
| RAM | Região Autónoma da Madeira |
| RDJ | Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| SCR | Central Hidroelétrica dos Socorridos |
| SDA | Central Hidroelétrica da Serra d'Água |
| STQ | Central Hidroelétrica Santa Quitéria |

Unidades de medida

| Símbolo | Nome | Grandeza |
|-------------|----------------|-------------------|
| m^2 | Metro quadrado | Área |
| C | Coulomb | Carga elétrica |
| Km | Quilometro | Comprimento |
| A | Ampére | Corrente |
| kWh | Quilowatt-hora | Energia |
| MJ | Megajoule | Energia |
| MWh | Mega Watt-hora | Energia |
| J | Joule | Energia |
| GWh | Gigawatt-hora | Energia |
| G | Gramma | Massa |
| Kg | Quilograma | Massa |
| Ton | Tonelada | Massa |
| kW | Quilowatt | Potência |
| MW | Megawatt | Potência |
| W | Watt | Potência |
| $^{\circ}C$ | Graus Celsius | Temperatura |
| K | Kelvins | Temperatura |
| H | Hora | Tempo |
| V | Volt | Tensão |
| € | Euro | Unidade monetária |
| L | Litro | Volume |

Lista de variáveis

| Variável | Unidade | Descrição |
|----------------------------------|-----------|---|
| E | MJ | Energia consumida |
| q_{comb} | kg | Quantidade de combustível consumido |
| PCI_{comb} | MJ/kg | Poder calorífico inferior do combustível |
| $Ajuste_{2007_2013}$ | | Ajuste entre 2007 a 2013 |
| $Preço_{comb_{2007_2013}}$ | €/l | Preço do combustível de 2007 a 2013 |
| $Preço_{petróleo_{2007_2013}}$ | €/l | Preço do petróleo de 2007 a 2013 |
| $VI_{comb_petróleo}$ | | Valor indexado do combustível ao petróleo |
| $\overline{Ajuste_{2007_2013}}$ | | Média dos ajustes entre 2007 a 2013 |
| $Preço_{comb_{2014_2030}}$ | €/l | Preço do combustível de 2014 a 2030 |
| $Preço_{petróleo_{2014_2030}}$ | €/l | Preço do petróleo de 2014 a 2030 |
| VD(t) | | Densidade de veículos para o ano t (veículos por 1000 habitantes) |
| c | | Ordenada y para a translação para cima |
| S | | Ponto de saturação |
| b | | Parâmetro de escala |
| a | | Coordenada x do ponto de inflexão da curva |
| $f(t)$ | | Número de veículos ligeiros em valores reais por cada 1000 habitantes |
| R^2 | | Coefficiente de determinação |
| $\bar{f}(t)$ | | Número médio de veículos ligeiros em valores reais por cada 1000 habitantes |
| $\overline{VD}(t)$ | | Densidade média de veículos para o ano t |
| V_{acum_t} | | Vendas acumuladas de veículos por tecnologia em Portugal Continental no ano t |
| V_{acum_t-1} | | Vendas acumuladas de veículos por tecnologia em Portugal Continental no ano t-1 |
| V_t | | Venda de veículos por tecnologia em Portugal Continental no ano t |
| $\%V_{acum_t}$ | % | Percentagem de vendas acumuladas por tecnologia no ano t |
| $T_{V_{acum_t}}$ | | Total das vendas acumuladas no ano t |
| C_{EV} | kWh/100km | Consumo de um veículo elétrico |

| | | |
|-----------------------|-----------|--|
| C_{Med_EV} | kWh/100km | Consumo médio do EV |
| V_{EV} | | Número de unidades vendidas do modelo de EV |
| E_{Med_EV} | kWh | Energia média diária necessária para o carregamento de um EV |
| $Perf_{bat}$ | | Performance da bateria |
| $Dist_{média}$ | km | Distância média diária percorrida por um veículo |
| $E_{Med_total_EV}$ | kWh | Energia média necessária para o carregamento de um EV |
| μ | | Média |
| σ | | Desvio padrão |
| E_{total_EV} | kWh | Energia diária necessária para o carregamento de todos os EV |
| N_{EV} | | Número de veículos elétricos |
| P_{carga_i} | kW | Potência de carregamento da frota de EV na hora i |
| p_i | % | Percentagem de energia diária de carregamento da frota de EV que é fornecida na hora i |
| E_{cons} | kWh | Energia consumida por tipo de combustível |
| NV | | Número de veículos por tipo de combustível |
| $consumo_{comb}$ | l/100km | Consumo médio por tipo de combustível |
| $dens_{comb}$ | kg/l | Densidade por tipo de combustível |
| $dias_{ano}$ | | Número de dias do ano |
| E_{consEV} | kWh | Energia consumida pela frota de veículos elétricos |
| $Emissões$ | g | Emissões emitidas pelos veículos |
| $emissões_{comb}$ | g/km | Emissões por tipo de combustível |
| $CD(t)$ | | <i>Consumption Density</i> , o consumo de energia elétrica por números de habitantes residentes num país |
| f_c | | Fator de carga |
| E_a | MWh | Energia anualmente produzida |
| h_{aj} | h | Número de horas no ano j |
| P_i | MW | Potência instalada |
| $f_{c_hídrica}$ | | Fator de carga das centrais hídricas |
| f_{c_CVE} | | Fator de carga da central de valorização energética |
| $f_{c_eólica}$ | | Fator de carga dos parques eólicos |
| $f_{c_fotovoltaico}$ | | Fator de carga dos parques fotovoltaicos |

| | | |
|-----------------------|-----------------------|--|
| η | | Rendimento da conversão de energia térmica para energia elétrica |
| $E_{saída}$ | MWh _e | Energia de saída |
| $E_{entrada}$ | MWh _t | Energia de entrada |
| E_e | MWh _e | Energia Elétrica Produzida |
| E_t | MWh _t | Energia Térmica Consumida |
| PCI | MWh _t /ton | Poder Calorífico Inferior |
| m_c | ton | Massa de combustível consumido |
| P_p | W | Potência do painel fotovoltaico |
| V_T^r | V | Potencial térmico nas condições de referência |
| K | J/K | Constante de Boltzmann |
| T^r | K | Temperatura de referência |
| q | C | Carga do elétron |
| θ^r | °C | Temperatura de referência |
| m | | Fator de idealidade do díodo |
| V_{max}^r | V | Tensão máxima de referência |
| V_{ca}^r | V | Tensão circuito aberto de referência |
| I_{max}^r | A | Corrente máxima de referência |
| I_{cc}^r | A | Corrente de curto-circuito de referência |
| I_0^r | A | Corrente inversa de saturação de referência |
| m' | | Fator de idealidade equivalente |
| N_s | | Número de células em série |
| θ_a | °C | Temperatura ambiente |
| θ_c | °C | Temperatura da célula |
| G^r | W/m ² | Irradiação de referência |
| G | W/m ² | Irradiação |
| NOCT | °C | Temperatura nominal de funcionamento da célula |
| V_T | V | Potencial térmico |
| T | K | Temperatura da célula |
| I_0 | A | Corrente inversa de saturação |
| I_{cc} | A | Corrente de curto-circuito |
| I_{max} | A | Corrente máxima |
| V_{max} | V | Tensão máxima |
| P_{max} | W | Potencia máxima |
| $E_{primária_total}$ | MWh | Energia primária total |

| | | |
|-------------------------|---|---|
| $E_{primária_térmica}$ | MWh | Energia primária da central térmica |
| $E_{primária_ER}$ | MWh | Energia primária das energias renováveis |
| $E_{elétrica_térmica}$ | MWh | Energia elétrica da central térmica |
| $\eta_{térmica}$ | | Rendimento a central térmica |
| $E_{elétrica_ER}$ | MWh | Energia elétrica das energias renováveis |
| C_p | €/MWh _e | Custo variável da central p |
| C_{comb} | €/MWh _e | Custo variável da central relativo ao combustível |
| C_{CO_2} | €/MWh _e | Custo variável da central relativo às emissões de CO ₂ |
| F | €/ton | Custo do combustível |
| P_{CO_2} | €/kg CO ₂ | Preço de CO ₂ |
| ee_p | kg CO ₂ /MWh _e | Emissão específica de CO ₂ da central |
| C_a | €/kWh | Custo nivelado |
| I_a | € | Distribuição anual do valor do investimento |
| C_c | € | Custos anuais com combustível |
| C_d | € | Custos diversos |
| OM_a | € | Despesas anuais de operação e manutenção |
| I_t | € | Investimento total |
| k_a | | Fator de anuidade que traduz a soma da série que define a atualização |
| I_{01} | €/kW | Investimento unitário |
| i | | Taxa de atualização |
| n | anos | Tempo de vida útil da central |
| dom | €/kWh | Despesas de operação e manutenção |
| t | | Tempo em anos |
| E_d | kWh | Produção média diária de eletricidade do sistema |
| E_m | kWh | Produção média mensal de eletricidade do sistema |
| H_d | kWh/m ² | Irradiação global média diária por metro quadrado do sistema |
| H_m | kWh/m ² | Irradiação global média mensal por metro quadrado do sistema |

Capítulo 1

Introdução

No presente capítulo introduz-se o tema da dissertação, a motivação, a estrutura da dissertação e a notação usada.

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Os problemas de desenvolvimento das ilhas são na sua maioria relacionados com a dependência da importação de combustíveis fósseis, disponibilidade de água doce e de gestão de resíduos, associado ao transporte e outros problemas. A maioria das ilhas europeias sofrem de grande dependência da energia importada. O Tratado de Amesterdão na Declaração n.º 30 reconhece que "as regiões insulares sofrem de desvantagens estruturais ligadas à insularidade, cuja persistência prejudica seu desenvolvimento económico e social." Essas limitações são particularmente importantes na procura de energia e na segurança do abastecimento. Na maioria dos casos, não há maneiras de ligar as ilhas às redes europeias de produção de energia continentais, dificultando a implementação das soluções para reduzir os custos ambientais, como a poluição do ar e as emissões de CO₂.

A energia renovável é uma das soluções, para a produção de energia, transformando os recursos naturais em formas de energia útil. Os avanços tremendos sobre energias renováveis indicam a viabilidade de substituir os combustíveis fósseis no futuro próximo [1].

1.2. Motivação

Sendo a ilha da Madeira um sistema elétrico isolado, ou seja, com uma enorme dependência de combustíveis de origem fóssil despertou-me o interesse se seria possível aumentar a penetração de energias renováveis nesta ilha, uma vez que existem recursos renováveis disponíveis como a energia eólica e a energia fotovoltaica. Os veículos elétricos podem ser uma boa aposta nesta ilha, uma vez que ainda não têm grande autonomia e nas ilhas as distâncias percorridas são reduzidas em relação ao continente.

1.3. Objetivos

A presente dissertação tem por objetivo estudar o impacto do aumento da penetração de energias renováveis e de veículos elétricos na ilha da Madeira, de modo a diminuir os custos económicos com a importação de combustíveis fósseis e reduzir as emissões de CO₂.

1.4. Estrutura do Documento

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos.

No capítulo 1 é dedicado à introdução, onde está presente o enquadramento, a motivação os objetivos do trabalho e a notação usando ao longo do documento.

No capítulo 2 aborda-se a revisão da literatura com os estudos realizados sobre a introdução de energias renováveis na ilha da Madeira e o seu potencial, e o estudo sobre a evolução dos veículos elétricos desde o início até à atualidade.

No capítulo 3 é feita uma caracterização do setor energético da ilha da Madeira, onde está uma descrição sobre o sistema electroprodutor da ilha e do setor dos transportes.

No capítulo 4 é referida a metodologia utilizada para caraterizar e realizar as projeções no setor elétrico e dos transportes.

No capítulo 5 está presente os casos de estudo e é executada uma análise de resultados.

No capítulo 6 está patente as principais conclusões deste trabalho e algumas sugestões de desenvolvimento e trabalhos futuros.

1.5. Notação

Nesta dissertação é utilizada a seguinte notação.

As figuras, tabelas e equações são introduzidas com referência ao capítulo em que são apresentadas e são numeradas sequencialmente no respetivo capítulo. A numeração é reiniciada em cada capítulo. As referências bibliográficas são numeradas de forma sequencial. A identificação de equações é apresentada entre parênteses curvos () e a identificação de referências bibliográficas é apresentada entre parênteses retos [], é elaborada segundo a norma IEEE 2006. Expressões em língua estrangeira são apresentadas em itálico. O conjunto de simbologia utilizada ao longo do texto é apresentado previamente na lista de variáveis. Esta dissertação está escrita de acordo como o novo acordo ortográfico.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

Este capítulo é dedicado aos estudos do potencial das energias renováveis na ilha da Madeira, os veículos elétricos também são objeto de estudo neste capítulo, como a sua história e os diversos tipos de veículos elétricos.

2. Revisão da Literatura

2.1. Integração de Energias Renováveis em Sistemas Isolados

A integração de fontes de energia renováveis nos sistemas de energia das ilhas apresenta várias vantagens, nomeadamente ao nível económico, o alto custo tecnológico é compensado pelo alto custo das fontes de energia convencionais devido à pequena dimensão dos sistemas de energia e à da segurança de abastecimento. A fim de alcançar o desenvolvimento sustentável, a integração de fontes de energia renováveis para a produção de eletricidade, bem como as políticas e regulamentos adequados sobre o uso racional da energia, são muito importantes. As tecnologias de produção de eletricidade convencionais raramente são adaptadas às condições de áreas isoladas e podem danificar seriamente os ecossistemas vulneráveis e os habitats naturais. Existe a necessidade de desenvolver uma infraestrutura de fornecimento de energia que leva em consideração as variações sazonais causadas pela atividade turística, sem destruir o meio ambiente local ou produzir emissões evitáveis [2].

Existe um estudo sobre o aumento das energias renováveis na ilha do Porto Santo, uma vez esta ilha não tem recursos hídricos disponíveis, os recursos endógenos na ilha são eólica e solar. Para aumentar os energias de origem renovável é necessário recorrer ao armazenamento de energia, este armazenamento pode ser feito por hidrogénio por meio de eletrolise e guardado numa célula de combustível e depois utilizado quando necessário para fornecer energia à rede [3].

2.2. As Energias Renováveis na ilha da Madeira

O primeiro plano regional de energia foi aprovado pela Região Autónoma da Madeira (RAM) em 1989 e posteriormente atualizada em 1992 e 2002. O Plano da Região Autónoma da Madeira de Política Energética constitui, para os dias de hoje, um instrumento de planeamento que tem guiado a estratégia adotada de valorização dos recursos endógenos e promover a eficiência energética [4].

Entre 2002 e 2005 a AREAM – Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira fez um estudo sobre “Maximização da Penetração das Energias Renováveis e Utilização Racional da Energia nas Ilhas da Macaronésia” um dos objetivos deste estudo é reduzir a dependência energética com vista ao aumento da segurança do abastecimento, melhoria da economia local, criação de postos de trabalho e menor dependência dos fornecimentos externos de combustíveis fósseis (com as subseqüentes ameaças de crises ou conflitos energéticos).

A partir deste estudo obteve-se vários resultados sobre o potencial das energias renováveis na ilha da Madeira [5].

2.2.1. Potencial da Energia Hídrica na ilha da Madeira

Atualmente escasseiam os locais onde instalar novas hidroelétricas, uma vez que já existe uma grande exploração do recurso hídrico para fins energéticos em toda a ilha, pelo que a maximização do aproveitamento do potencial passa sobretudo pela adoção de medidas que permitam melhorar a exploração das centrais existentes.

Um fato importante para otimizar o sistema produtivo e maximizar o aproveitamento do potencial hídrico existente é aumentar os reservatórios de acumulação de água a montante e a jusante das centrais, transformar e melhorar as centrais já existentes, bem como de toda a rede de transporte de água (túneis, levadas, reservas, etc.), de forma a garantir potência nas horas de maior procura de eletricidade (horas de ponta).

O investimento mais importante foi a transformação da Central Hidroelétrica dos Socorridos numa central reversível, este investimento destina-se a tirar partido da potência instalada na Central dos Socorridos, mesmo nos períodos secos, funcionando como central de corte de pontas, permitindo paralelamente a maior penetração da produção eólica nos períodos de vazio, através da bombagem nos períodos noturnos [6].

2.2.2. Potencial da Energia Eólica na ilha da Madeira

O estudo do regime de ventos e a estimativa do potencial eólico da ilha da Madeira foi feito tendo em conta a rugosidade do terreno e as situações de grande complexidade orográfica que caracterizam a ilha, bem como através da utilização de dados meteorológicos registados e processados em seis Estações Meteorológicas Automáticas na ilha da Madeira.

A avaliação do potencial eólico teve ainda em conta o declive, a ocupação do terreno e a turbulência da ilha.

Do estudo realizado fica evidente que existem diversas zonas com potencial eólico significativo, destacando-se o Paúl da Serra, o Caniçal e a Ponta do Pargo. Estes são efetivamente os locais de melhor aptidão para o desenvolvimento de projetos no domínio da energia eólica.

A complexidade do terreno é um fator decisivo na elaboração de estimativas do recurso eólico. O relevo da ilha da Madeira não é propício à instalação de grandes parques eólicos, à exceção do planalto do Paúl da Serra, pela extensão relativamente plana que caracteriza este local. Mesmo para projetos de pequena dimensão, não há muitos locais na ilha que reúnam condições favoráveis, simultaneamente do ponto de vista do recurso e da ausência de conflitos [7].

2.2.3. Potencial da Energia Solar na ilha da Madeira

Com a realização deste estudo conclui-se que através da análise dos mapas de radiação solar diária, média anual, apresentadas nas Figura 2.1, Figura 2.2 e na Figura 2.3, pode-se inferir que a ilha da Madeira apresenta condições gerais propícias para a utilização deste recurso.

Em termos gerais, valores acima de 4 kWh/m².dia apresentam-se genericamente atrativos para o aproveitamento de energia solar fotovoltaica. Isto leva a concluir que, na generalidade da ilha da Madeira (superior a 50 %), a energia solar é um recurso energético endógeno com interesse de exploração.

A distribuição do potencial solar dá-se de forma equilibrada, entre a zona de ocupação urbana e o restante território. No entanto, fica a salvo quaisquer fatores climatológicos localizados que possam existir, designadamente a frequente ocorrência de nevoeiros nas zonas mais altas [8].

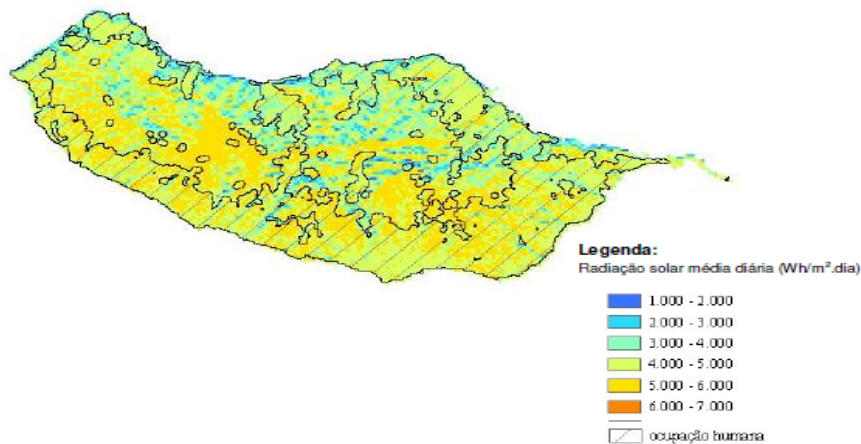


Figura 2.1 – Radiação média anual na ilha da Madeira [8]

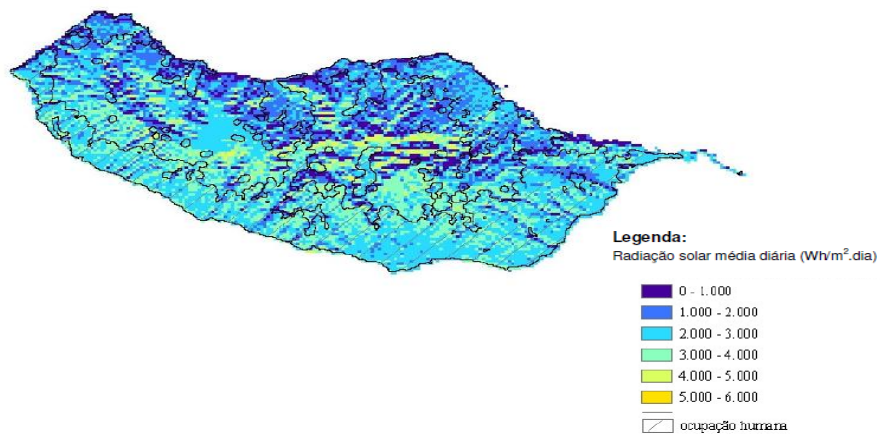


Figura 2.2 – Radiação média diária na ilha da Madeira durante o mês de janeiro [8]

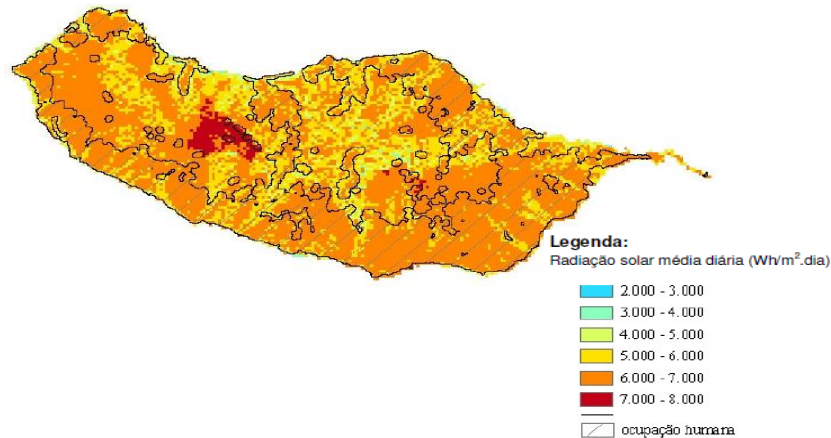


Figura 2.3 – Radiação média diária na ilha da Madeira durante o mês de julho [8]

2.2.4. Potencial Energético da Biomassa Florestal na ilha da Madeira

A floresta da ilha da Madeira é constituída por dois tipos de coberto vegetal: a floresta natural e a floresta exótica. A área total de ocupação florestal (superfície florestal) é de aproximadamente 35640 ha.

Com o estudo do potencial energético da biomassa florestal chegaram as algumas conclusões. A utilização e valorização de biomassa florestal assume claramente um papel importante na diminuição da dependência externa dos combustíveis fósseis. O aproveitamento de biomassa florestal é uma oportunidade inequívoca de criar na Região um instrumento fundamental para a melhoria da gestão e ordenamento dos espaços florestais sujeitos ao abandono.

Assim sendo, pode-se verificar que a área de estudo (16807,44 ha) reúne condições favoráveis à disponibilização de biomassa florestal (134092,89 t/ano), proveniente de povoamentos florestais exóticos e matos. No entanto, há que referir que estar disponível (potencial) é diferente de ser possível (explorável), isto é, a disponibilidade diz respeito ao potencial existente enquanto a explorabilidade é referente à quantidade de biomassa passível de ser explorada ou utilizada. Quer isto dizer, que nem todos os resíduos quantificados são passíveis de ser explorados, face às condições limitadoras de certos fatores, como o declive do terreno e/ou a distância a vias de comunicação. Do cruzamento e ponderação da atuação destas limitações é que foi possível aferir da explorabilidade ou não da biomassa florestal disponível.

Contabilizadas as proveniências de biomassa florestal, estima-se que a quantidade total anual de biomassa florestal na ilha da Madeira seja de 153146,98 toneladas, das quais 87563,05 toneladas correspondem a uma explorabilidade média/elevada e 65583,93 toneladas revelam uma explorabilidade reduzida com elevadas restrições, essencialmente, pela orografia do terreno.

Verificou-se ainda que os concelhos que apresentam potencialmente melhores condições em disponibilizar biomassa florestal estão localizados na encosta sul da Ilha da Madeira, principalmente, Calheta, Funchal, Santa Cruz e Machico, representando no total,

aproximadamente, 55 % (9222,40 ha) da área de estudo. Por outro lado, os concelhos a Norte, Porto Moniz e São Vicente, representam apenas 9,3 % (1571,25 ha) da área total. Este facto justifica-se pela reduzida ocupação florestal de espécies exóticas nesses concelhos, devido sobretudo à predominância das manchas de floresta natural.

Relativamente, à estimativa do potencial energético da biomassa florestal na Região, pode-se referir que para um valor total de 30 629,40 tep – 2 297,20 TeraJoules, correspondem a uma explorabilidade média/elevada cerca de 17 512,61 tep – 1 313,45 TeraJoule e 13 116,19 tep – 983,76 TeraJoule têm uma explorabilidade reduzida [9].

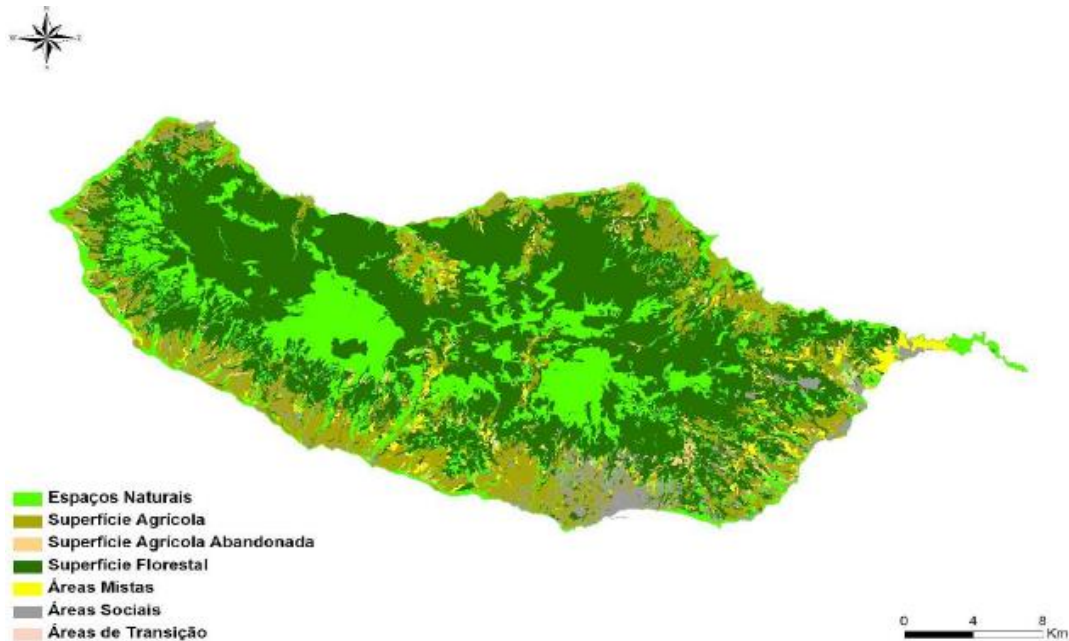


Figura 2.4 – Ocupação do solo na ilha da Madeira [9]

2.2.5. Impacto do Aumento das Energias Renováveis na Rede Elétrica

A AREAM juntamente com o Instituto Superior Técnico – Centro para a Inovação em Engenharia Eletrotécnica e Energia, IST/Cie3, realizaram um estudo que visa avaliar o impacto que o aumento de potência instalada em energias renováveis tem sobre as redes elétricas da ilha da Madeira até o ano 2020.

O estudo realizado teve por objetivo avaliar o montante de potência eólica e fotovoltaica que é tecnicamente admissível instalar nas redes elétricas da ilha da Madeira, no ano de 2020.

Neste estudo analisou-se o impacto que os incrementos de potência fotovoltaica e eólica instalada têm no comportamento em regime estacionário das redes, identificando assim o montante máximo de potência de origem renovável que pode ser incorporado, sem comprometer a segurança do sistema. Também foram realizados estudos específicos para avaliar o comportamento transitório das redes elétricas, por forma a avaliar se estes incrementos de

potência fotovoltaica e eólica instalada não induzem a ocorrência de situações de instabilidade nestas redes.

Admitiram que os novos geradores eólicos a instalar possuem características que lhes permitem resistir a cavas de tensão similares às que já possuem alguns dos geradores eólicos correntemente instalados na ilha da Madeira.

Nos estudos efetuados para análise do comportamento da rede em regime estacionário, verificaram que o aumento de potência ativa injetada a partir de centrais fotovoltaicas e eólicas conduz a situações em que se regista um *deficit* de potência reativa injetada, situação que pode conduzir a situações de instabilidade de tensão. Este *deficit* de potência reativa resulta da retirada de serviço de geração convencional (em virtude do aumento de potência eólica e fotovoltaica injetada) na qual é possível regular a potência reativa injetada na rede. A retirada de serviço de grupos convencionais diminui assim os montantes de potência reativa disponíveis.

Por forma a evitar esta situação, consideraram que os novos geradores eólicos a instalar na rede elétrica da ilha da Madeira operariam no modo de controlo da tensão aos terminais dos geradores eólicos. Este modo de controlo é semelhante ao utilizado nas unidades convencionais, ou seja, a potência reativa injetada visa manter o valor da tensão aos terminais do gerador num valor pré-especificado.

No caso das centrais fotovoltaicas, admitiu-se que não possuem características que lhes permitam resistir a cavas de tensão e que operam no modo potência reativa constante (e nula).

Os estudos realizados para avaliar o comportamento transitório da rede elétrica da ilha da Madeira revelaram que o cenário de carga mais severo é o que corresponde à Ponta de Verão já que neste cenário se consideraram montantes consideráveis de potência fotovoltaica injetada. A ocorrência de defeitos para este cenário de carga ocasiona a contingência de grande parte, por vezes da totalidade, da potência fotovoltaica injetada, situação que não ocorre no cenário Vazio de Inverno.

O estudo realizado permitiu concluir que o montante máximo de potência fotovoltaica e eólica que a rede Elétrica da ilha da Madeira suporta em 2020 é igual a 195,7 MW (46,7 MW de potência fotovoltaica instalada e 149 MW de potência eólica instalada).

O despacho indicativo que a EEM/AREAM especificou indicava, para o cenário de carga Ponta de Verão, PV, um montante de potência de bombagem ligada igual a 53 MW. Respeitando esta potência de bombagem, o montante máximo de potência eólica e fotovoltaica exequível em 2020 seria igual a 185,7 MW (46,7 MW em potência fotovoltaica instalada e 139 MW em potência eólica instalada). O montante global de 195,7 MW em potência eólico e fotovoltaica instalada só é possível se se incrementar o montante de potência de bombagem ligado [10].

2.3. Veículos Elétricos

O veículo elétrico constitui a melhor solução de mobilidade para responder às questões atuais do aquecimento global, da qualidade do ar que respiramos e da dependência que existe dos combustíveis fósseis [11].

2.3.1. Veículos Elétricos – O início

Os veículos elétricos foram os primeiros carros construídos durante os anos iniciais da indústria automobilística. O primeiro veículo elétrico foi construído na década de 1830, na Escócia. Vários outros veículos elétricos chegaram às ruas nos anos 1800, mas o primeiro automóvel elétrico real surgiu em 1891, na oficina de William Morrison, de Des Moines, em Iowa. Em 1897 uma frota de táxis elétricos circulava em Nova York. Em 1900, 28 % de todos os carros nos Estados Unidos eram movidos a eletricidade. Contudo, pouco depois desse pico de popularidade, o carro elétrico caiu em declínio. Henry Ford introduziu o Modelo T, com motor de combustão e produzido em massa. Em 1920 o carro elétrico havia praticamente desaparecido, substituído por carros que iam mais longe e mais rápido com mais energia. A transição para o motor de combustão interna foi auxiliada pelo fato de que a gasolina estava logo disponível.



Figura 2.5 – Modelo T, de Henry Ford [12]

Na década de 1970, quando as preocupações com a poluição e o aumento dos preços da gasolina a ideia do veículo elétrico voltou. O primeiro veículo elétrico foi o CitiCar da Vanguard-Sebring, lançado em 1974. Esse minúsculo veículo podia passar de 48 km/h e rodar aproximadamente 64 km a cada recarga. Cerca de 2.000 veículos foram fabricados. O CitiCar não era muito seguro, e em 1976 o seu fabrico foi extinto.

Em 1988, a General Motors (GM) começou a fornecer dinheiro para a pesquisa de carros elétricos para o mercado consumidor. O carro, chamado EV1, foi fabricado de 1996 a 1999. O EV1 era disponibilizado aos consumidores da Califórnia apenas através de *leasing*. Inicialmente, ele foi produzido com uma bateria chumbo-ácido. Em 1999, a GM passou para uma bateria de níquel-hidreto metálico (NiMH), que recarregava melhor.

Vários outros veículos logo se juntaram ao EV1. O Toyota RAV4 EV, uma versão *plug-in* do popular utilitário desportivo, foi testado no Japão em meados de 1990 e comercializado na Califórnia. As empresas podiam fazer o *leasing* do RAV4 EV entre os anos de 1997 e 2000. De 2001 a 2003, a Toyota disponibilizou o carro para *leasing* pessoal nos Estados Unidos, e alguns foram vendidos a partir de 2002. Contudo, em 2003 a fabricação do RAV4 EV foi interrompida. O RAV4 EV atingia velocidades de até 130 km/h e tinha uma autonomia de 130 a 190 km. Ele utilizava baterias NiMH [12].

2.3.2. Veículos Elétricos – A atualidade

Com o elevado crescimento da população mundial existe uma grande preocupação com as emissões de dióxido de carbono. Os veículos elétricos são a solução para o problema das emissões de dióxido de carbono (CO₂), porque não produz nenhum tipo de emissão. O motor de combustão interna é substituído por um motor elétrico, movido a baterias recarregáveis em vez de gasolina ou outros combustíveis queimáveis.

Atualmente existe no mercado uma vasta gama de veículos elétricos. Como exemplo de veículos elétricos temos os seguintes:

Veículos ligeiros de passageiros 100 % elétricos: Citroën C-Zero, Mitsubishi i-Miev, Nissan Leaf, Peugeot iOn, Renault Zoë Z.E., Smart Fortwo Electric Drive e Tesla Roadster 2.5.



Figura 2.6 – Veículo 100% elétrico – Nissan Leaf [13]

Veículos ligeiros de passageiros Híbridos Plug-in: Chevrolet Volt, Opel Ampera e Toyota Prius Plug-in.



Figura 2.7 – Veículo Híbrido Plug-in – Chevrolet Volt [13]

Veículos ligeiros de passageiros híbridos: Audi A6, Audi A8, Audi Q5, BMW Active Hybrid 3, BMW Active Hybrid 5, BMW Active Hybrid 7, BMW Active Hybrid X6, Citroën DS5, Honda CR-Z, Honda Insight, Honda Jazz, Lexus CT 200h, Lexus GS 450h, Lexus LS 600h, Lexus RX 450h, Mercedes Classe S 400 Hybrid, Peugeot 3008, Peugeot 508, Porsche Cayenne S Híbrido, Porsche Panamera S Hybrid, Toyota Auris, Toyota Prius, Toyota Prius +, Toyota Yaris e VW Touareg [13].



Figura 2.8 – Veículo Híbrido - Audi Q5, VW Touareg [13]

2.3.3. Tipos de Veículos Elétricos

2.3.3.1. Battery Electric Vehicle (BEV)

Estes veículos usam uma bateria relativamente grande para impulsionar o veículo. A bateria fornece energia para a propulsão através de uma tração elétrica, assim como de energia para todos os sistemas de acessórios de veículos. Também podem ser designados de puramente elétricos [14].

2.3.3.2. Hybrid Electric Vehicle (HEV)

Esta tecnologia utiliza tanto um motor elétrico (EM) como um motor de combustão interna (ICE) para impulsionar o veículo [14].

O princípio da tração híbrida corresponde à associação de duas fontes de energia, presentes no veículo, para o fornecimento da energia necessária à tração. Uma das fontes é uma bateria que pode armazenar a energia elétrica e restituí-la ao motor elétrico. A outra fonte é um reservatório de combustível que alimenta um motor térmico que pode acionar diretamente as rodas ou fornecer energia mecânica a um gerador elétrico.

Os veículos híbridos utilizam uma avançada tecnologia ao nível da:

Travagem Regenerativa: O motor elétrico fornece uma resistência ao movimento de tração, causando uma pequena diminuição de velocidade. Quando o fluxo de energia está no sentido das rodas para o motor, por exemplo numa descida ou numa travagem, o motor funciona como um gerador fornecendo energia elétrica às baterias, em vez de ser desperdiçada num veículo sem este sistema.

Assistência à tração do motor elétrico: O motor elétrico fornece uma potência adicional de forma a assistir o motor de combustão interna quando este está em esforço, ou seja, numa aceleração, ultrapassagem, ou numa subida íngreme. Em alguns veículos, o motor elétrico fornece, num regime de baixa velocidade, toda a energia necessária à tração garantindo assim um melhor desempenho, visto nesta situação os motores de combustão interna serem menos eficientes.

Sistema de Paragem Automática: Alguns veículos híbridos têm um sistema de desligar automático quando o veículo está em *ralenti*, voltando a ligar automaticamente quando se pressiona o acelerador ou de engrena uma mudança. Este sistema permite economias de energia numa condução citadina com muitas paragens [15].

Os veículos híbridos podem ter várias configurações para o acionamento: série, paralelo, série-paralelo.

2.3.3.3. Plug-in Hybrid Electric Vehicle (PHEV)

São veículos híbridos com uma bateria de que pode ser carregada ligando à rede elétrica, o que permite viajar apenas como o motor elétrico reduzindo assim o consumo de combustíveis fósseis e as emissões de CO₂ [14].

2.3.3.4. Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV)

Estes veículos têm como fonte de energia a energia elétrica produzida por uma pilha de combustível. Estes veículos funcionam a hidrogénio puro e produzem eletricidade, com a emissão de vapor de água, para fazer mover o veículo.

As pilhas de combustível são sistemas eletroquímicos que convertem a energia de uma reação química diretamente em energia elétrica, libertando calor. Funcionam como as baterias primárias, mas tanto o combustível como o oxidante são armazenados externamente, permitindo que a pilha continue a operar desde que o combustível e o oxidante (oxigénio ou ar) sejam fornecidos. Cada pilha consiste num eletrólito entre dois eletródios (o ânodo e o cátodo) [16].

2.3.4. Vantagens e Desvantagens dos Veículos Elétricos

2.3.4.1. Vantagens dos Veículos Elétricos

Os veículos elétricos utilizam tipicamente entre 0,1 a 0,23 kW/h por quilómetro. Aproximadamente metade deste consumo é derivado da ineficiência do processo de carga das baterias. A média de consumo equivalente para um veículo a gasolina é de 0,98 kW/h por quilómetro, sendo assim bastante menos eficientes que um veículo elétrico.

O veículo elétrico é a única solução 100 % Zero-Emissões em utilização. Zero-emissões inclui zero ruídos, zero emissões de gases efeito de estufa e zero emissões de poluentes.

Os Veículos Elétricos oferecem uma experiência de condução caracterizada por uma deslocação do veículo mais silenciosa e suave. Isso é conseguido pela ausência de várias peças móveis no motor, pelo ruído da combustão, mas também pela ausência do sistema de escape uma das principais fontes de ruído num automóvel.

O custo da energia elétrica despendida por veículos elétricos com um sistema de armazenamento de energia em baterias corresponde a um terço do valor do custo do combustível utilizado por veículos com motores de combustão interna, para a mesma distância percorrida e em condições idênticas de utilização. Para além disso os veículos elétricos têm menos custos de manutenção já que não precisam de mudanças de óleo frequentes e outras operações de manutenção pois os motores elétricos tem menos peças móveis no motor.

A travagem regenerativa utiliza o facto de um motor elétrico poder funcionar como gerador. O motor elétrico é usado como gerador durante a travagem do veículo e a saída produzida após convertida é usada para recarregar as baterias, ou seja, o veículo devolve energia ao sistema. Durante o processo de travagem, as ligações do motor são alteradas de modo a que o motor funcione como gerador.

Os veículos elétricos tem uma condução agradável, dispensando pedal de embraiagem e caixa de condução. Tanto para cidade como em situações em que seja necessário fazer uma

aceleração mais fervorosa não é preciso ter em atenção a caixa de velocidades. O binário dos motores elétricos é constante a qualquer rotação, podendo proporcionar performances aliciantes.

Os automóveis elétricos atualmente beneficiam de ausência de ISV e Imposto de circulação. Os governos de Portugal e de muitos outros países estão também a oferecer subsídios para conseguirem uma maior penetração no mercado destes veículos.

2.3.4.2. Desvantagens dos Veículos Elétricos

Uma das grandes desvantagens das baterias é o seu peso. Embora tenha havido avanços tecnológicos, para que as baterias proporcionem uma autonomia interessante, ainda pesam bastante. Por exemplo as baterias do Tesla roadster de iões de lítio pesam 450 kg. O tempo de vida útil de um conjunto de baterias poderá andar entre os 160000 km e os 200000 km, o que aliado ao seu custo pode ser uma grande desvantagem ter que incorrer no custo de um conjunto novo ao fim destes quilómetros. O funcionamento das baterias a baixas temperaturas também não é o melhor, havendo perda de eficiência.

Também diretamente relacionado com as baterias, o seu tamanho e tecnologia usada, a autonomia dos veículos elétricos ainda é limitada quando comparada com um veículo com motor de combustão. A autonomia poderá andar entre os 100 km e os 200 km em média consoante o tipo de veículo.

As baterias de iões de lítio já permitem que quando carregadas em locais específicos possam atingir cerca de 80 % da sua capacidade em cerca de 15 a 20 minutos. A carga total, quando efetuada em casa numa tomada normal de 220 V pode durar ente 6 a 8 horas.

Apesar dos custos mais baixos de operação, os veículos elétricos apresentam em contrapartida um custo de aquisição normalmente mais elevado, devido ao facto de ser produzido em pequenas séries. O custo das baterias ainda é uma componente considerável do custo total.

Dependendo da forma como é produzida a eletricidade, pode haver emissões de CO₂ relacionadas com a circulação dos veículos elétricos [11].

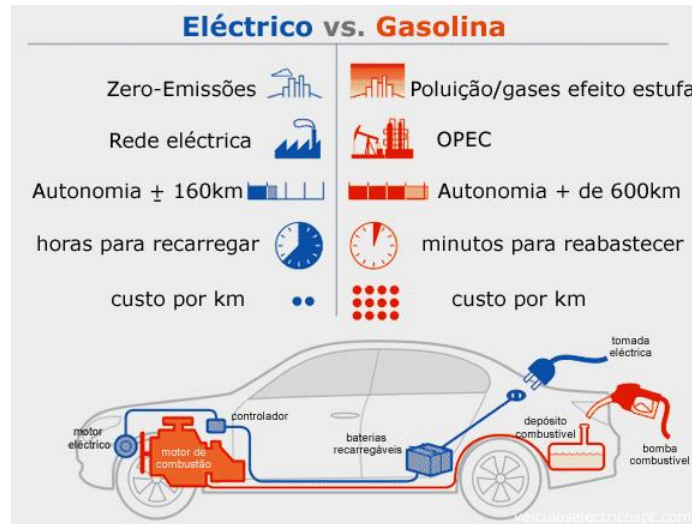


Figura 2.9 – Eléctrico vs. Gasolina [11]

2.3.5. Baterias

As baterias foi o fator limitante que levou ao desaparecimento dos veículos elétricos, a única componente de armazenamento de energia foi o componente com o mais elevado custo, peso e volume. Além disso, as autonomias atingidas por baterias foram significativamente menores do que autonomia de veículos movidos a combustível. Os principais parâmetros das baterias são:

Tensão da bateria – A tensão nominal de uma bateria pode ser expressa pelo circuito equivalente elétrico representado na Figura 2.10, a figura mostra que a tensão da bateria diminui se está a fornecer energia, a potência e a tensão aumenta se a bateria está à carga.

Capacidade – A capacidade de uma bateria é a intensidade (amperes) que se pode ter com uma bateria durante 1 hora.

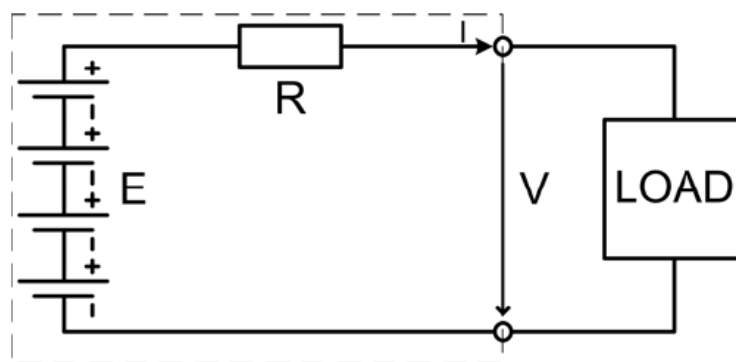


Figura 2.10 – Circuito equivalente de uma bateria eléctrica [17]

Energia armazenada – Um dos parâmetros mais importantes das baterias nos EVs é a energia armazenada, porque este parâmetro é responsável pela autonomia do veículo. A energia armazenada na bateria depende da tensão e da sua capacidade. A unidade para este parâmetro é Joules, mas esta é inconvenientemente uma unidade pequena, de modo que é usado Wh.

Energia específica – A energia específica é a quantidade de energia armazenada na bateria para cada quilo. A energia específica é tipicamente dada em Whkg⁻¹.

Potência específica - Potência específica é a quantidade de energia obtida para cada kg da bateria e é medido em Wkg⁻¹. É importante diferenciar a potência específica da energia específica: uma energia específica elevada significa que a bateria pode armazenar uma alta energia, mas isso não implica que a mesma bateria pode fornecer a energia de forma rápida o que significa que tem uma alta potência específica.

Os principais tipos de baterias para uso comercial que podem ser considerados para alimentar um EV são: baterias de chumbo-ácido, baterias de Ni-Cd, Ni-MH e baterias de Li-íon. O tipo mais barato de bateria é o tipo chumbo-ácido. No entanto, seu baixo consumo de energia específico faz com que este tipo de bateria seja inadequado para uso em EVs e PHEVs. As bateria do tipo Ni-Cd tem um melhor número ciclo do que o tipo chumbo-ácido, mas a sua energia específica não é alta o suficiente para usar em EV e PHEV. Os tipos de baterias Ni-MH e Li-íon tem uma boa energia específica (especialmente tipo Li-íon), mas têm um custo elevado [17].

| | Lead - Acid | Ni - Cd | Ni - MH | Li ion |
|--|-------------|---------------------|------------|-----------|
| Cost | Low | Medium | High | Very High |
| Specific Energy (Wh·kg ⁻¹) | 30 -50 | 50 -80 | 40 -100 | 160 |
| Voltage per cell | 2 | 1.25 | 1.25 | 3.6 |
| Charge current | Low | Very Low | Moderate | High |
| Cycle number (charge/discharge) | 200 - 500 | 1000 | 1000 | 1200 |
| Autodischarge per month (% of total) | Low (5%) | Moderate-High (20%) | High (30%) | Low (10%) |
| Minimum time for charge (h) | 8 - 16 | 1 - 1.5 | 2 - 4 | 2 - 4 |
| Activity requirement | 180 days | 30 days | 90 days | None |
| Environmental warning | High | High | Low | High |

Figura 2.11 – Tipos de baterias e as respectivas características [17]

2.3.6. Penetração de Veículos Elétricos

Com as exigências energéticas do futuro num mundo em rápido crescimento e mudança, os países veem nos transportes, em particular nos veículos elétricos uma solução para o aumento da segurança energética e para a redução de emissões de gases de efeito estufa [18].

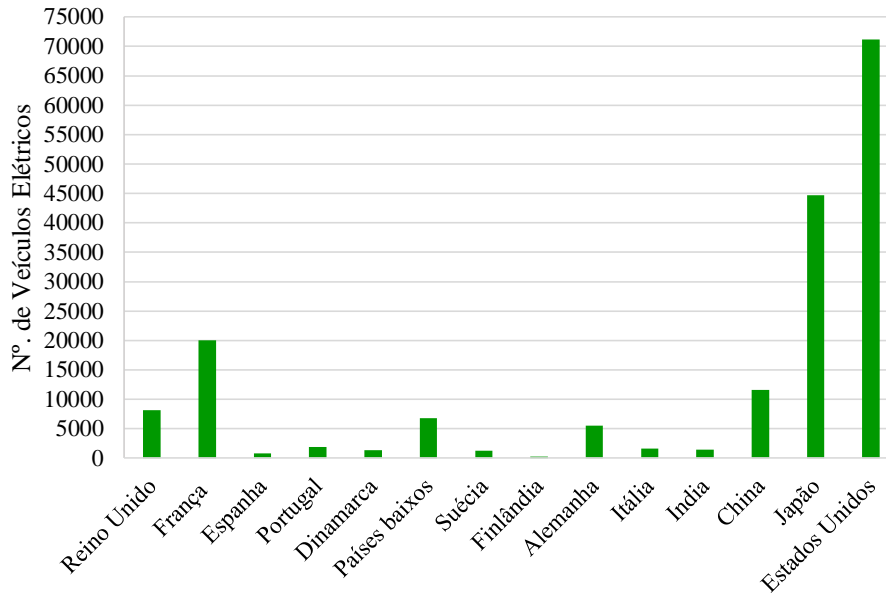


Figura 2.12 – Número de Veículos Elétricos existentes no ano de 2012 [18]

A venda de veículos elétricos no ano 2012 mais que duplicou em relação ao ano 2011 como se pode ver na figura abaixo.

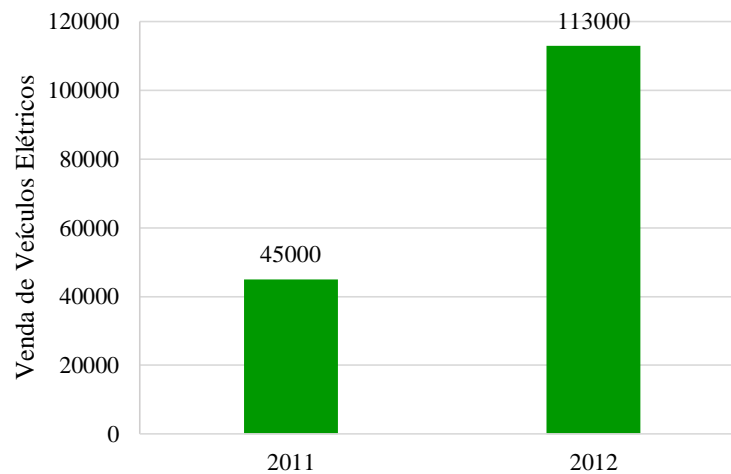


Figura 2.13 – Número de Veículos Elétricos vendidos em 2011 e 2012 [18]

A produção mundial de veículos elétricos tem vindo a aumentar nos últimos anos. A produção total de EV's em ambos os modelos (elétricos puros e plug-in de veículos elétricos híbridos (PHEVs) deverá aumentar para mais de 403 mil este ano, sendo que em 2013 a produção de veículos elétricos foi pouco mais de 242 mil [19].

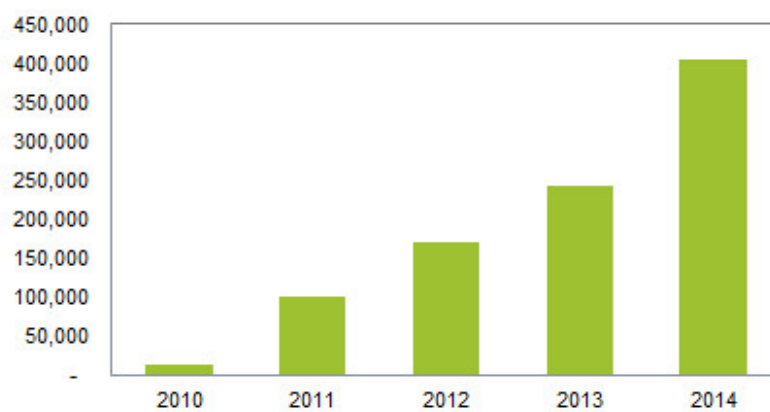


Figura 2.14 – Evolução da produção mundial de veículos elétricos [19]

Capítulo 3

Caracterização do Setor Energético

Neste capítulo é dedicado a caracterização do sistema energético na ilha da Madeira, onde é está descrito o sistema electroprodutor e o setor dos transportes.

3. Caracterização do Setor Energético

3.1. Setor Elétrico

3.1.1. Caracterização do Sistema Electroprodutor da ilha da Madeira

O sistema electroprodutor da ilha da Madeira é constituída por duas centrais térmicas, a Central Térmica da Vitória (CTV) pertença da EEM, com funcionamento a fuelóleo e a Central Térmica do Caniçal (CNL) gerida por operadores privados, com funcionamento a fuelóleo, dez centrais hidroelétricas sendo 9 pertença da EEM, a Central Hidroelétrica da Serra d'Água (SDA), a Central Hidroelétrica Calheta Inverno (CTI), a Central Hidroelétrica Calheta I (CAV), a Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela (RDJ), a Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira (FDN), a Central Hidroelétrica Lombo do Brasil (CTS), a Central Hidroelétrica Fajã dos Padres (CGR), a Central Hidroelétrica Santa Quitéria (STQ), a Central Hidroelétrica dos Socorridos (SCR) esta central possui bombagem, a Central Hidroelétrica da Terça (ALE) é gerida por operadores privados. Existem ainda nove parques eólicos, uma estação de tratamento de resíduos sólidos urbanos (Central de Valorização Energética) e setecentos e nove painéis fotovoltaicos sendo estas fontes de energia pertencentes a operadores privados. Na Tabela 3.1 podemos observar a potência instalada de cada tecnologia do sistema electroprodutor da Madeira [20, 21].

Tabela 3.1 – Sistema Electroprodutor da ilha da Madeira no ano 2013 [21]

| Sistema Electroprodutor da EEM | |
|---|-------------------------|
| Tecnologia | Potência instalada [MW] |
| Térmica | 182,70 |
| Hidroelétrica | 49,97 |
| Sistema Electroprodutor de entidades privadas | |
| Tecnologia | Potência instalada [MW] |
| Térmica | 36 |
| Hidroelétrica | 0,7 |
| Eólica | 45,11 |
| Fotovoltaica | 17,96 |
| RSU | 8 |
| Totais | 340,44 |

A potência instalada de energia fotovoltaica inclui a microprodução, miniprodução e outros parques de maior dimensão.

No ano 2013 a maior contribuição de energia é de origem fóssil com 74,1 %, a eólica com 10 %, a componente hidroelétrica com 9,3 %, a RSU com uma contribuição de 3,1 % e a fotovoltaica com 3,5 %, a contribuição de energia por fonte pode ser vista na Figura 3.1 [21].

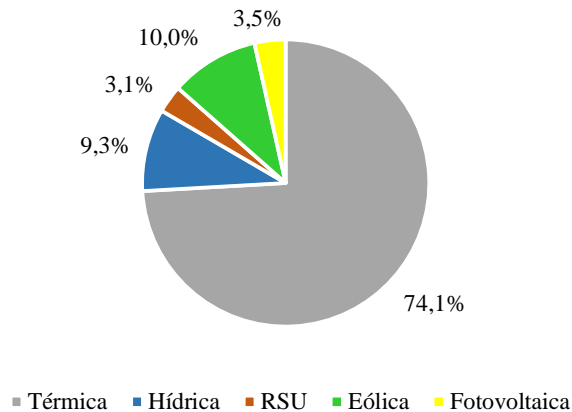


Figura 3.1 – Contribuição de energia por fonte no ano 2013 [21]

3.1.2. Centrais Termoelétricas

As Centrais Termoelétricas utilizam energia térmica obtida a partir da queima de combustíveis, como por exemplo, o fuelóleo, o carvão e outros. As centrais termoelétricas que operam baseadas na queima de combustíveis denominam-se clássicas. Nas centrais termoelétricas, a rotação das turbinas transforma a energia térmica em energia mecânica, o funcionamento dos alternadores transformá-la em energia elétrica [22].

3.1.2.1. Central Térmica da Vitória

A Central Térmica da Vitória entrou em funcionamento em 1979, para fazer face ao elevado crescimento da procura de energia elétrica na ilha da Madeira. Situa-se na margem esquerda da Ribeira dos Socorridos, freguesia de São Martinho, concelho do Funchal. Pertence ao Grupo EEM – Empresa de Eletricidade da Madeira.

No ano 2011, esta central tinha vinte grupos com um total de 212,94 MW instalados, em 2012 procedeu-se a classificação dos grupos um e dois e em 2013 foram desclassificados os grupos três e quatro ficando assim a central com uma potência instalada de 182,7 MW. Os grupos cinco até aos quinze funcionam a fuelóleo, os grupos dezasseis a vinte funcionam a Dual-Fuel e sendo o grupo vinte de ciclo combinado.

O Dual-Fuel consiste na queima simultânea de dois combustíveis. Os motores Diesel operados a Fuel podem ser convertidos para funcionar com até 95 % do calor por ciclo proveniente do gás natural [20, 21, 23].



Figura 3.2 – Central Térmica da Vitória [24]

3.1.2.2. Central Térmica do Caniçal

Esta central situa-se na Zona Franca do Caniçal, freguesia do Caniçal, concelho de Machico. Pertence à empresa Atlantic Islands Electricity SA. A central possui três grupos com uma potência total instalada de 36 MW. Sendo esta central operada por uma entidade privada, não existem dados pormenorizados disponíveis [23].



Figura 3.3 – Central Térmica do Caniçal

3.1.3. Centrais Hidroelétricas

As Centrais hidroelétricas aproveitam a energia latente contida nas grandes massas de água, nomeadamente mares, rios, ribeiras e outros cursos de água, para produzir movimento em turbinas acopladas e em grupos turboalternadores. Por sua vez, este movimento gera energia elétrica.

São dez as centrais hídricas ligadas à rede elétrica regional, sendo que nove são propriedade da EEM e uma é operada por uma entidade privada [25].

3.1.3.1. Central Hidroelétrica da Serra de Água

A Central Hidroelétrica da Serra de Água foi inaugurada em 1953, fazendo parte da primeira fase dos aproveitamentos hidroagrícolas realizados na década de cinquenta. Situa-se na freguesia de Serra de Água, concelho da Ribeira Brava. Esta é uma central de fio-de-água dotada com dois grupos geradores com turbinas do tipo Pelton, com uma potência total instalada de 4,8 MW, sendo a altura de queda de 430 m [20, 23].



Figura 3.4 – Central Hidroelétrica da Serra de Água [25]

3.1.3.2. Central Hidroelétrica da Calheta I

A Central Hidroelétrica da Calheta foi igualmente integrada nas obras da primeira fase dos aproveitamentos hidroagrícolas, tendo ficado concluída em 1953. Inicialmente equipada com três grupos de diferentes quedas, foi posteriormente ampliada com um quarto grupo em 1978. Situa-se no lugar de Lombo do Doutor, freguesia e concelho da Calheta. Os quatro grupos geradores estão equipados com turbinas Pelton. A potência instalada desta central são 4,52 MW [20, 23].



Figura 3.5 – Central Hidroelétrica da Calheta [25]

3.1.3.3. Central Hidroelétrica da Calheta de Inverno

A Central da Calheta de Inverno foi construída em 1992, funciona sobretudo durante o Inverno. Fica situada na vila da Calheta. Possui apenas um grupo gerador com uma potência instalada de 7 MW, a turbina é do tipo Pelton com uma altura de queda de 637 m [20, 23].



Figura 3.6 – Central Hidroelétrica da Calheta de Inverno [25]

3.1.3.4. Central Hidroelétrica dos Socorridos

Central de fio-de-água equipada com três turbinas Pelton que são alimentadas pela ribeira dos Socorridos. Situa-se no lugar do Engenho Velho, freguesia e concelho de Câmara de Lobos. Iniciou a sua produção em 1994 com 24 MW de potência instalada e uma queda útil de 457 m.

A complementar o funcionamento desta Central Hidroelétrica, a Estação de Bombagem dos Socorridos tem como principal objetivo garantir a disponibilidade da Central (24 MW) 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 MW de potência unitária, mais uma de reserva, sendo o período de bombagem de cerca de 6 horas para a totalidade dos caudais acumulados [20, 23].



Figura 3.7 – Central Hidroelétrica dos Socorridos [25]

3.1.3.5. Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira

A Central da Fajã da Nogueira entra em funcionamento em 1971, localiza-se no lugar de Fajã da Nogueira, freguesia do Faial, concelho de Santana. É uma central de fio-de-água equipada com duas turbinas Pelton com uma potência instalada de 2,4 MW e uma altura de queda de 348 m [20, 23].



Figura 3.8 – Central Hidroelétrica da Fajã da Nogueira [25]

3.1.3.6. Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela

Iniciou a sua produção em 1965, contando com 3 MW de potência instalada. É uma central de fio-de-água equipada com duas turbinas Pelton, sendo a sua queda útil de 398 m. Situa-se junto ao lugar de Lamaceiros, freguesia e concelho de Porto Moniz [20, 23].



Figura 3.9 – Central Hidroelétrica da Ribeira da Janela [25]

3.1.3.7. Central Hidroelétrica do Lombo Brasil

Localizada perto da Central da Calheta, a Central do Lombo Brasil é uma central mini-hídrica que utiliza os caudais captados em galeria para abastecimento público. Com uma potência efetiva de 150 kW, esta Central é a mais pequena central da rede da EEM. O seu modo de funcionamento é automático e não acompanhado, e a energia que produz é debitada na subestação da Central da Calheta através de uma linha de 6,6 kV [20, 23].



Figura 3.10 – Central Hidroelétrica do Lombo Brasil [25]

3.1.3.8. Central Hidroelétrica da Fajã dos Padres

A Central da Fajã dos Padres é um aproveitamento hidroagrícola de iniciativa privada, financiado por apoios comunitários e explorado pela EEM. A central utiliza caudais excedentes recolhidos no lanço sul do Canal do Norte, mergulhando-os, quase na vertical, através de uma conduta de cerca de 300 metros fixada numa falésia junto ao Cabo Girão. Com um único grupo de 1,7 MW, esta central funciona em modo automático e não acompanhado, arrancando quando

há água disponível e suspendendo a sua atividade quando aquela falta. O aproveitamento viabilizado pela Central da Fajã dos Padres possibilita a irrigação de uma vasta fajã que se espalha junto ao mar, na base da falésia [20, 23].



Figura 3.11 – Central Hidroelétrica da Fajã dos Padres [25]

3.1.3.9. 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. Está localizada em junto à Estação de Tratamento de Águas do Covão, freguesia de Estreito de Câmara de Lobos, concelho de Câmara de Lobos, e é alimentada pela ribeira dos Socorridos [23].

3.1.3.10. Central Hidroelétrica da Terça

A Central Hidroelétrica da Terça é uma central de fio-de-água equipada com uma turbina que é alimentada pela Ribeira de Terça. Esta central pertence ao Instituto de Gestão da Água e está localizada na freguesia de São Roque, no concelho do Funchal. Iniciou a sua produção em 1999 e conta com 0,8 MW de potência instalada.

3.1.4. Parques Eólicos

Desde há muito tempo que a humanidade utiliza diversas formas de energia renovável. 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 os barcos à vela, ambos os quais usufruem da energia contida nas camadas de ar em movimento.

Analogamente, há já algum tempo que as sociedades utilizam a energia cinética do vento para fazer rodar turbinas com pás semelhantes às de uma hélice de avião, produzindo, desse modo, energia eólica. O movimento assim obtido é transmitido através de um veio a um gerador, instalado no topo de torres de suporte, que produz energia elétrica [26].

Na ilha da madeira existem nove parques eólicos, perfazendo uma potência instalada total de 45,11 MW.

3.1.4.1. Parque Eólico da Bica da Cana

O parque eólico da bica da cana é propriedade da empresa ENERGÓLICA, SA, entrou em funcionamento em 2013, possui um aerogerador de 3MW da marca Vestas [27].

3.1.4.2. Parque Eólico do Caniçal

Este parque eólico pertence à empresa ENERGÓLICA, SA e iniciou a sua produção em 1993, contando atualmente com 6 aerogeradores de 150 kW marca NORDTANK, perfazendo 900 kW de potência instalada [27].

3.1.4.3. Parque Eólico do Juncal

O Parque Eólico do Juncal é propriedade da empresa PERFORM3 – Parques Eólicos, Lda, entrou em funcionamento em 1992 e neste momento é constituído por quatro aerogeradores de 1,5 MW da Eozen-Vensys, dois aerogeradores de 130 kW e doze de 150 kW ambos da NORDTANK, este parque conta com uma potência instalada de 8,06 MW [27].



Figura 3.12 – Parque Eólico do Juncal [28]

3.1.4.4. Parque Eólico do Loiral

O Parque Eólico do Loiral é propriedade da empresa ENEREEM – Energias Renováveis, Lda, está em funcionamento desde 2009 e conta com seis aerogeradores de 850 kW da VESTAS, o que faz uma potência instalada de 5,1 MW [27].



Figura 3.13 – Parque Eólico do Loiral [28]

3.1.4.5. Parque Eólico do Loiral II

O Parque Eólico do Loiral II é propriedade da empresa ENEREEM – Energias Renováveis, Lda, está em funcionamento desde 2011 e conta com dois aerogeradores de 3 MW da VESTAS, o que faz uma potência instalada de 6 MW [27].



Figura 3.14 – Parque Eólico do Loiral II [28]

3.1.4.6. Parque Eólico do Paul da Serra

Este parque pertence à empresa PERFORM3 – Parques Eólicos, Lda, entrou em funcionamento em 2009, com quatro aerogeradores da Eozen-Vensys o parque tem uma potência instalada de 6 MW [27].



Figura 3.15 – Parque Eólico do Paul da Serra [28]

3.1.4.7. Parque Eólico do Paul da Serra (ENEREEM)

O Parque Eólico do Paul da Serra dispõe de uma potência total de 3,3 MW, sendo constituído por cinco aerogeradores VESTAS, este parque pertence a ENEREEM – Energias Renováveis, Lda, estando este parque em funcionamento desde 2003 [27].



Figura 3.16 – Parque Eólico do Paul da Serra [28]

3.1.4.8. Parque Eólico de Pedras

O Parque Eólico de Pedras está em funcionamento desde 2009 e dispõe de uma potência total de 10,2 MW, sendo constituído por doze aerogeradores VESTAS. Os aerogeradores foram equipados com sistemas de regulação das pás do tipo *pitch control* e de redução e/ou absorção das oscilações de potência, para garantir a estabilidade da rede. Este parque pertence à ENEREEM – Energias Renováveis, Lda [27].



Figura 3.17 – Parque Eólica de Pedras [28]

3.1.4.9. Parque Eólico Quinta do Lorde

O Parque Eólico Quinta do Lorde está em funcionamento desde 2009 e dispõe de uma potência total de 2,55 MW, sendo constituído por 3 aerogeradores VESTAS [27].

3.1.5. Parque Fotovoltaico

Nos sistemas fotovoltaicos a radiação solar é convertida em energia elétrica por intermédio dos chamados semicondutores, que são configurados em elementos denominadas células fotovoltaicas. Os semicondutores feitos de silício são os mais usados na construção das células. Uma vez que cada célula produz uma corrente contínua de intensidade relativamente fraca, procede-se à sua associação para obter, após encapsulamento, um conjunto denominado módulo fotovoltaico. O agrupamento de módulos, colocados numa mesma estrutura de suporte, forma um painel. Quando incide luz solar com energia suficiente sobre estas estruturas, produz-se uma corrente de eletrões, obtendo-se assim energia elétrica utilizável.

Na ilha da madeira existe um parque fotovoltaico, este parque entrou em funcionamento em 2010 e é pertença do grupo Fomentinvest. O parque tem uma potência instalada de 6,6 MW [28].



Figura 3.18 – Parque Fotovoltaico do Caniçal [28]

3.1.6. Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Na ilha da Madeira existe uma estação de tratamento de resíduos sólidos urbanos, situada na Meia Serra, concelho de Santa Cruz, pertence à empresa Valor Ambiente, SA. Esta estação tem uma potência instalada de 8 MW e está em funcionamento desde 2008.

A valorização energética efetuada na Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, é um processo controlado e automatizado que, para além de tratar os resíduos indiferenciados termicamente, possibilita a produção de energia elétrica.

A eletricidade produzida através da incineração de resíduos é direcionada para a rede de distribuição pública, ou seja, é vendida à Empresa de Eletricidade da Madeira [28, 29].

3.1.7. Consumo de Energia Elétrica

A emissão de energia elétrica na rede da ilha da Madeira apresentou um crescimento até ao ano de 2008, até este ano verifica-se que a contribuição de energia de origem térmica está a aumentar, a partir de 2008 podemos observar pela Figura 3.19 que a contribuição de energia de origem térmica está a diminuir enquanto que a contribuição de energia de origem renovável está a aumentar, tal acontece devido ao aumento da potência instalada eólica e fotovoltaica.

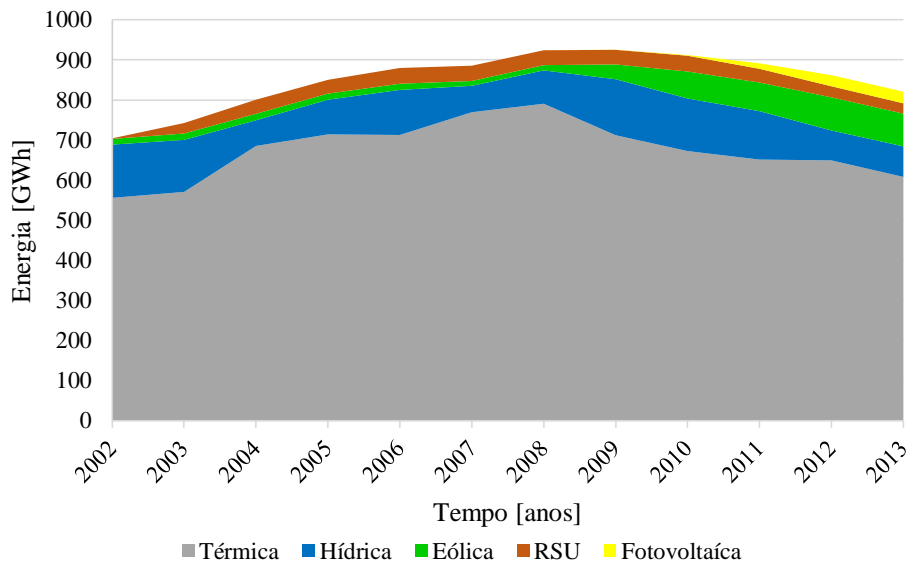


Figura 3.19 – Evolução da emissão na rede elétrica da ilha da Madeira entre 2002 a 2013 [20, 30, 31]

Na Figura 3.20 podemos ver que a partir de 2008 a potência eólica instalada aumentou e que desde 2010 houve um aumento da potência instalada de origem fotovoltaica. Podemos observar pela figura abaixo que a potência térmica instalada diminuiu, isto deve-se ao facto de em 2012 terem sido desclassificados os grupos 1 e 2 da Central Térmica da Vitória e em 2013 foram desclassificados os grupos 3 e 4 da mesma central.

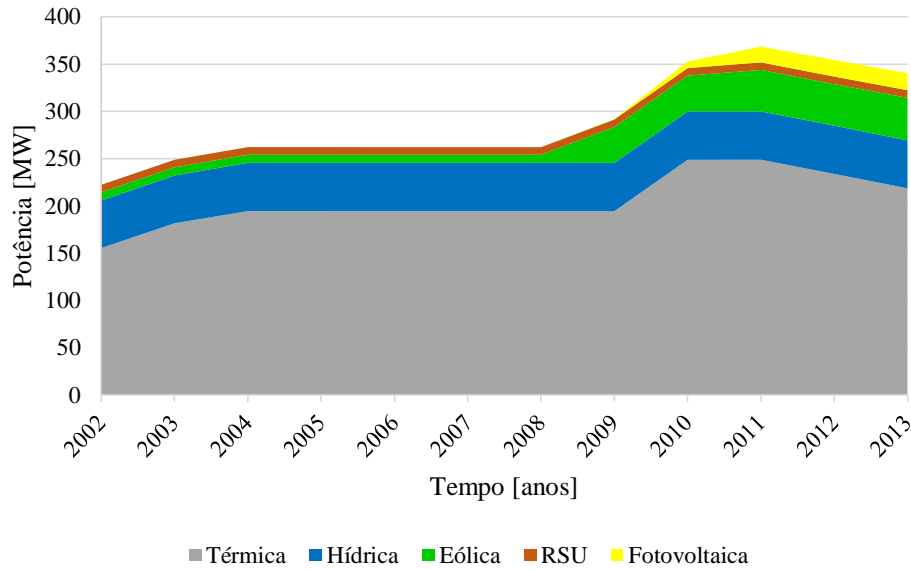


Figura 3.20 – Evolução da Potência instalada na ilha da Madeira entre 2002 e 2013 [20, 30, 31]

3.1.8. Consumo de Energia Elétrica pelos diferentes Setores

Pela Figura 3.21 podemos ver que o consumo de energia elétrica tal como o número de consumidores aumenta até ao ano 2008 a partir deste ano apesar de existir um aumento dos consumidores o consumo diminui essencialmente no setor do comércio e serviços e na indústria, este decréscimo deve-se a crise económica existente no país.

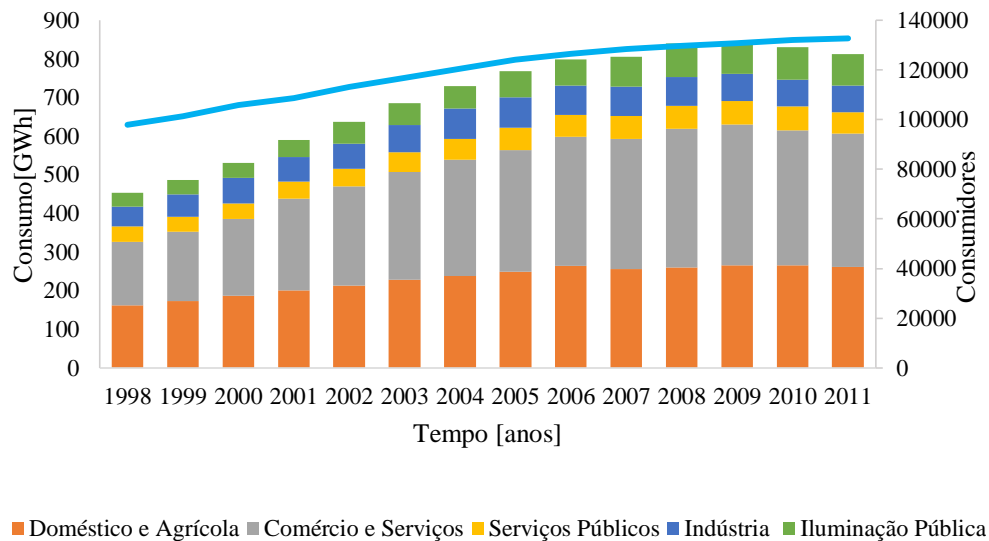


Figura 3.21 – Evolução do Consumo de Energia Elétrica por Setor de 1998 a 2011 [20, 30, 31]

3.1.9. Diagramas de carga

Nas figuras abaixo está os diagramas de carga médios para as diferentes estações do ano, estes diagramas de carga são referentes ao ano 2013. Para elaborar os respetivos diagramas de carga foi necessário utilizar o *software* Matlab para calcular as médias horárias para cada estação do ano, uma vez que os dados disponíveis eram hora a hora durante o ano de 2013.

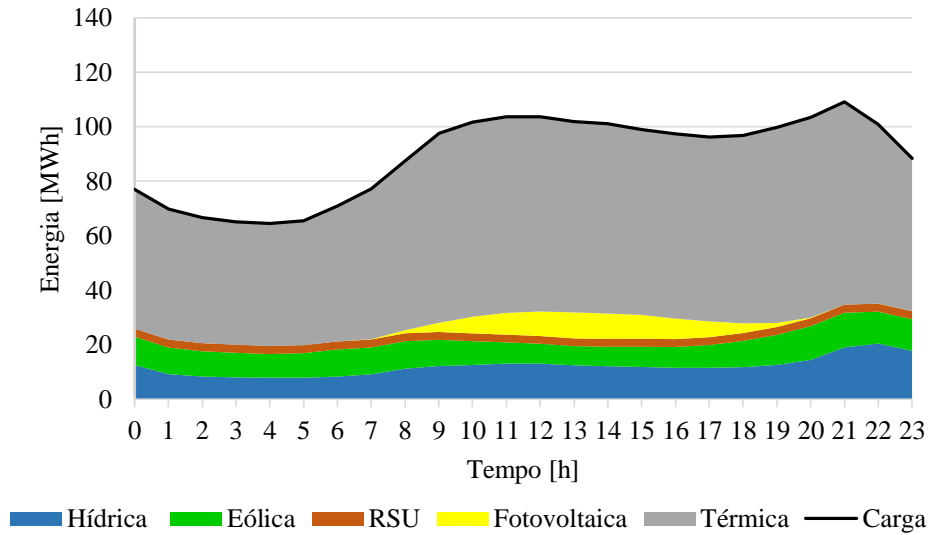


Figura 3.22 – Diagrama de Carga médio da Primavera para o ano 2013

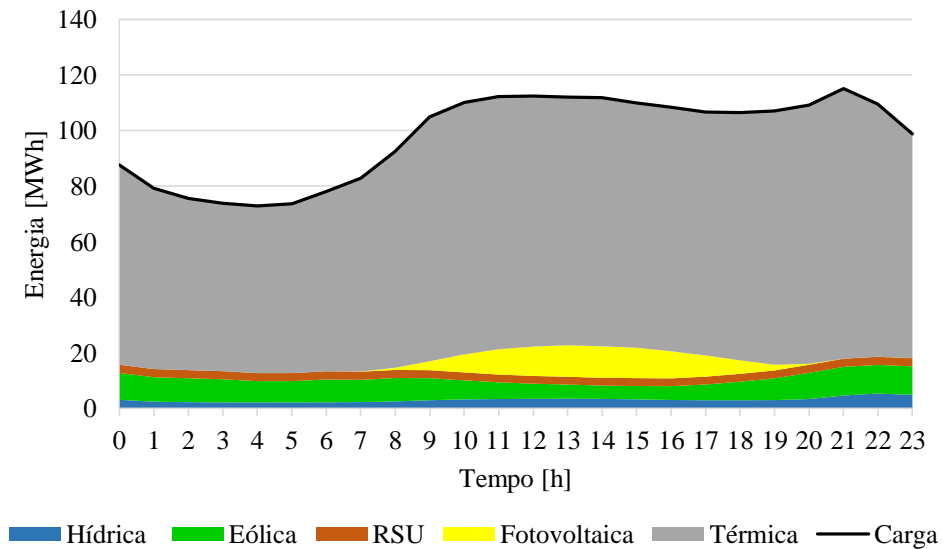


Figura 3.23 – Diagrama de Carga médio do Verão para o ano 2013

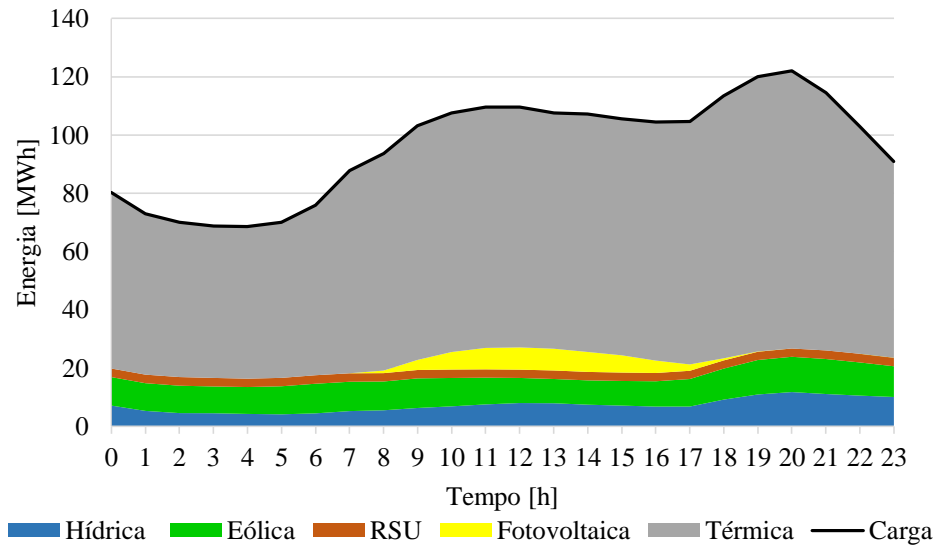


Figura 3.24 – Diagrama de Carga médio do Outono para o ano 2013

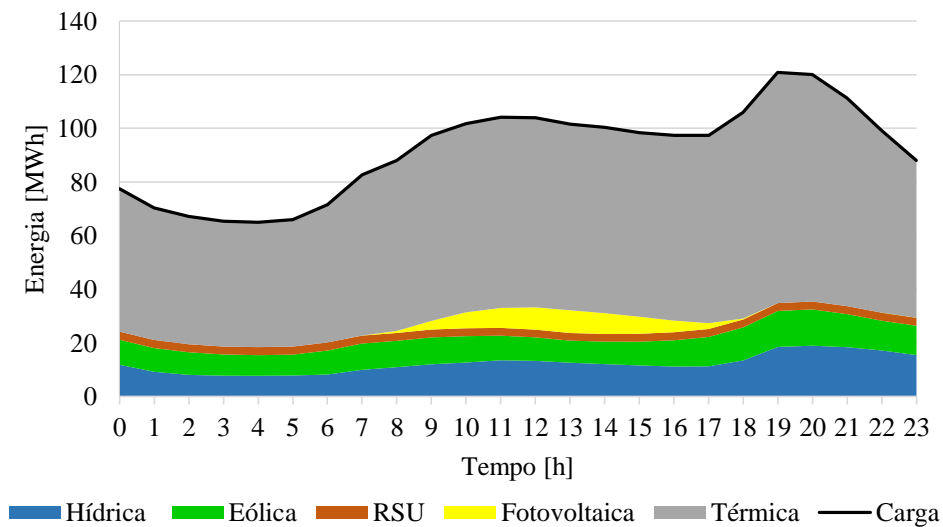


Figura 3.25 – Diagrama de Carga médio do Inverno para o ano 2013

Por observação dos diagramas de carga nota-se que durante os meses de verão a produção de origem renovável é reduzida comparando com as outras estações do ano, neste estação a energia hídrica é baixa uma vez que durante o verão existe pouca chuva e na ilha da Madeira as centrais hídricas são fio de água logo não é possível armazenar. A primavera e o inverno são as estações com maior produção renovável.

3.1.10. Emissões Específicas do Setor Elétrico na ilha da Madeira

Na Figura 3.26, está representada a evolução mensal das emissões específicas de CO₂ em g/kWh na ilha da Madeira no ano 2012.

Por observação da evolução mensal das emissões de CO₂ pode-se concluir que o mês de agosto apresenta uma emissão significativa uma vez que durante os meses de verão os recursos hídricos e eólicos são escassos e sendo a ilha da Madeira um destino turístico muito procurado, nos meses de verão apresenta um elevado consumo de energia, por outro lado em novembro sendo um mês em que o turismo diminui e já existem mais recursos renováveis disponíveis as emissões diminuem.

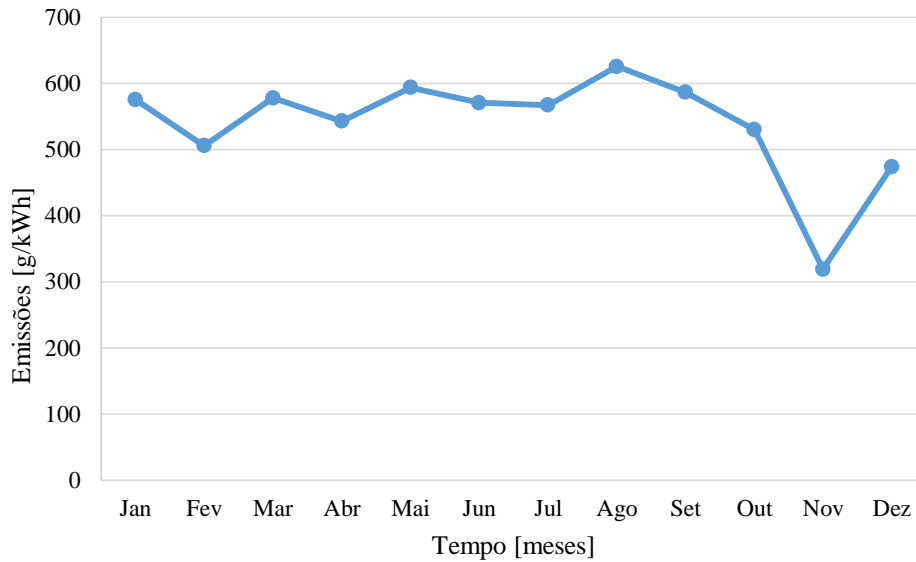


Figura 3.26 – Evolução mensal das emissões de CO₂ no ano 2012

Na Tabela 3.2 está representada as emissões específicas referentes ao mix de produção, ou seja, estão incluídas as emissões das centrais térmicas e da central de resíduos sólidos urbanos nos últimos anos, nota-se que as emissões têm vindo a diminuir e isto deve-se ao fato de a produção térmica ter diminuído uma vez que existiu um aumento da potência instalada de energias renováveis logo uma maior produção de origem renovável.

Tabela 3.2 - Emissões específicas referentes ao mix de produção de 2009 a 2012

| Ano | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|------------------------------|------|------|------|------|
| Emissões Específicas [g/kWh] | 570 | 550 | 542 | 541 |

3.2. Setor dos Combustíveis

3.2.1. Evolução do Consumo de Combustíveis

O consumo de combustíveis na ilha da Madeira apresenta um crescimento entre 2003 a 2005, com um crescimento mais acentuado entre 2004 e 2005, a partir de 2006 nota-se uma diminuição no consumo dos combustíveis, nota-se que essa diminuição é mais significativa na gasolina sem chumbo 98, como podemos observar na Figura 3.27.

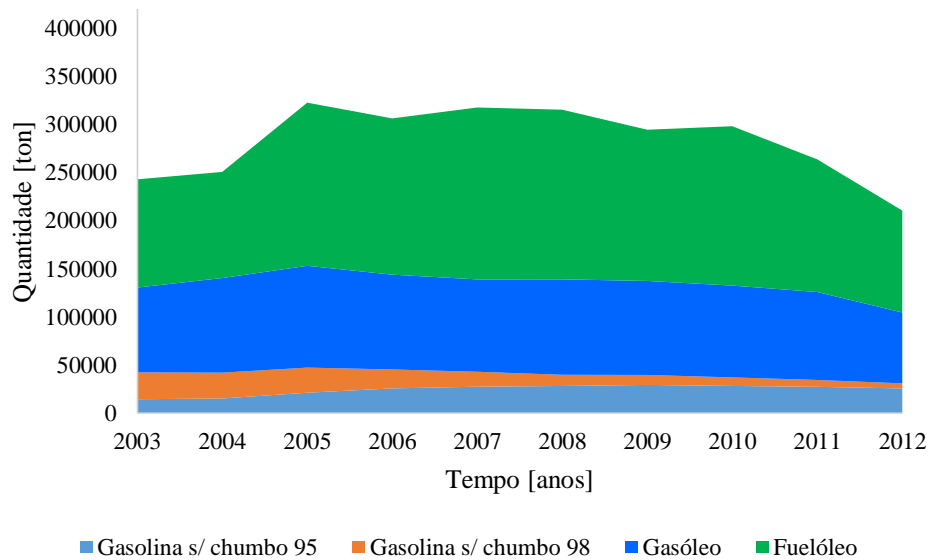


Figura 3.27 – Evolução do Consumo de Combustíveis na ilha da Madeira de 2003 a 2012 [32]

Pela observação da Figura 3.28 podemos concluir que como era esperado uma vez que a ilha Madeira é um sistema elétrico isolado a produção de energia elétrica é um grande consumidor de combustíveis por outro lado os transportes também são uns grandes consumidores de combustíveis.

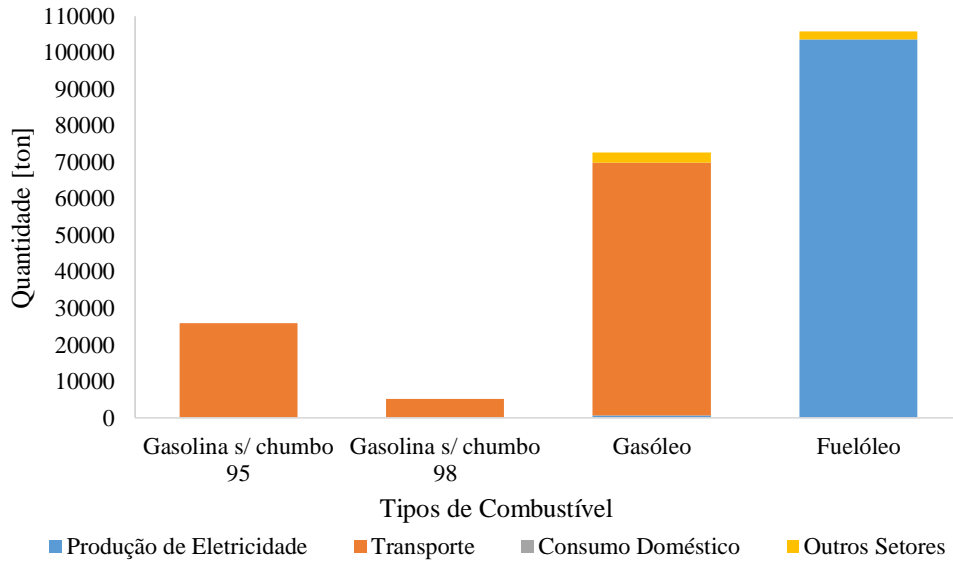


Figura 3.28 – Consumo de Combustível na ilha da Madeira por setor ano 2012 [32]

3.2.2. Evolução do Preço dos Combustíveis

O preço dos combustíveis na ilha da Madeira entre 2008 e 2009 apresentou um decréscimo, a partir de 2009 e até 2012 estiveram em constante crescimento em 2013 os preços praticados na ilha foram ligeiramente inferiores ao ano anterior.

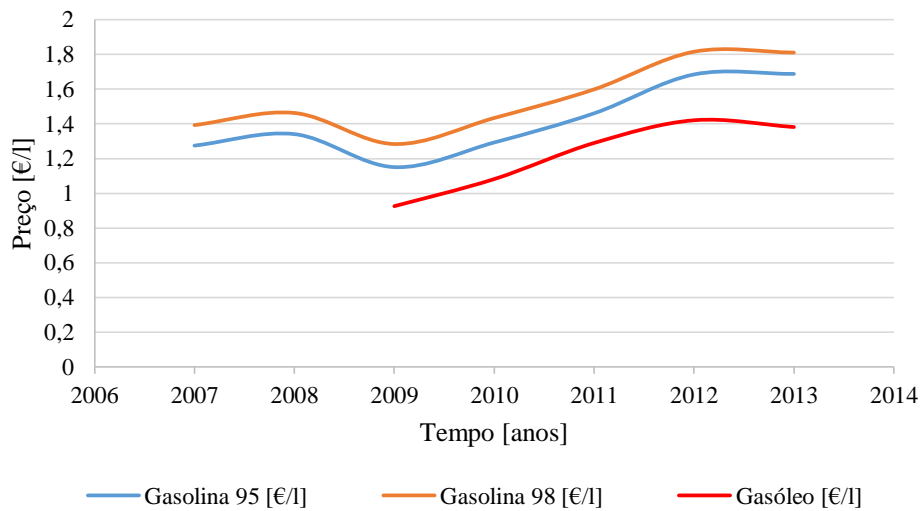


Figura 3.29 – Evolução do preço dos combustíveis na ilha da Madeira [33]

3.3. Parque Automóvel

3.3.1. Parque Automóvel em Portugal

Por análise da figura a abaixo nota-se que até ao ano de 1990 o número de veículos ligeiros em Portugal apresentava um ligeiro crescimento, a partir deste ano e até 2002 este crescimento foi mais significativo desde esse ano o aumento de veículos foi mais lento. Em 2012 o parque automóvel contava com 5 667 000 veículos ligeiros menos 61 000 que em 2011.

A evolução do número de veículos ligeiros em Portugal teve um crescimento significativo ao longo dos anos.

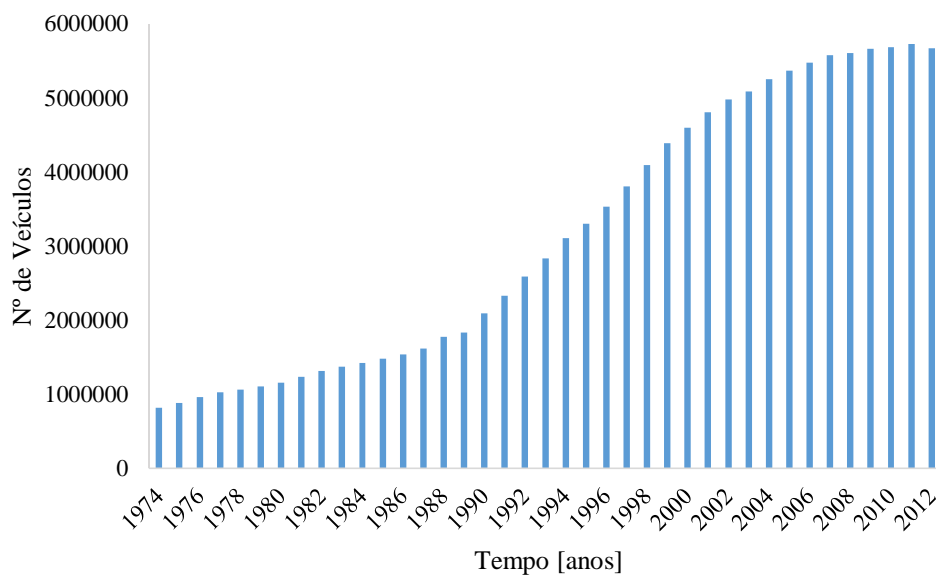


Figura 3.30 – Evolução do Parque Automóvel em Portugal de 1974 a 2012 [34]

Na Figura 3.31 está presente a venda de veículos ligeiros em Portugal nota-se que nos últimos anos a venda de veículos a gasolina diminui isto deve-se ao fato do preço da gasolina ter sofrido um aumento significativo. A venda de veículos a *diesel* apresenta uma percentagem elevada devido ao fato deste combustíveis apresentar um preço inferior ao da gasolina, desde 2006 nota-se um ligeiro aumento de vendas de veículos os híbridos e elétricos.

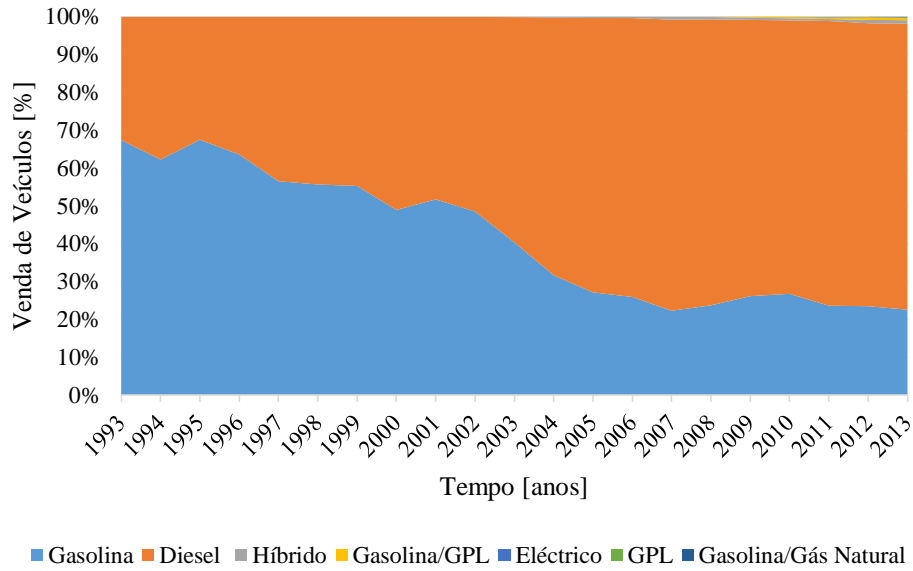


Figura 3.31 – Evolução da Vendas de Veículos Ligeiros em Portugal [34]

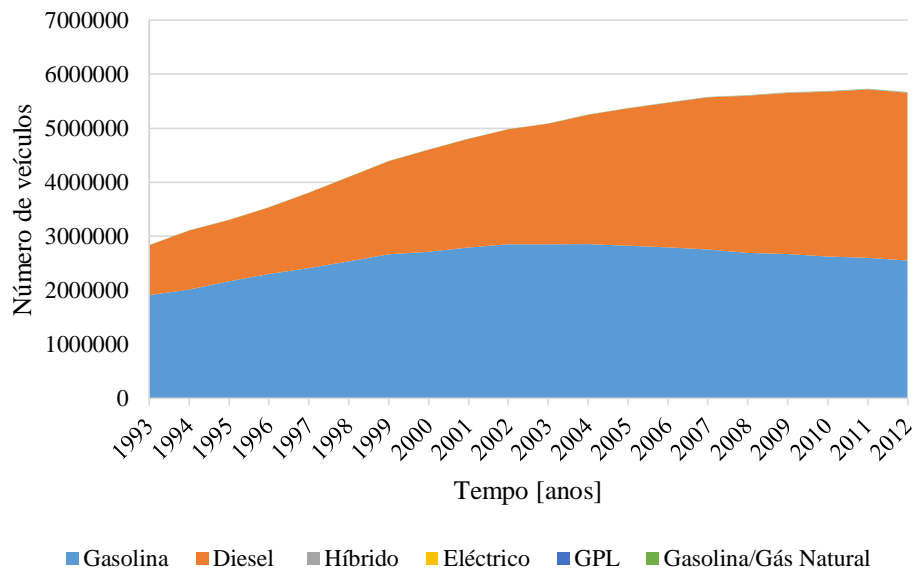


Figura 3.32 – Número de veículos por tipo de combustível

3.3.2. Parque Automóvel na ilha da Madeira

O parque automóvel na ilha da Madeira nos últimos anos não tem sofrido grandes alterações desde 2010, como se verifica pela Figura 3.33.

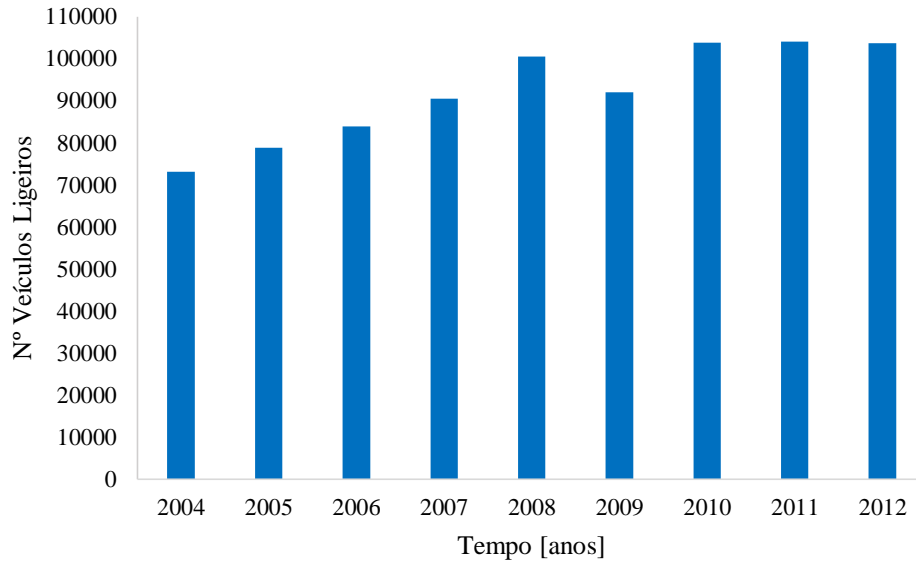


Figura 3.33 – Evolução do Parque Automóvel na ilha da Madeira [35]

3.3.3. Energia Consumida pelo Setor dos Transportes

Tabela 3.3 – Poder calorífico inferior por combustível [36]

| Tipo de combustível | PCI (MJ/kg) |
|---------------------|-------------|
| Gasóleo | 42,8 |
| Gasolina | 44,5 |

Sabendo o poder calorífico inferior do combustível é possível saber a energia consumida.

$$E = q_{comb} \cdot PCI_{comb} \quad (3.1)$$

Em que:

E – Energia consumida (MJ);

q_{comb} – Quantidade de combustível consumido (kg);

PCI_{comb} – Poder calorífico inferior do combustível (MJ/kg).

Tabela 3.4 – Energia consumida pelo setor automóvel na ilha da Madeira

| Tipo de combustível | E (MJ) |
|---------------------|-----------------|
| Gasóleo | 2 963 164 054 |
| Gasolina | 1 388 201 663,5 |

3.3.4. Emissões de CO₂ Produzidas pelo Setor dos Transportes

Para calcular as emissões de CO₂ do setor dos transportes foi necessário saber qual a emissão durante a combustão como se ver na Tabela 3.5, a partir destes dados e sabendo a

quantidade de combustíveis consumidos na ilha da Madeira calculou-se as emissões presentes na Tabela 3.6.

Tabela 3.5 – Emissões CO₂ durante a combustão [37]

| Tipo de combustível | kg | kg CO ₂ |
|---------------------|----|--------------------|
| Gasóleo | 1 | 3,16 |
| Gasolina | 1 | 3,088 |

Tabela 3.6 – Emissões de CO₂ pelo setor dos transportes no ano 2012

| Tipo de combustível | kg | kg CO ₂ | ton CO ₂ |
|---------------------|----------|--------------------|---------------------|
| Gasóleo | 69232805 | 218775663,9 | 218775,7 |
| Gasolina | 31195543 | 96331836,49 | 96331,84 |

Capítulo 4

Metodologia

No presente capítulo é apresentado a metodologia utilizada para caracterizar e projetar os sistemas energéticos da ilha da Madeira, bem como os cenários considerados.

4. Metodologia

4.1. Evolução da População Residente

4.1.1. Evolução da População Residente em Portugal Continental

Segundo os dados do INE (Instituto Nacional de Estatística) sabe-se qual a população residente em Portugal Continental. Na Figura 4.1 está representado a evolução da população residente em Portugal Continental entre 1991 e 2012.

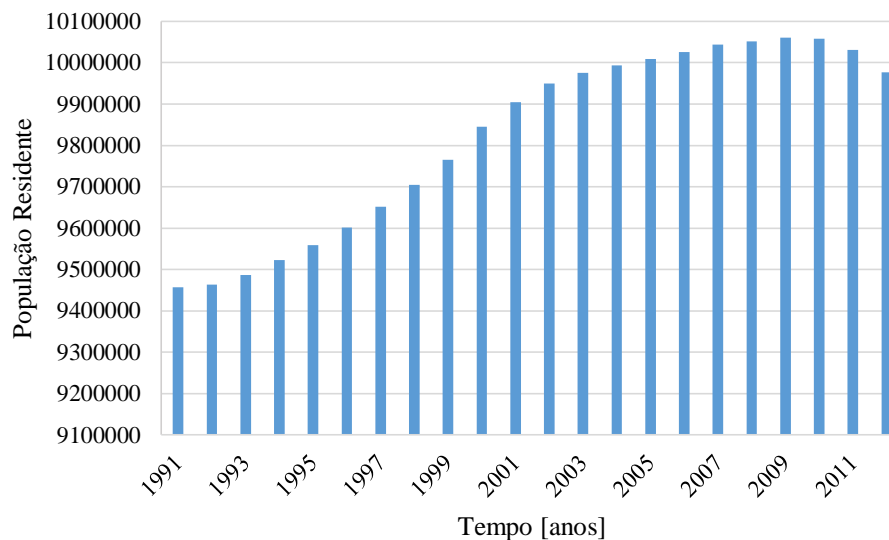


Figura 4.1 – Evolução da população residente em Portugal Continental [38]

Na Figura 4.2 está representada a projeção da população residente em Portugal Continental entre 2012 e 2030 segundo o INE, nota-se que a população tende a diminuir [39].

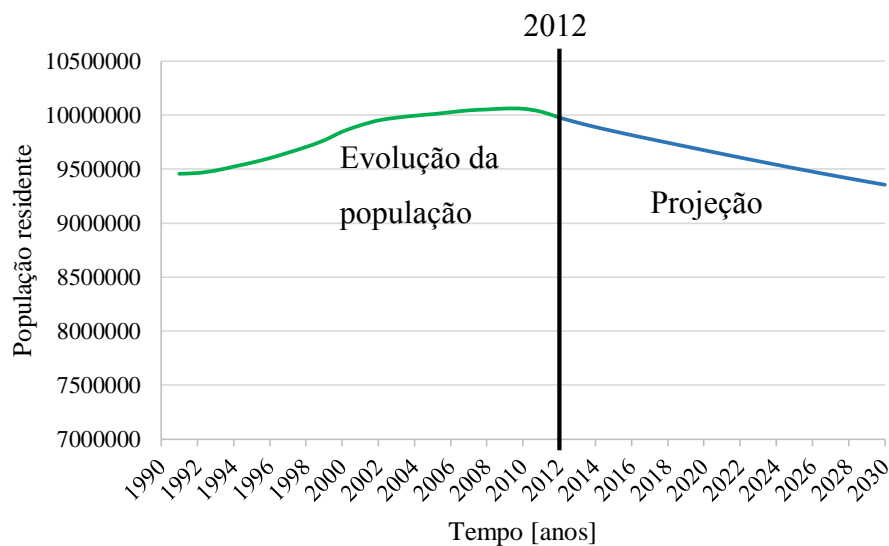


Figura 4.2 – Projeção da evolução da população residente em Portugal Continental

4.1.2. Evolução da População Residente na ilha da Madeira

Segundo os dados do INE (Instituto Nacional de Estatística) sabe-se qual a população residente na RAM (Região Autónoma da Madeira) e a população residente na ilha da Madeira. Na Figura 4.3 está representado a evolução da população residente na ilha da Madeira entre 1991 e 2012.

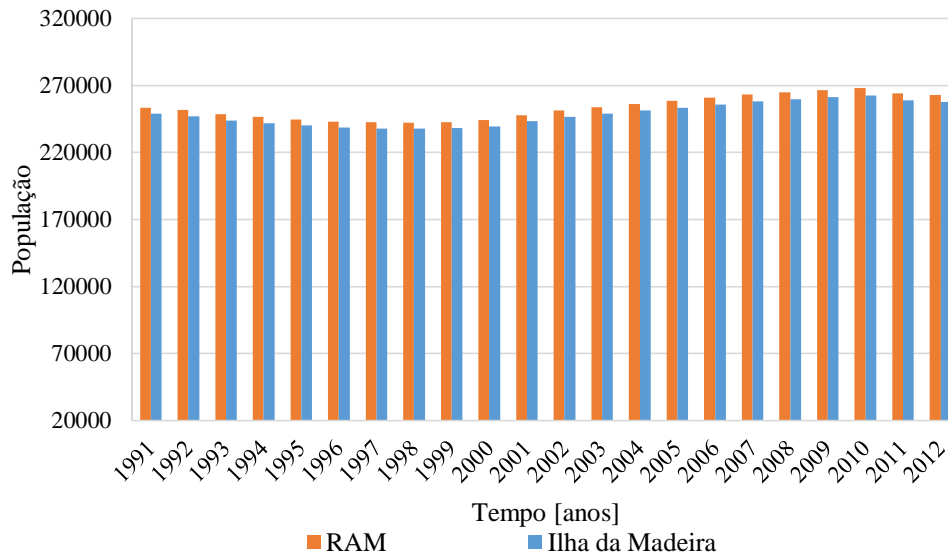


Figura 4.3 – Evolução da população residente na ilha da Madeira e na RAM entre 1991 e 2012 [38]

Na Figura 4.4 pode-se observar as projeções segundo o INE para a RAM, o se verifica pela figura a população na RAM tende a diminuir ao longo dos anos, isto deve ao fato da taxa de natalidade estar a diminuir enquanto que o envelhecimento está a aumentar.

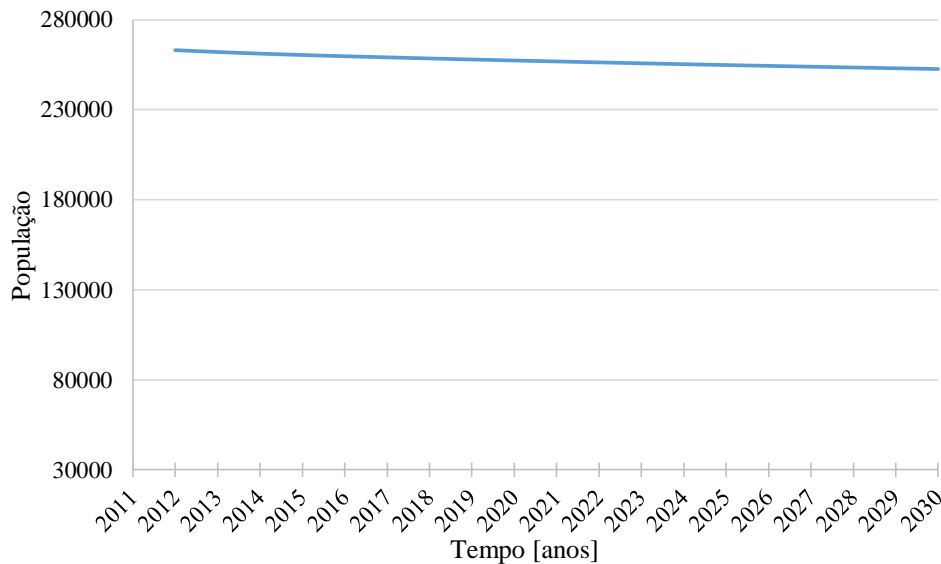


Figura 4.4 – Projeção da evolução da população residente na Região Autónoma da Madeira [39]

Sendo que a ilha da Madeira representa 98 % da população da RAM, logo e como representado na figura abaixo sabe-se qual a projeção da população residente na ilha da Madeira até ano 2030.

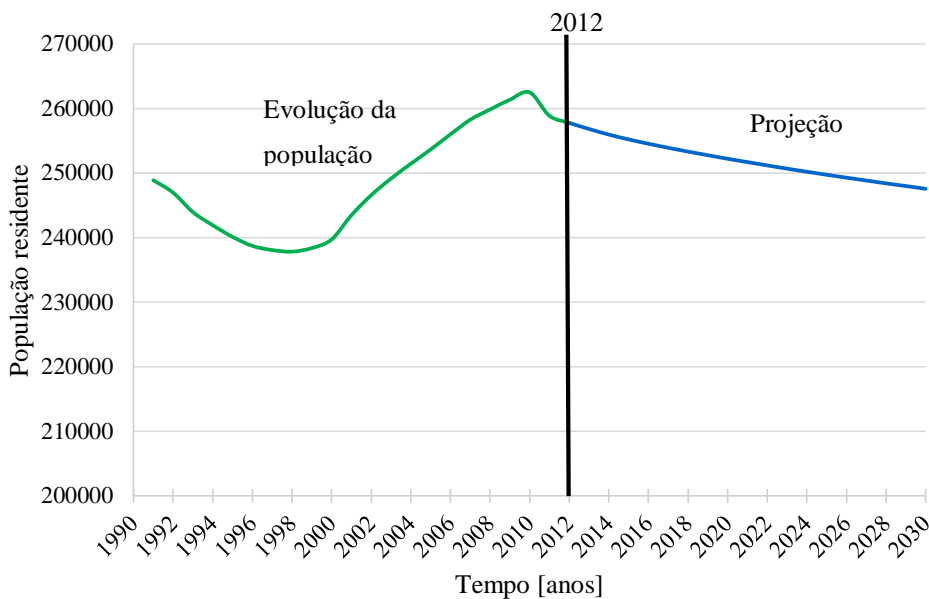


Figura 4.5 – Projeção da população residente na ilha da Madeira até 2030

4.2. Evolução dos Preços

4.2.1. Evolução do Preço dos Combustíveis

Para a projeção do preço dos combustíveis partiu-se dos valores dos combustíveis na ilha da Madeira entre 2007 e 2013 e o preço do petróleo por forma a obter o valor indexado dos combustíveis ao petróleo. Na Figura 4.6 está a previsão dos preços do petróleo até 2040.

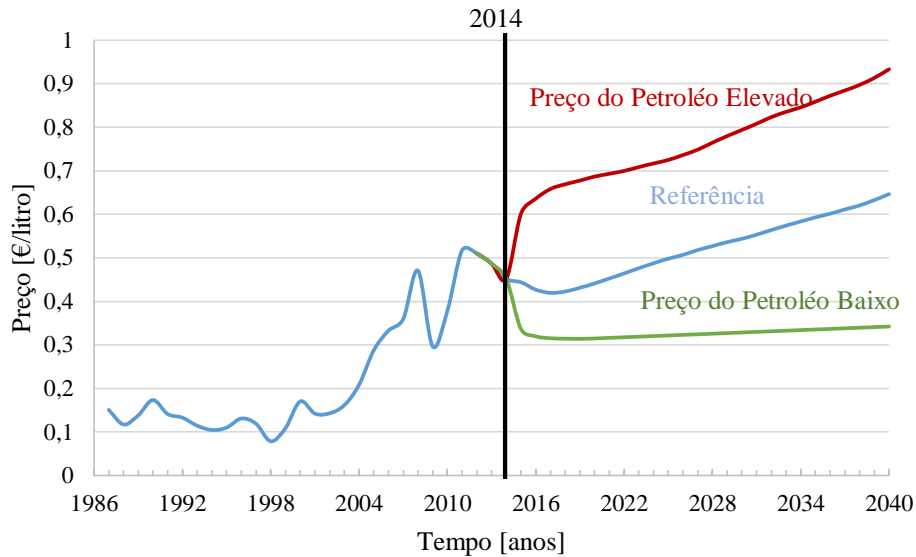


Figura 4.6 – Preços médios anuais do petróleo no mundo para três cenários [40]

$$Ajuste_{2007_2013} = \frac{Preço_{comb_{2007_2013}}}{Preço_{petróleo_{2007_2013}}} \quad (4.1)$$

$$VI_{comb_petróleo} = \overline{Ajuste_{2007_2013}} \quad (4.2)$$

Onde,

$Preço_{comb_{2007_2013}}$ – Preço do combustível de 2007 a 2013 [€/l];

$Preço_{petróleo_{2007_2013}}$ – Preço do petróleo de 2007 a 2013 [€/l];

$VI_{comb_petróleo}$ – Valor indexado do combustível ao petróleo;

$\overline{Ajuste_{2007_2013}}$ – Média dos ajustes entre 2007 a 2013.

Para obter o preço dos combustíveis a partir de 2014 utilizou-se o seguinte cálculo:

$$Preço_{comb_{2014_2030}} = VI_{comb_petróleo} \cdot Preço_{petróleo_{2014_2030}} \quad (4.3)$$

Para o cálculo do preço dos combustíveis foi considerado o preço de referência do petróleo. Por falta de dados do preço do fuelóleo na ilha da Madeira considerou-se que seria igual ao preço em Portugal Continental.

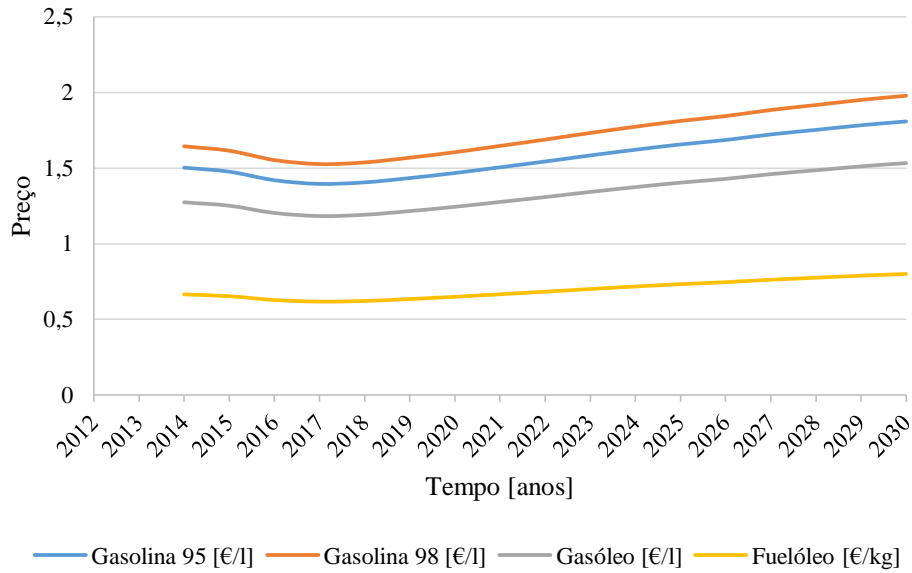


Figura 4.7 – Evolução do preço dos combustíveis na ilha da Madeira

4.2.2. Evolução do Preço da Eletricidade

Para determinar a evolução do preço da eletricidade teve-se em conta o preço da eletricidade para Portugal Continental entre 1991 e 2013, como se observa pela Figura 4.8 depois de traçar o gráfico adicionou-se uma linha de tendência para poder prever a sua evolução a partir de 2013, considerou-se que o preço da eletricidade na ilha da Madeira a partir de 2014 é igual ao preço da eletricidade em Portugal Continental, a evolução do preço da eletricidade está presente na Figura 4.9.

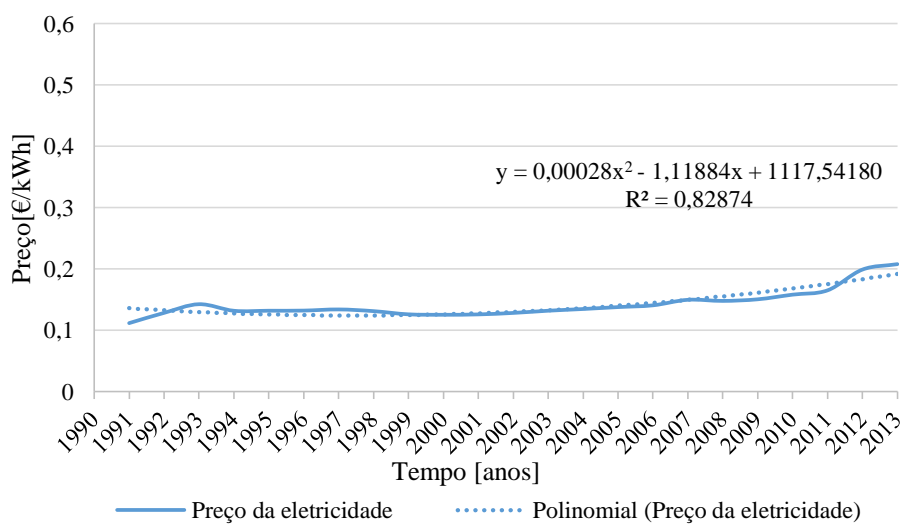


Figura 4.8 – Evolução do preço da eletricidade em Portugal Continental [41]

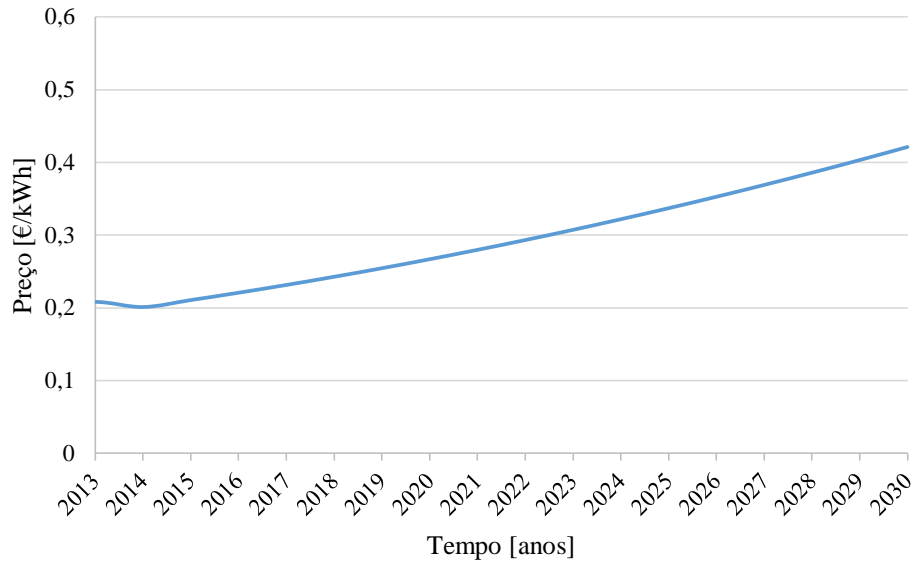


Figura 4.9 – Evolução expetável do preço da eletricidade na ilha da Madeira até 2030

4.2.3. Evolução do Preço do CO₂

Para determinar a evolução do preço de dióxido de carbono teve-se em conta os dados presentes em [42] e a partir destes dados traçou-se o gráfico presente na Figura 4.10 de seguida adicionou-se uma linha de tendência em forma de polinómio de quarta ordem, sendo assim possível saber qual será o preço do CO₂ nos restantes anos.

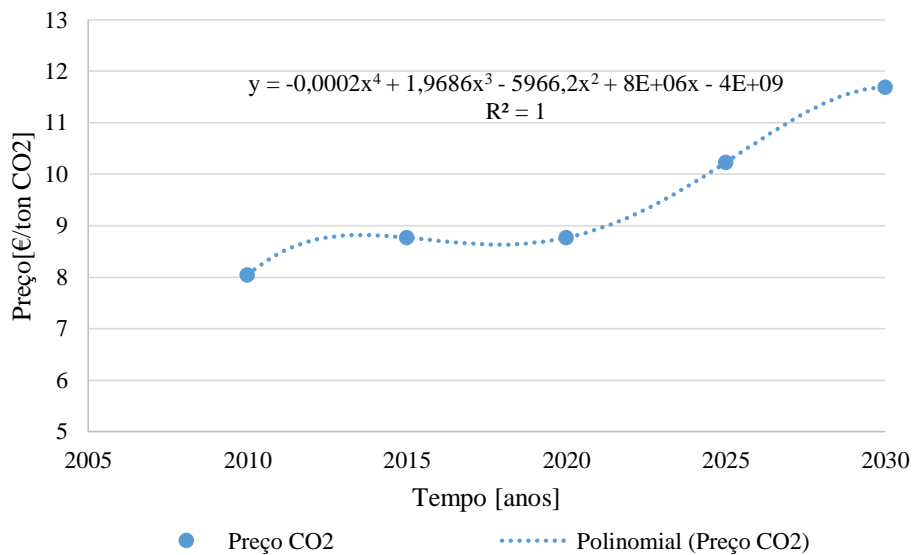


Figura 4.10 – Evolução do preço do dióxido de carbono

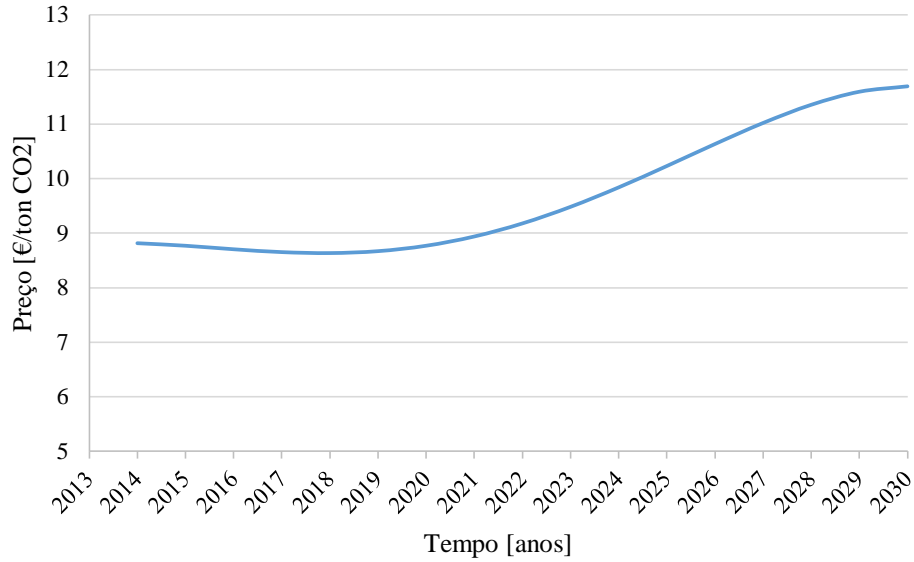


Figura 4.11 – Evolução do preço do dióxido de carbono

4.3. Setor Automóvel

4.3.1. Evolução do Parque Automóvel

Para determinar a tendência de crescimento dos veículos em Portugal Continental e na ilha da Madeira foi necessário utilizar a função de Gompertz expressa na Equação (4.4).

$$VD(t) = c + (S - c) \cdot e^{-e^{-b \cdot (t-a)}} \quad (4.4)$$

Onde,

VD(t) – Densidade de veículos para o ano t (veículos por 1000 habitantes);

t – Tempo em anos;

c – Ordenada y para a translação para cima;

S – Ponto de saturação;

b – Parâmetro de escala;

a – Coordenada x do ponto de inflexão da curva.

De modo a obter uma função que se ajuste à densidade dos veículos foi necessário utilizar o método dos mínimos quadrados para determinar os parâmetros da função de Gompertz:

$$\min \sum (f(t) - VD(t))^2$$

s.a.

$$c \geq 0 \quad (4.5)$$

$$S \geq 0$$

$$b \geq 0$$

$$a \geq 0$$

Sendo $f(t)$ o número de veículos ligeiros em valores reais por cada 1000 habitantes.

Visto só ter acesso ao número de veículos ligeiros para a ilha da Madeira a partir de 2004 e este serem insuficientes utilizou-se os dados de Portugal Continental considerou-se que a dimensão do parque automóvel seria semelhante à da ilha da Madeira. Presumiu-se deste modo que a frota de ligeiros de passageiros por 1000 habitantes em Portugal Continental, com um coeficiente de determinação igual a 0,9991, ou seja, muito próxima de 1.

O coeficiente de determinação é calculado pela seguinte equação:

$$R^2 = \left(\frac{\sum(f(t) - \bar{f}(t))(VD(t) - \overline{VD}(t))}{\sqrt{(\sum(f(t) - \bar{f}(t))^2) (\sum(VD(t) - \overline{VD}(t))^2)}} \right)^2 \quad (4.6)$$

Onde,

R^2 – Coeficiente de determinação;

$\bar{f}(t)$ – Número médio de veículos ligeiros em valores reais por cada 1000 habitantes;

$\overline{VD}(t)$ – Densidade média de veículos para o ano t.

A Figura 4.12 ilustra a densidade de veículos ligeiros em Portugal Continental por cada 1000 habitantes e a sua tendência. Na Tabela 4.1 estão presentes os parâmetros da função de Gompertz que melhor se ajusta a densidade de veículos.

Tabela 4.1 – Parâmetros da função de Gompertz para Portugal Continental

| | |
|---|---------|
| S | 588,02 |
| c | 204,96 |
| a | 1994,96 |
| b | 0,19 |

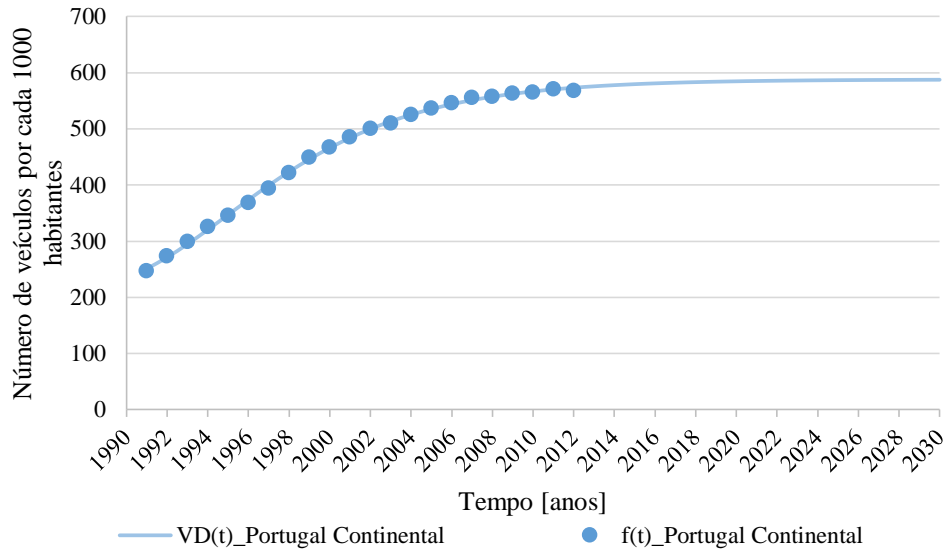


Figura 4.12 – Veículos ligeiros em Portugal Continental por cada 1000 habitantes

Pela Figura 4.13 nota-se que ao fazer uma translação segundo o eixo das abcissas a evolução do número de veículos ligeiros por 1000 habitantes na ilha da Madeira está atrasada 11 anos em relação a evolução em Portugal Continental. Comparando o número de veículos ligeiros por 1000 habitantes no ano 2001, nota-se que a diferença entre os valores é de 20 %. Teve em conta este valor para construir os cenários da evolução do número de veículos ligeiros por 1000 habitantes para a ilha da Madeira.

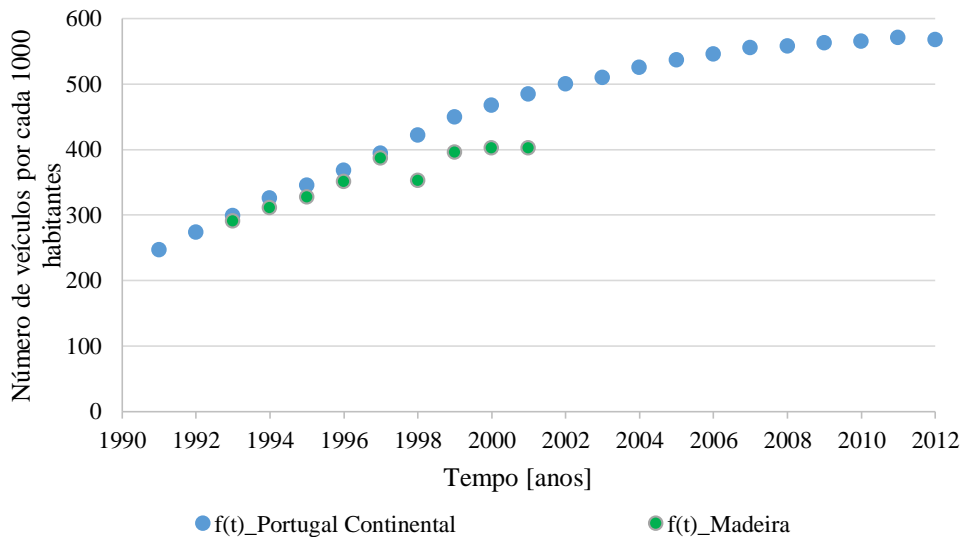


Figura 4.13 – Evolução dos veículos ligeiros em Portugal Continental por 1000 habitantes e translação da curva da ilha da Madeira

Na Figura 4.14 está apresentado o cenário otimista para a ilha da Madeira, no cenário otimista foi considerado que o parâmetro S, ou seja, o ponto de saturação da função de Gompertz

para a ilha da Madeira seria o mesmo de Portugal Continental os restantes parâmetros da função estão presentes na Tabela 4.2.

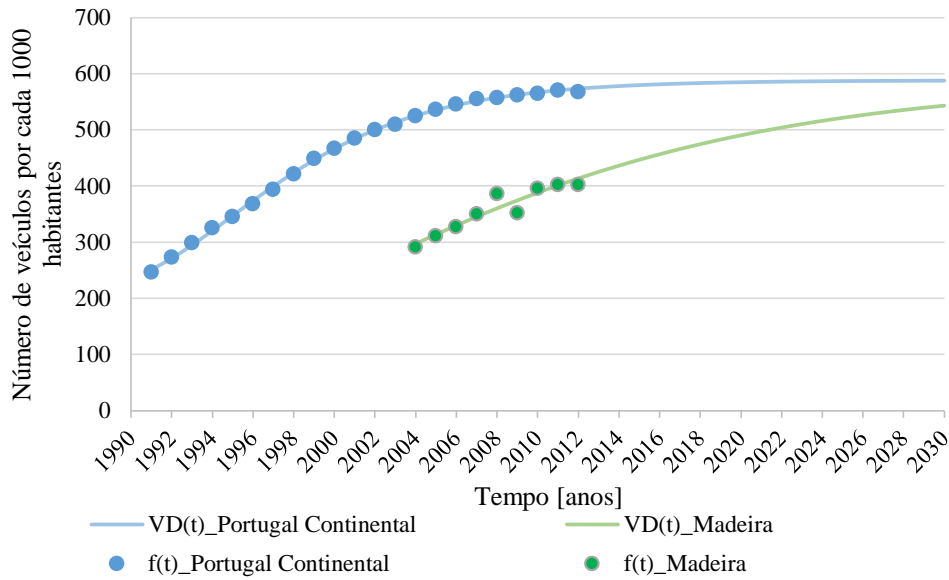


Figura 4.14 – Veículos ligeiros em Portugal Continental e cenário otimista na ilha da Madeira por cada 1000 habitantes

Tabela 4.2 – Parâmetros da função de Gompertz para a ilha da Madeira, cenário otimista

| | |
|---|---------|
| S | 588,02 |
| c | 0,00 |
| a | 1999,38 |
| b | 0,08 |

O coeficiente de determinação para a ilha da madeira no cenário otimista é igual a 0,895 um valor próximo de 1.

Na Figura 4.15 está apresentado o cenário de referência para a ilha da Madeira, para o cenário de referência considerou-se que o parâmetro S, ou seja, o ponto de saturação da função de Gompertz para a ilha da Madeira seria inferior 10 % em relação ao mesmo parâmetro para Portugal Continental, os restantes parâmetros da função estão na Tabela 4.3.

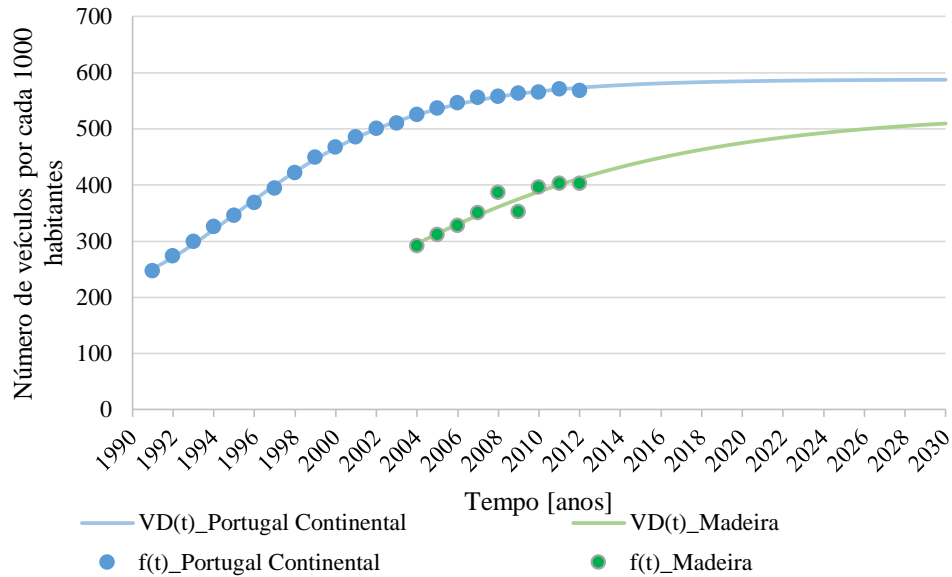


Figura 4.15 – Veículos ligeiros em Portugal Continental e cenário referência na ilha da Madeira por cada 1000 habitantes

Tabela 4.3 – Parâmetros da função de Gompertz para a ilha da Madeira, cenário referência

| | |
|---|---------|
| S | 529,22 |
| c | 0 |
| a | 1998,85 |
| b | 0,11 |

O coeficiente de determinação para a ilha da madeira no cenário de referência é igual a 0,901 um valor próximo de 1.

Na Figura 4.16 está apresentado o cenário pessimista para a ilha da Madeira, para o cenário pessimista considerou-se que o parâmetro S, ou seja, o ponto de saturação da função de Gompertz para a ilha da Madeira seria inferior 20 % em relação ao mesmo parâmetro para Portugal Continental, sendo os restantes parâmetros da função dispostos na Tabela 4.4.

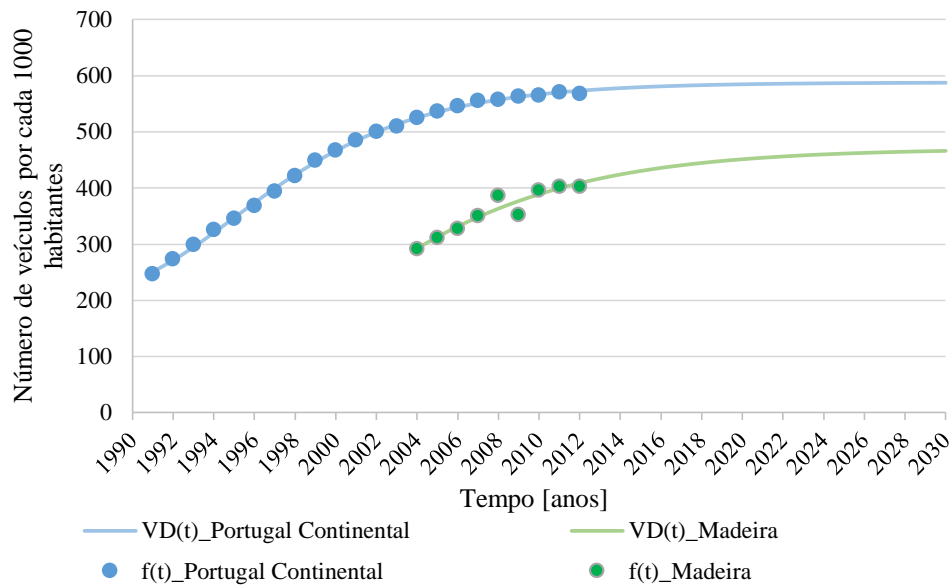


Figura 4.16 – Veículos ligeiros em Portugal Continental e cenário pessimista na ilha da Madeira por cada 1000 habitantes

Tabela 4.4 – Parâmetros da função de Gompertz para a ilha da Madeira, cenário pessimista

| | |
|---|---------|
| S | 470,41 |
| c | 0 |
| a | 1999,12 |
| b | 0,15 |

O coeficiente de determinação para a ilha da Madeira no cenário pessimista é igual a 0,908 um valor próximo de 1.

Para a determinação da evolução dos veículos ligeiros por tipo de combustível devido a falta de dados na ilha da Madeira admitiu-se que seria idêntica à de Portugal Continental, sendo assim foram utilizados as vendas dos veículos ligeiros entre 1993 e 2013, em seguida fez-se as vendas acumuladas de cada tipo de combustível, posteriormente calculou-se a percentagem das vendas acumuladas para poder traçar as curvas de penetração dos veículos ligeiros por cada tipo de combustível.

$$V_{acum_t} = V_{acum_t-1} + V_t \quad (4.7)$$

Onde,

V_{acum_t} – Vendas acumuladas de veículos por tecnologia em Portugal Continental no ano t;

V_{acum_t-1} – Vendas acumuladas de veículos por tecnologia em Portugal Continental no ano t-1;

V_t – Venda de veículos por tecnologia em Portugal Continental no ano t.

$$\%V_{acum_t} = \frac{V_{acum_t}}{T_{V_{acum_t}}} \quad (4.8)$$

$\%V_{acum_t}$ – Percentagem de vendas acumuladas por tecnologia no ano t;

$T_{V_{acum_t}}$ – Total das vendas acumuladas no ano t.

Na Figura 4.17 está representada a azul a evolução da penetração de veículos a gasolina em Portugal Continental entre 1993 e 2013, para saber a sua tendência utilizou-se a função de Gompertz representada a laranja, os parâmetros da função estão presentes na Tabela 4.5. Fez-se o mesmo para os restantes tipos de combustível.

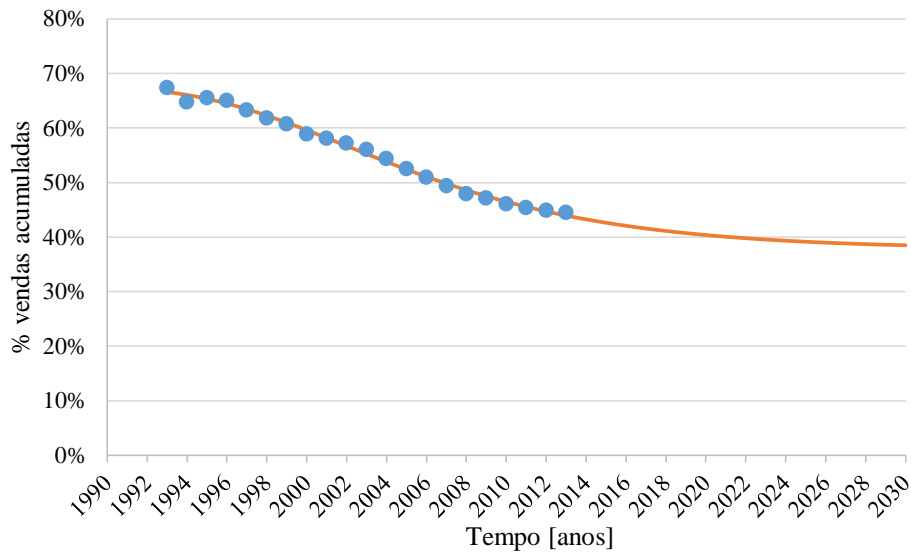


Figura 4.17 – Curva de penetração dos veículos ligeiros a gasolina em Portugal Continental e sua tendência até 2030

Tabela 4.5 – Parâmetros da função de Gompertz para a penetração de veículos ligeiros a gasolina

| | |
|---|----------|
| S | 0,378 |
| c | 0,677 |
| a | 2002,012 |
| b | 0,134 |

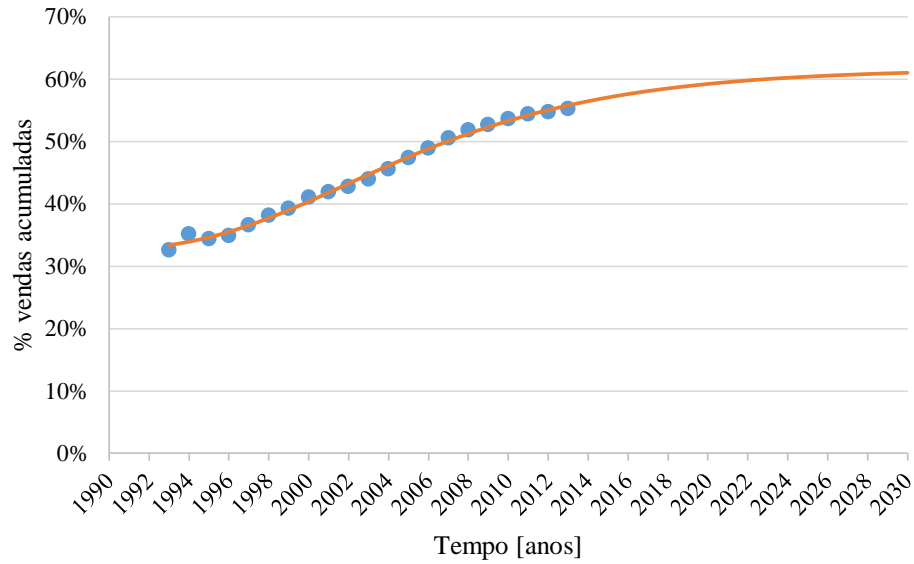


Figura 4.18 – Curva de penetração dos veículos ligeiros a gasóleo em Portugal Continental e sua tendência até 2030

Tabela 4.6 - Parâmetros da função de Gompertz para a penetração de veículos ligeiros a gasóleo

| | |
|---|----------|
| S | 0,378 |
| c | 0,677 |
| a | 2002,012 |
| b | 0,134 |

Com a determinação da tendência da penetração dos veículos ligeiros por cada tipo de combustível sabe-se a evolução do parque e a sua tendência ate 2030, como se observa na Figura 4.19.

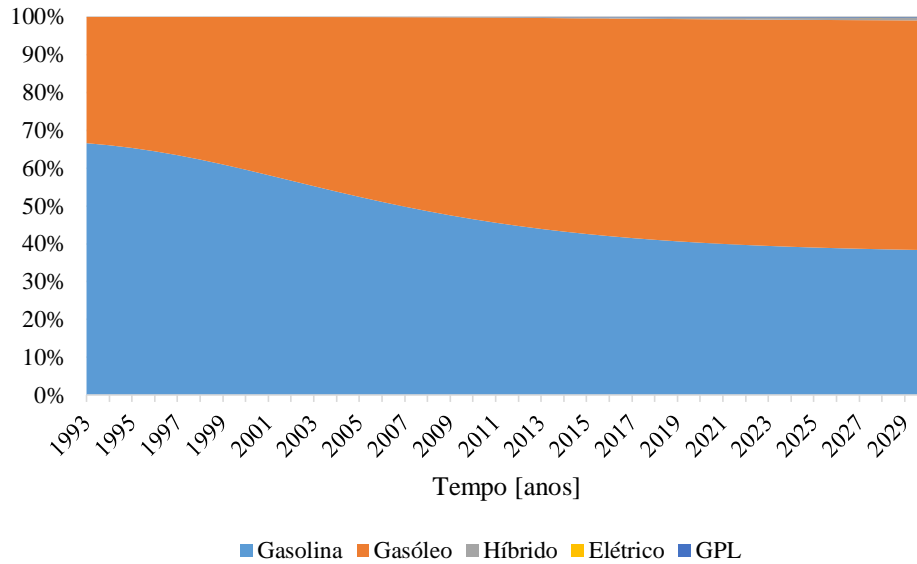


Figura 4.19 – Evolução do parque automóvel de veículos ligeiros, cenário BAU

4.3.2. Energia Média Diária Consumida por um Veículo Elétrico

Para determinar a energia média diária necessária para o carregamento de um EV teve-se em conta o consumo médio dos EV e a distância média diária percorrida.

Sendo que para o cálculo do consumo médio dos EV utilizou-se a média ponderada do consumo de cada veículo vendido. Entre janeiro e fevereiro de 2014 foram vendidos 28 veículos elétricos [43]. Na Tabela 4.7 está o número de EV vendidos por cada marca e algumas das suas principais características.

O consumo de um veículo elétrico é dado pela seguinte expressão:

$$C_{EV} = \frac{\text{capacidade da bateria} \times 100}{\text{autonomia}} \quad (4.9)$$

Onde,

C_{EV} – Consumo de um veículo elétrico (kWh/100km).

Tabela 4.7 – Número de veículos elétricos vendidos principais características e consumo [44, 45, 46, 47]

| Marca e Modelo | Número de veículos vendidos | Capacidade [kWh] | Autonomia [km] | Consumo [kWh/100km] |
|----------------|-----------------------------|------------------|----------------|---------------------|
| BMW i3 | 13 | 18,8 | 145 | 13,0 |
| Nissan Leaf | 7 | 24 | 160 | 15,0 |
| Renault ZOE | 5 | 22 | 125 | 17,6 |
| Smart Fortwo | 3 | 17,6 | 145 | 12,1 |

Uma vez determinado o consumo para cada modelo de EV, calculou-se o consumo médio dos veículos vendidos pela seguinte expressão:

$$C_{Med_EV} = \frac{\sum(V_{EV} \cdot C_{EV})}{\sum V_{EV}} \quad (4.10)$$

Onde,

C_{Med_EV} – Consumo médio do EV (kWh/100km);

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

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

$$C_{Med_EV} = 14,21 \text{ kWh}/100\text{km}$$

Para determinar a energia média diária necessária para o carregamento de um EV tem de se ter em conta a performance da bateria e a distância média diária percorrida.

De acordo com um estudo realizado sabe-se que a distância média diária percorrida nos países europeus por um carro é de 27 km [48]. Assumindo que a energia disponível na bateria representa 80 % da energia necessária para carregar, deste modo a energia média diária para o carregamento de um EV é dada pela seguinte expressão:

$$E_{Med_EV} = \frac{C_{Med_EV}}{Perf_{bat}} \times \frac{Dist_{média}}{100} \quad (4.11)$$

$$E_{Med_EV} = 4,80 \text{ kWh}$$

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

$Perf_{bat}$ – Performance da bateria;

$Dist_{média}$ – Distância média diária percorrida por um veículo (km).

Tendo em conta as perdas das linhas de distribuição de 10 %.

A energia média necessária para o carregamento de um EV é:

$$E_{Med_total_EV} = 5,33 \text{ kWh}$$

4.3.3. Perfis de Carregamento

Para definir os perfis de carregamento de um veículo elétrico teve-se em conta que cada veículo tem uma distribuição de carregamento uniforme e que a soma de muitas distribuições

uniformes pode ser considerada normal. Sendo assim considerou-se uma distribuição normal $N(\mu, \sigma)$.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (4.12)$$

Onde,

μ – média e σ – desvio padrão, estes parâmetros diferem em cada perfil de carregamento, serão considerados dois perfis, carregamento não controlado e carregamento no vazio.

Carregamento não controlado:

Este carregamento considera que os veículos são postos à carga quando as pessoas chegam a casa, ou seja, por volta das 20 h sendo assim a média é 20 e o desvio padrão igual a 2. Como se pode observar pela Figura 4.20 a ponta de carregamento ocorre numa hora em que também existe ponta no diagrama de carga logo este tipo de carregamento deve ser evitado.

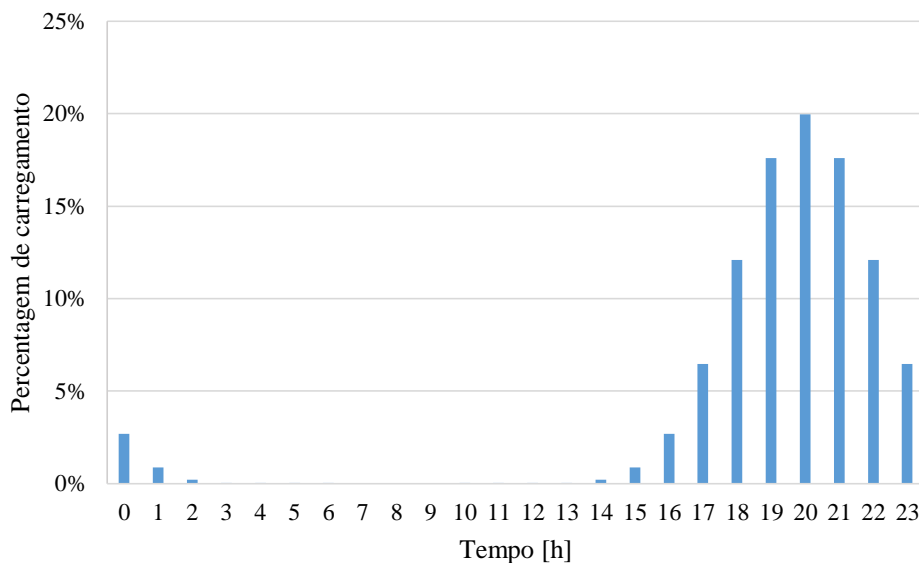


Figura 4.20 – Perfil de carregamento não controlado

Carregamento no vazio:

Neste perfil o carregamento os veículos são posto à carga no período de vazio do diagrama de carga sendo que na ilha da Madeira o vazio ocorre entre as 23 h e as 9 h, para este perfil foi considerado média as 3 horas com um desvio padrão igual a 2.

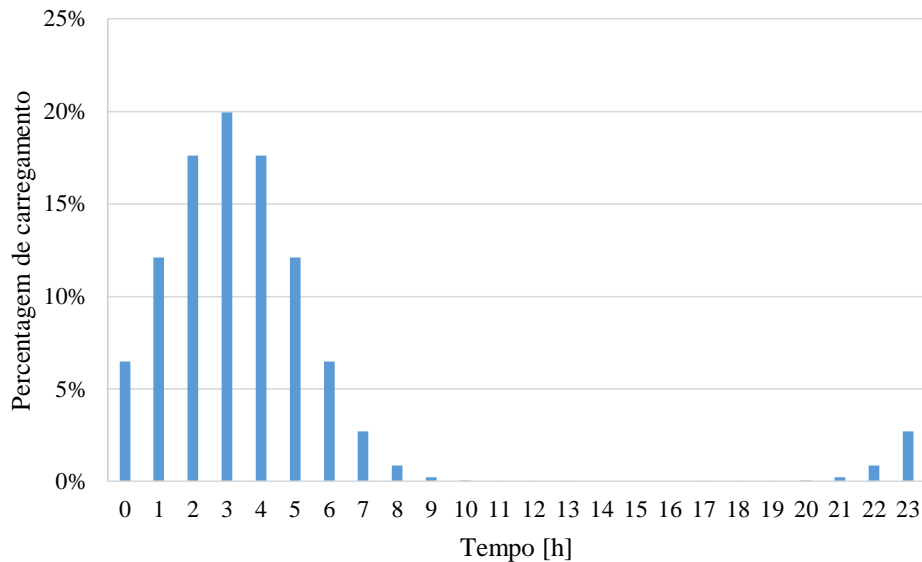


Figura 4.21 – Perfil de carregamento no vazio

Existem dois tipos de carregamento para os veículos elétricos, o normal e o rápido. O carregamento normal permite o carregamento total da bateria, estes postos estão localizados na via pública, em locais privados de acesso público como parques de estacionamento, centros comerciais, hotéis e ainda em estacionamentos privados em garagem. O carregamento rápido possibilita o carregamento de 80 % da bateria e a sua utilização é semelhante à dos atuais postos de abastecimento de combustíveis. Estes postos estão localizados em áreas de serviço e noutros espaços privados.

Nem todos os automóveis permitem o carregamento rápido, por isso tem que se consultar o fabricante para saber se o veículo em causa permite este tipo de carregamento.

Tabela 4.8 – Duração dos tipos de carregamento dos veículos elétricos

| Duração do Carregamento | |
|-------------------------|-----------------|
| Normal | 6 a 8 horas |
| Rápido | 20 a 30 minutos |

4.3.4. Cenários de Penetração de Veículos Elétricos na ilha da Madeira

Para determinar os cenários de penetração de veículos elétricos na ilha da madeira utilizou-se a curva de penetração de veículos a gasóleo determinada pela função de Gompertz. A partir desta curva considerou-se três cenários o otimista dado pela evolução da curva de penetração dos veículos a gasóleo, o cenário de referência 50 % inferior ao cenário otimista e o cenário pessimista 50 % inferior ao cenários de referência.

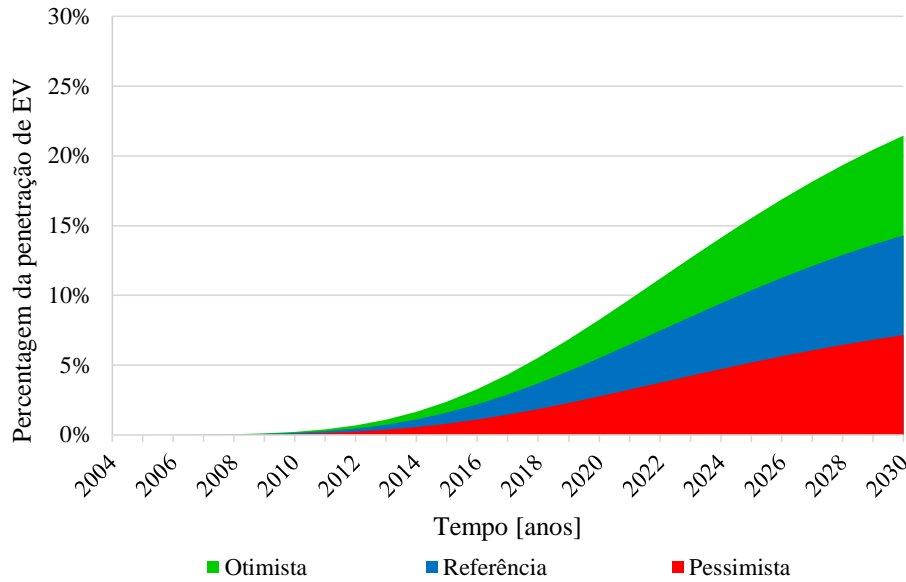


Figura 4.22 – Cenários de penetração de veículos elétricos para ilha da Madeira

Após a construção dos cenários sabe-se em 2030 existem 21,5 %, 14,3 % e 7,2 % nos cenários otimista, referência e pessimista respetivamente.

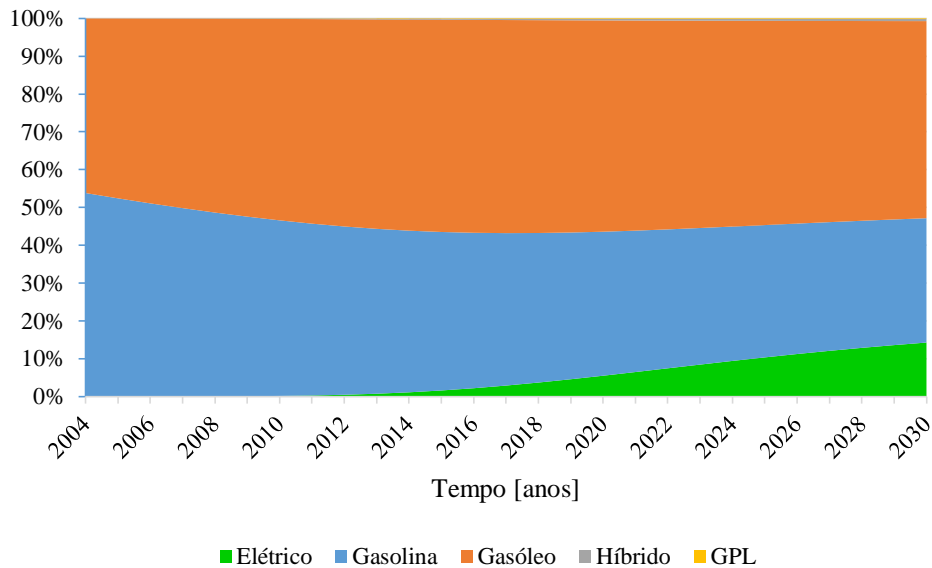


Figura 4.23 – Evolução do parque automóvel na ilha da Madeira com a penetração de veículos elétricos no cenário de referência

Tabela 4.9 – Número de veículos elétricos para os diferentes cenários em 2030

| Cenários | Números de Veículos Elétricos em 2030 |
|------------|---------------------------------------|
| Otimista | 28848 |
| Referência | 18047 |
| Pessimista | 8255 |

4.3.5. Diagrama de Carga dos EV

Para construir o diagrama de carga dos veículos elétricos é necessário saber qual a energia consumida a cada hora pelos veículos elétricos.

A energia diária necessária para o carregamento de todos os veículos elétricos existentes na frota é dada pela seguinte expressão:

$$E_{total_EV} = E_{Med_total_EV} \cdot N_{EV} \quad (4.13)$$

Onde,

E_{total_EV} – Energia diária necessária para o carregamento de todos os EV (kWh);

N_{EV} – Número de veículos elétricos.

Para saber a potência necessária a cada hora ao carregamento de todos os EV é necessário multiplicar a energia diária do carregamento de todos os EV pela percentagem de energia diária de carregamento da frota de EV a cada hora.

$$P_{carga_i} = E_{total_EV} \cdot p_i \quad (4.14)$$

Onde,

P_{carga_i} – Potência de carregamento da frota de EV na hora i (kW);

p_i – Percentagem de energia diária de carregamento da frota de EV que é fornecida na hora i .

Na Figura 4.24 está representado o diagrama de carga para o perfil de carregamento no vazio de todos os veículos elétricos existentes na ilha da Madeira em 2030 no cenário de referência, nota-se que será necessário cerca de 19 MW as 3 h para o carregamento de todos os veículos elétricos.

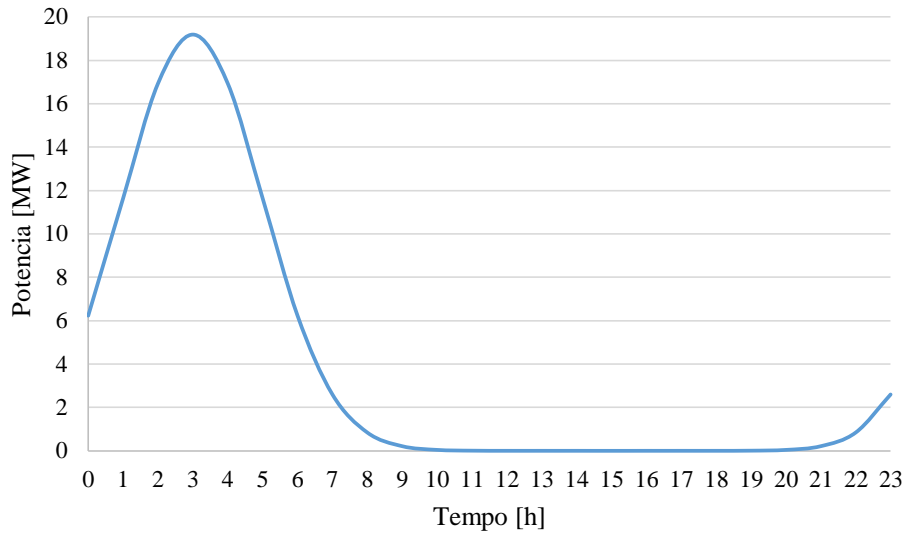


Figura 4.24 – Diagrama de carga dos veículos elétricos existentes em 2030 no cenário de referência com carregamento no vazio

4.3.6. Cálculo das Emissões Evitadas e Energia Consumida

Para o cálculo das emissões evitadas e necessária saber quanto consomem os veículos por cada tipo de combustíveis e as emissões por combustível.

Tabela 4.10 – Consumo e emissões por tipo de combustível [49]

| | Gasolina | Gasóleo | Híbrido |
|--------------------------------|----------|---------|---------|
| Consumo (l/100km) | 6,2 | 5,5 | 3,3 |
| EmissõesCO ₂ (g/km) | 144 | 137 | 77 |

A Tabela 4.11 está o número de veículos ligeiros por tipo de combustível existente na ilha na Madeira no ano 2030 para o cenário de referência. É de referir que no cenário de referência para a evolução tendencial do parque é que existam 104 veículos elétricos para 2030 com o cenário de referência para penetração de veículos elétricos obtém-se assim 18047 veículos elétricos em 2030.

Tabela 4.11 – Número de veículos ligeiros existentes em 2030 para o cenário de referência

| | Gasolina | Gasóleo | Híbrido | GPL | Elétrico |
|----------------------|----------|---------|---------|-----|----------|
| Sem penetração de EV | 48342 | 76642 | 811 | 247 | 104 |
| Com penetração de EV | 41460 | 65731 | 695 | 212 | 18047 |

Após saber o número de veículos ligeiros existentes para cada tipo de combustível e sabendo o consumo para cada tipo de combustível calculou-se a energia total consumida pelo

parque. Sendo necessário para este cálculo ter em conta a distância média diária percorrida, a densidade de cada tipo de combustível presente na Tabela 4.12, o número de dias do ano e o poder calorífico inferior de cada tipo de combustível como referido na Tabela 3.3.

Tabela 4.12 – Densidade de cada tipo de combustível

| Densidade relativa | | |
|--------------------|----------|---------|
| | Gasolina | Gasóleo |
| dens [kg/l] | 0,73 | 0,84 |

$$E_{cons} = NV \times consumo_{comb} \times \frac{Dist_{média}}{100} \times dens_{comb} \times dias_{ano} \times PCI_{comb} \times \frac{1}{3,6} \quad (4.15)$$

Onde,

E_{cons} – Energia consumida por tipo de combustível (kWh);

NV – Número de veículos por tipo de combustível;

$consumo_{comb}$ – Consumo médio por tipo de combustível (l/100km);

$dens_{comb}$ – Densidade por tipo de combustível (kg/l);

$dias_{ano}$ – Número de dias do ano;

PCI_{comb} – Poder calorífico inferior do combustível (MJ/kg).

Sabe-se que 1kWh é igual a 3,6MJ logo a necessidade de na Equação (4.15) dividir por 3,6.

$$E_{consEV} = N_{EV} \cdot E_{Med_total_EV} \cdot dias_{ano} \quad (4.16)$$

E_{consEV} – Energia consumida pela frota de veículos elétricos (kWh).

Tabela 4.13 – Energia consumida pelos veículos ligeiros em 2030 no cenário de referência

| Energia Consumida [kWh] | | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|---------|---------|----------|
| | Gasolina | Gasóleo | Híbrido | GPL | Elétrico |
| Sem penetração de EV | 266534417 | 414866700 | 2379059 | 1361336 | 201536 |
| Com penetração de EV | 228590004 | 355805384 | 2040371 | 1167534 | 35109912 |

Tabela 4.14 – Energia total consumida pela frota de veículos ligeiros em 2030 no cenário de referência

| E_{total} [GWh] | |
|----------------------|--------|
| Sem penetração de EV | 685,34 |
| Com penetração de EV | 622,71 |

É de salientar que a energia consumida pela frota de veículos ligeiros em 2030 com a penetração de veículos elétricos é inferior à energia consumida pela frota sem a penetração dos veículos elétricos.

$$Emissões = NV \cdot emissões_{comb} \cdot dias_{ano} \cdot Dist_{média} \quad (4.17)$$

Emissões – Emissões emitidas pelos veículos [g];

emissões_{comb} – Emissões por tipo de combustível [g/km]

Tabela 4.15 – Emissões locais emitidas pelos veículos ligeiros em 2030 no cenário de referência

| | Emissões [g] | | | | |
|----------------------|--------------|--------------|------------|-----------|----------|
| | Gasolina | Gasóleo | Híbrido | GPL | Elétrico |
| Sem penetração de EV | 68603098015 | 103477493331 | 1150464974 | 350393402 | 0 |
| Com penetração de EV | 58836613380 | 88746214746 | 527600955 | 300510643 | 0 |

Tabela 4.16 – Total das emissões locais emitidas pelos veículos ligeiros em 2030 para o cenário de referência

| | Total de emissões [ton CO ₂] |
|----------------------|--|
| Sem penetração de EV | 173581,45 |
| Com penetração de EV | 148410,94 |

É de referir que com a penetração de veículos elétricos foram evitadas 25170,51 toneladas de CO₂.

4.4. Setor Elétrico

4.4.1. Evolução do Consumo

Para prever a evolução do consumo de energia elétrica utilizou-se a mesma abordagem utilizada na previsão da evolução do parque automóvel, a função Gompertz uma vez que o consumo de energia elétrica apresenta uma forma sigmoidal. Desta forma calculou-se o Consumo de Energia *per capita* (DC, *Consumption Density*, o consumo de energia elétrica por números de habitantes residentes num país).

Considerou-se que o consumo de energia elétrica na ilha da Madeira é semelhante ao consumo em Portugal Continental até 2030, na Figura 4.25 está representada a evolução e a tendência do consumo de energia elétrica *per capita* em Portugal Continental até 2030 e na Tabela 4.17 estão os parâmetros da função de Gompertz.

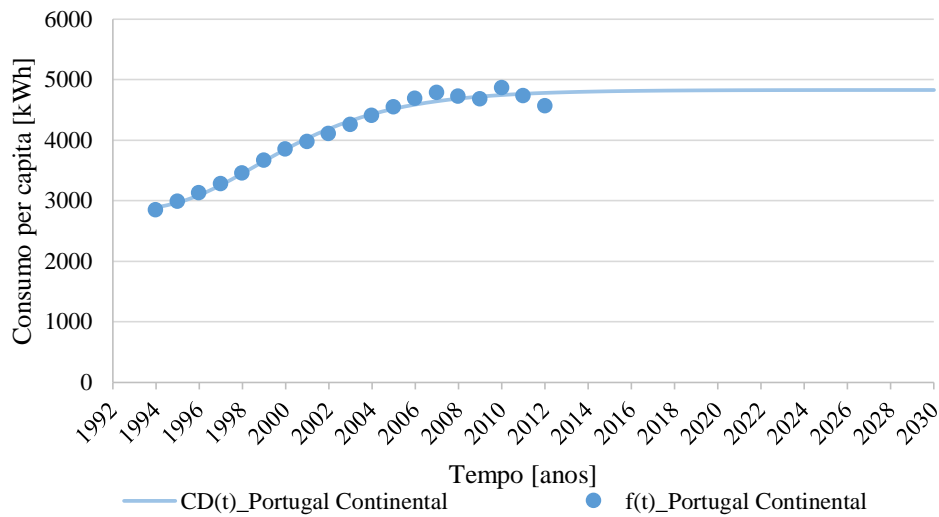


Figura 4.25 – Consumo de energia elétrica per capita em Portugal Continental

Tabela 4.17 – Parâmetros da função de Gompertz para o consumo de energia elétrica per capita em Portugal Continental

| | |
|----------------|---------|
| S | 4830,33 |
| c | 2830,15 |
| a | 1998,57 |
| b | 0,28 |
| R ² | 0,986 |

A evolução do consumo de energia elétrica *per capita* na ilha da Madeira está atrasada 10 anos em relação a evolução em Portugal Continental. Comparando o consumo no ano 2002 em Portugal Continental com o consumo na ilha da Madeira em 2012 nota-se que a diferença entre os valores é de aproximadamente 28 %. Teve-se em conta este valor para construir os cenários da evolução do consumo de energia elétrica *per capita* na ilha da Madeira.

Para o cenário otimista para a ilha da Madeira foi considerado que o parâmetro S, ou seja, o ponto de saturação da função de Gompertz para a ilha da Madeira seria o mesmo de Portugal

Continental como se pode ver na Figura 4.26 os restantes parâmetros da função estão presentes na Tabela 4.18.

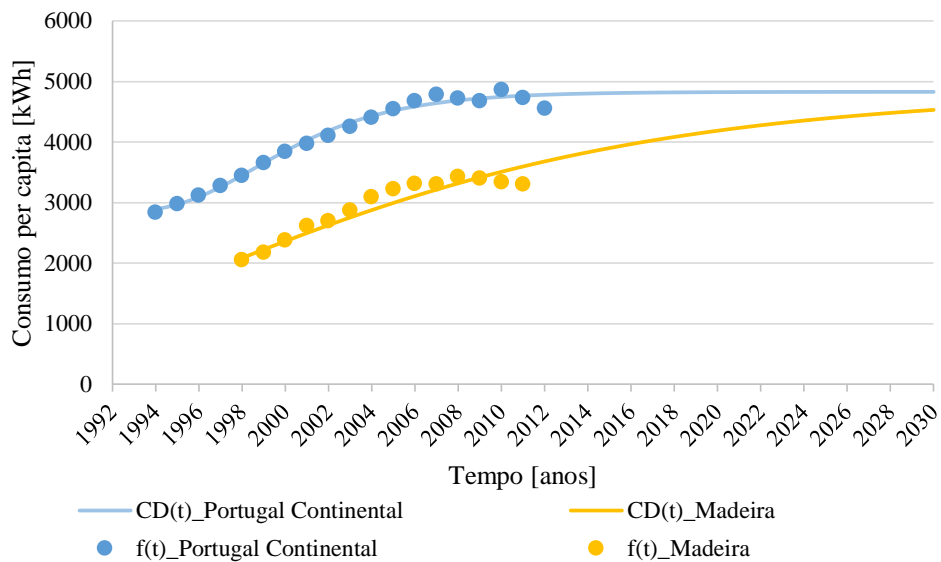


Figura 4.26 – Consumo de energia elétrica per capita cenário otimista

Tabela 4.18 – Parâmetros da função de Gompertz para o cenário otimista

| | |
|----------------|---------|
| S | 4830,33 |
| c | 0 |
| a | 1995,85 |
| b | 0,08 |
| R ² | 0,91 |

Na Figura 4.27 está apresentado o cenário de referência para a ilha da Madeira, para o cenário de referência considerou-se que o parâmetro S, ou seja, o ponto de saturação da função de Gompertz para a ilha da Madeira seria inferior 14 % em relação ao mesmo parâmetro para Portugal Continental, os restantes parâmetros da função estão na Tabela 4.19.

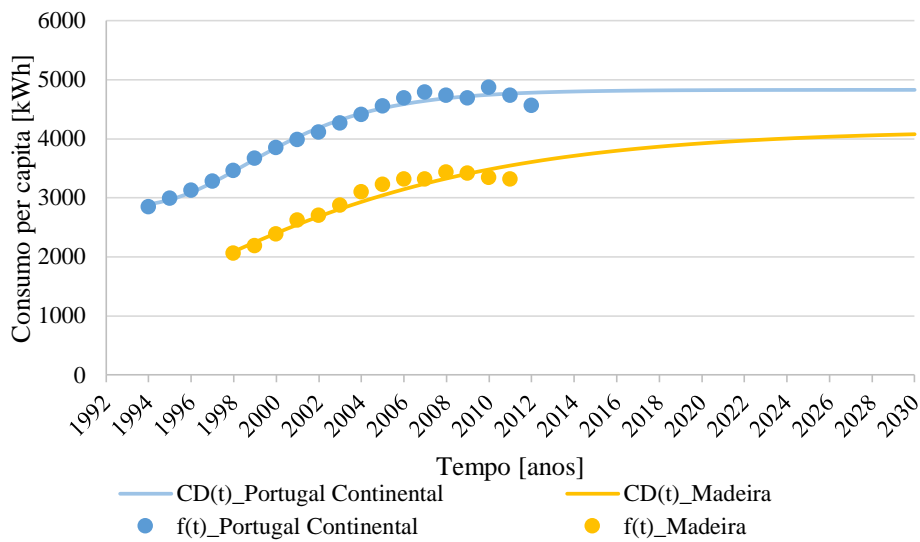


Figura 4.27 – Consumo de energia elétrica per capita cenário de referência

Tabela 4.19 – Parâmetros da função de Gompertz para o cenário de referência

| | |
|----------------|---------|
| S | 4154,08 |
| c | 0 |
| a | 1994,68 |
| b | 0,11 |
| R ² | 0,938 |

Na Figura 4.28 está o cenário pessimista para este cenário considerou-se que o ponto de saturação da função de Gompertz é 28 % inferior ao mesmo parâmetro para o consumo de energia elétrica para Portugal Continental, na Tabela 4.20 estão os restantes parâmetros da função.

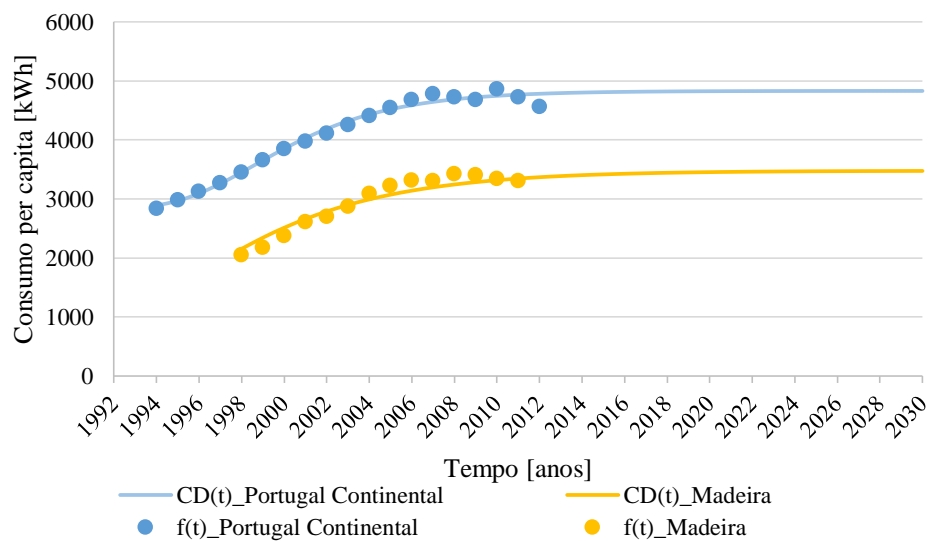


Figura 4.28 – Consumo de energia elétrica per capita cenário pessimista

Tabela 4.20 – Parâmetros da função de Gompertz para o cenário pessimista

| | |
|----------------|---------|
| S | 3477,83 |
| c | 0 |
| a | 1994,18 |
| b | 0,19 |
| R ² | 0,973 |

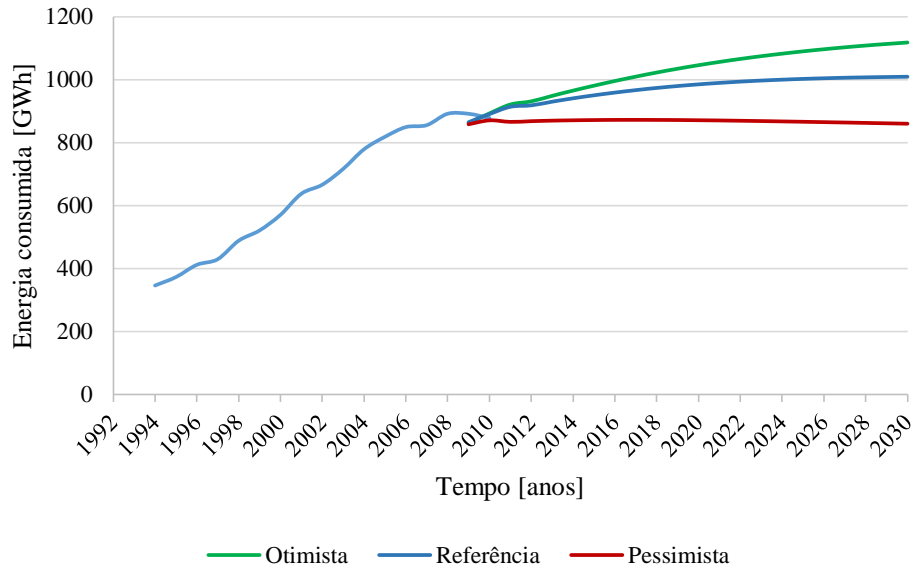


Figura 4.29 – Consumo de energia elétrica na ilha da Madeira para os diferentes cenários

4.4.2. Fator de Carga das Centrais

O fator de carga das centrais é a relação entre a potência média e a potência instalada.

$$f_c = \frac{E_a}{h_{aj} P_i} \quad (4.18)$$

Em que,

f_c – Fator de carga;

E_a – Energia anualmente produzida (MWh);

h_{aj} – Número de horas no ano j (h);

P_i – Potência instalada (MW).

4.4.2.1. Fator de Carga das Centrais Hídricas

$$f_{c_hídrica} = \frac{76710}{\frac{8760}{50,67}} = 0,1728 \Rightarrow f_{c_hídrica} = 17,28 \%$$

Onde,

$f_{c_hídrica}$ – Fator de carga das centrais hídricas existentes na ilha da Madeira no ano de 2013.

4.4.2.2. Fator de Carga dos Parques Eólicos

$$f_{c_eólica} = \frac{81710}{\frac{8760}{45,11}} = 0,207 \Rightarrow f_{c_eólica} = 20,7 \%$$

Onde,

$f_{c_eólica}$ – Fator de carga dos parques eólicos existentes na ilha da Madeira no ano 2013.

4.4.2.3. Fator de Carga da Energia Fotovoltaica

$$f_{c_fotovoltaico} = \frac{29100}{\frac{8760}{17,96}} = 0,185 \Rightarrow f_{c_fotovoltaico} = 18,5 \%$$

$f_{c_fotovoltaico}$ – Fator de carga dos parques fotovoltaicos existentes na ilha da Madeira no ano 2013.

4.4.2.4. Fator de Carga da Central de Valorização Energética

$$f_{c_CVE} = \frac{25710}{\frac{8760}{8}} = 0,3669 \Rightarrow f_{c_CVE} = 36,69 \%$$

f_{c_CVE} – Fator de carga da central de valorização energética existente na ilha da Madeira no ano 2013.

4.4.2.5. Rendimento das Centrais a Fuelóleo

$$\eta = \frac{E_{saída}}{E_{entrada}} = \frac{E_e}{E_t} = \frac{E_e}{PCI \cdot m_c} \quad (4.19)$$

η – Rendimento da conversão de energia térmica para energia elétrica;

$E_{entrada}$ – Energia de entrada (MWh_t);

$E_{saída}$ – Energia de saída (MWh_e);

E_e – Energia Elétrica Produzida (MWh_e);

E_t – Energia Térmica Consumida (MWh_t);

PCI – Poder Calorífico Inferior (MWh_t/ton);

m_c - Massa de combustível consumido (ton).

Sabe-se que:

$$PCI_{fuel\acute{o}leo} = 41,2 MJ/kg$$

Sendo:

$$1 MJ = 277,78 \times 10^{-6} MW$$

Logo:

$$PCI_{fuel\acute{o}leo} = 11,44 MWh_t/ton$$

$$\eta = \frac{657170}{11,44 \times 104412,2} \Leftrightarrow \eta = 55,02 \%$$

4.4.3. Perfil de Produção de Energia

4.4.3.1. Perfil de Produção de Energia Eólica

Por forma de determinar o perfil de produção de energia eólica na ilha da Madeira, considerou-se que o perfil de produção de energia eólica na ilha da Madeira seria semelhante ao perfil de produção em Portugal Continental. Foi utilizado o perfil de produção de energia eólica em Portugal no ano 2012 como representado na Figura 4.30 e o fator de carga da eólica determinado em 4.4.2.2.

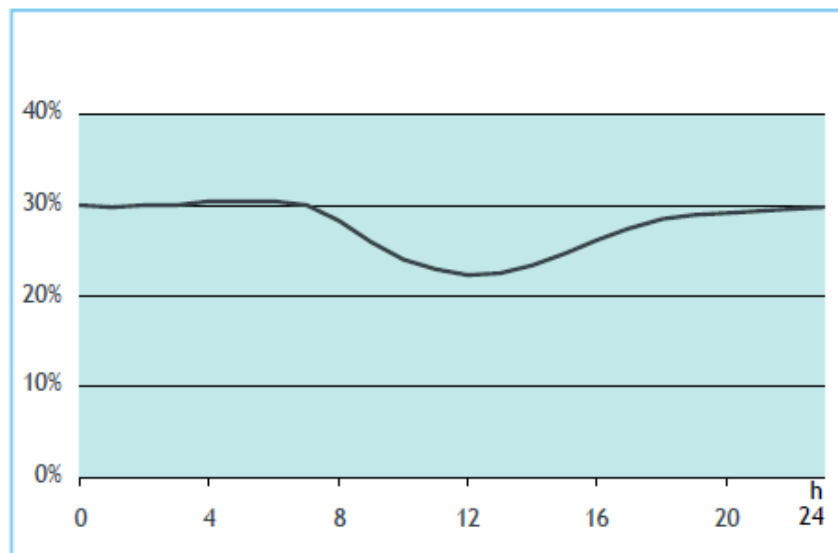


Figura 4.30 – Diagrama de carga médio de produção de Energia Eólica em Portugal Continental em 2012 [50]

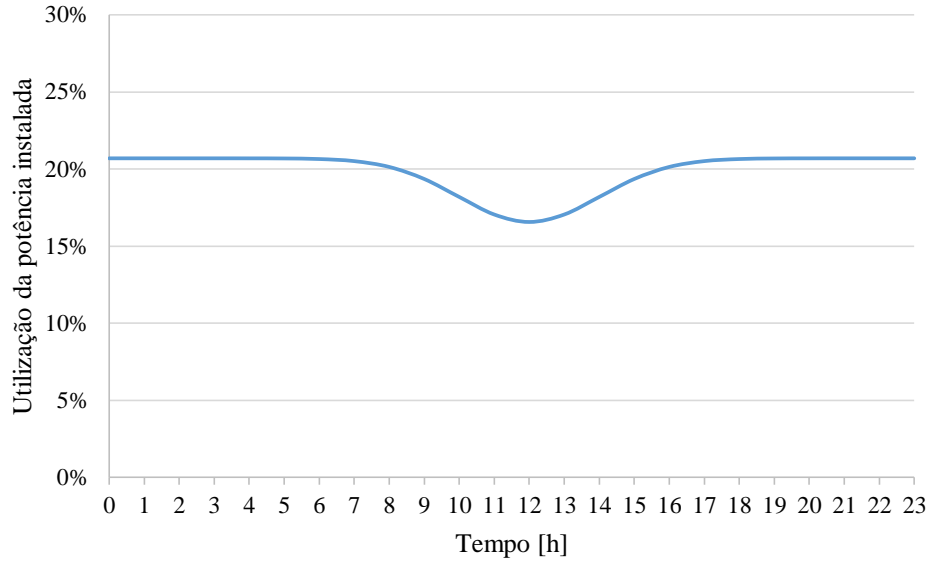


Figura 4.31 – Perfil de produção da Energia Eólica para a ilha da Madeira

4.4.3.2. Perfil de Produção de Energia Fotovoltaica

Por forma a determinar o perfil de produção de energia fotovoltaica na ilha da Madeira utilizou-se o *software* PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*) para obter os dados da radiação e temperatura médios. Para a primavera foi considerado o mês de maio, para o verão o mês de agosto, para o outono o mês de outubro e para o inverno o mês de dezembro.

Após obter os dados para cada estação do ano calculou-se a potência máxima a cada hora a partir das seguintes expressões.

$$V_T^r = \frac{KT^r}{q} \quad (4.20)$$

$$T^r = \theta^r + 273,16 \quad (4.21)$$

$$m = \frac{V_{max}^r - V_{ca}^r}{V_T^r \cdot \ln\left(1 - \frac{I_{max}^r}{I_{cc}^r}\right)} \quad (4.22)$$

$$I_0^r = \frac{I_{cc}^r}{\frac{V_{ca}^r}{e^{m \cdot V_T^r}} - 1} \quad (4.23)$$

$$m' = \frac{m}{N_s} \quad (4.24)$$

$$\theta_c = \theta_a + \frac{G(NOCT - 20)}{800} \quad (4.25)$$

$$V_T = \frac{K \cdot T}{q} \quad (4.26)$$

$$T = \theta_c + 273,16 \quad (4.27)$$

$$I_0 = I_0^r \cdot \left(\frac{T}{T^r}\right)^3 \cdot e^{\frac{\varepsilon}{m'} \left(\frac{1}{V_T^r} - \frac{1}{V_T}\right)} \quad (4.28)$$

$$I_{cc} = \frac{G}{G^r} \cdot I_{cc}^r \quad (4.29)$$

$$V_{max} = m \cdot V_T \cdot \ln \left(\frac{\frac{G}{G^r} \cdot (I_{cc}^r - I_{max}^r)}{I_0} \right) \quad (4.30)$$

$$I_{max} = I_{cc} - I_0 \left(e^{\frac{V_{max}}{m \cdot V_T}} - 1 \right) \quad (4.31)$$

$$P_{max} = V_{max} \cdot I_{max} \quad (4.32)$$

Com:

$$\varepsilon = 1,12 \text{ eV}$$

$$K = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$$

$$q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\theta^r = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G^r = 1000 \text{ W/m}^2$$

Onde,

P_p – Potência do painel fotovoltaico (W);

V_T^r – Potencial térmico nas condições de referência (V);

K – Constante de Boltzmann (J/K);

T^r – Temperatura de referência (K);

q – Carga do elétron (C);

θ^r – Temperatura de referência (°C);

m – Fator de idealidade do díodo;

V_{max}^r – Tensão máxima de referência (V);

V_{ca}^r – Tensão circuito aberto de referência (V);

I_{max}^r – Corrente máxima de referência (A);

I_{cc}^r – Corrente de curto-circuito de referência (A);

I_0^r – Corrente inversa de saturação de referência (A);

m' – Fator de idealidade equivalente;

- N_s – Número de células em serie;
- θ_c – Temperatura da célula (°C);
- θ_a – Temperatura ambiente (°C);
- G^r – Irradiação de referência (W/m^2);
- G – Irradiação (W/m^2);
- $NOCT$ – Temperatura nominal de funcionamento da célula (°C);
- V_T – Potencial térmico (V);
- T – Temperatura da célula (K);
- I_0 – Corrente inversa de saturação (A);
- I_{cc} – Corrente de curto-circuito (A);
- I_{max} – Corrente máxima (A);
- V_{max} – Tensão máxima (V);
- P_{max} – Potencia máxima (W).

Para tal considerou-se um painel fotovoltaico com as seguintes características:

Tabela 4.21 – Características do painel fotovoltaico

| | |
|-----------------|-------|
| P_p (W) | 200 |
| V_{ca}^r (V) | 21,6 |
| I_{cc}^r (A) | 12,1 |
| V_{max}^r (V) | 18 |
| I_{max}^r (V) | 11,12 |
| NOCT (°C) | 40 |
| N_s | 36 |

4.4.4. Cálculo de Energia Primária

A fonte energia primária é o recurso que se encontra disponível na natureza como por exemplo o petróleo, gás natural, a água, sol, vento, etc.

$$E_{primária_total} = E_{primária_térmica} + \sum E_{primária_ER} \quad (4.33)$$

Onde,

$E_{primária_total}$ – Energia primária total (MWh);

$E_{primária_térmica}$ – Energia primária da central térmica (MWh);

$\Sigma E_{primária_ER}$ – Energia primária das energias renováveis (MWh).

$$E_{primária_térmica} = \frac{E_{elétrica_térmica}}{\eta_{térmica}} \quad (4.34)$$

Onde,

$E_{elétrica_térmica}$ – Energia elétrica da central térmica (MWh);

$\eta_{térmica}$ – Rendimento da central térmica.

$$E_{primária_ER} = E_{elétrica_ER} \quad (4.35)$$

Onde,

$E_{elétrica_ER}$ – Energia elétrica das energias renováveis (MWh).

4.5. Custo Nivelado da Energia Elétrica da ilha da Madeira

4.5.1. Custo Nivelado das Centrais Térmicas

4.5.1.1. Custo Nivelado das Centrais Térmicas em 2013

O custo variável de uma central térmica é dado pela seguinte expressão [51]:

$$C_p = C_{comb} + C_{CO_2} \quad (4.36)$$

Em que,

C_p – Custo variável da central p (€/MWh_e);

C_{comb} – Custo variável da central relativo ao combustível (€/MWh_e);

C_{CO_2} – Custo variável da central relativo às emissões de CO₂ (€/MWh_e).

$$C_{comb} = \frac{F}{PCI \cdot \eta} \quad (4.37)$$

Em que,

F – Custo do combustível (€/ton);

PCI – Poder calorífico inferior (MWh_t/ton);

η – Rendimento da central (%).

$$C_{CO_2} = P_{CO_2} \cdot ee_p \quad (4.38)$$

P_{CO_2} – Preço de CO₂ (€/kg CO₂);

ee_p – Emissão específica de CO₂ da central (kg CO₂/MWh).

Seguidamente exemplifica-se o cálculo dos custos das centrais térmicas no ano 2013:

$F = 836,34 \text{ €/ton}$;

$$PCI_{fuel\acute{o}leo} = 11,44 \text{ MWh}_t/\text{ton};$$

$$\eta = 55,02 \text{ \%}.$$

$$C_{comb} = \frac{836,34}{11,44 \times 0,5502} = 132,87 \text{ €/MWh}_e$$

$$P_{CO_2} = 0,00478 \text{ (€/kg CO}_2\text{)}$$

$$ee_p = 532 \text{ (kg CO}_2\text{/MWh}_e\text{)}$$

$$C_{CO_2} = 0,00478 \times 532 = 2,54 \text{ €/MWh}_e$$

$$C_p = 132,87 + 2,54 = 135,42 \text{ €/MWh}_e$$

4.5.1.2. Custo Nivelado das Centrais Térmicas a partir de 2014

Os custos das centrais térmicas dependem do preço do fuelóleo e do preço do CO₂, Figura 4.7 e Figura 4.11 respetivamente, está presente a evolução do preço do fuelóleo e do preço do CO₂ para os próximos anos.

4.5.2. Custo Nivelado para as Energias Renováveis

O custo nivelado é calculado pela razão entre o somatório dos diversos custos anuais e a energia anualmente produzida, definido pela seguinte expressão:

$$C_a = \frac{I_a + OM_a + C_c + C_d}{E_a} \quad (4.39)$$

Onde,

C_a – Custo nivelado (€/kWh);

I_a – Distribuição anual do valor do investimento (€);

OM_a – Despesas anuais de operação e manutenção (€);

C_c – Custos anuais com combustível (€);

C_d – Custos diversos (€);

E_a – Energia anualmente produzida (kWh).

4.5.2.1. Custos

Os custos podem ser de dois tipos: Custos de Investimento e Custos de Exploração.

4.5.2.1.1. Custos de Investimento

Para este tipo de custos existem dois modelos possíveis:

- Considerar o investimento concentrado no ano zero;

- Consiste em repartir o investimento pelos anos de vida útil do projeto, neste caso teremos uma anuidade cujo valor atual será igual ao valor do investimento total. O valor dessa anuidade será:

$$I_a = \frac{I_t}{k_a} \quad (4.40)$$

Em que,

I_t – Investimento total (€);

k_a – Fator de anuidade que traduz a soma da série que define a atualização.

O investimento total é igual ao investimento unitário por potência instalada, como se ilustra em seguida:

$$I_t = I_{01} \cdot P_i \quad (4.41)$$

Onde,

I_{01} – Investimento unitário (€/kW);

P_i – Potência instalada (kW).

Em seguida define-se o k_a (fator de anuidade) e o i (taxa de atualização):

$$k_a = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{1}{i} - \frac{1}{i(1+i)^n} \quad (4.42)$$

Em que,

i – Taxa de atualização;

n – Tempo de vida útil da central (anos).

4.5.2.1.2. Custos de Exploração

Os custos de exploração podem separar-se em três parcelas:

- Encargos de operação e manutenção;
- Encargos com combustível;
- Encargos diversos.

Considerou-se que os custos de exploração seriam apenas os encargos de operação e manutenção.

Os custos de operação e manutenção normalmente são em função do investimento ou da energia anualmente produzida, como se expressa em seguida:

$$OM_a = dom(\%) \cdot I_t \quad (4.43)$$

$$OM_a = dom(\text{€/kWh}) \cdot E_a \quad (4.44)$$

Sendo,

dom – Despesas de operação e manutenção.

4.5.3. Simplificação do Custo Nivelado para as Energias Renováveis

Tendo em conta todas as considerações apresentadas admite-se que o custo unitário médio pode ser apresentado da seguinte forma:

$$C_a = \frac{I_a + OM_a}{E_a} \quad (4.45)$$

4.5.4. Custo Nivelado para as Centras Hídricas, Parques Eólicos e Fotovoltaicos

Para determinar os custos nivelados das centrais de produção de energia elétrica de origem renovável utiliza-se a Equação (4.45).

Para calcular os custos nivelados é necessário saber qual a taxa de utilização a considerar, por observação da Figura 4.32 nota-se que nos últimos dois anos a taxa de obrigações do tesouro tem vindo a diminuir. Considerou-se uma taxa de 8 % porque para um rendimento mínimo esta é uma boa taxa para estes tipos de projetos e uma vez que estes projetos já estão muito desenvolvidos e a produção em energias renováveis é totalmente entregue à rede elétrica.

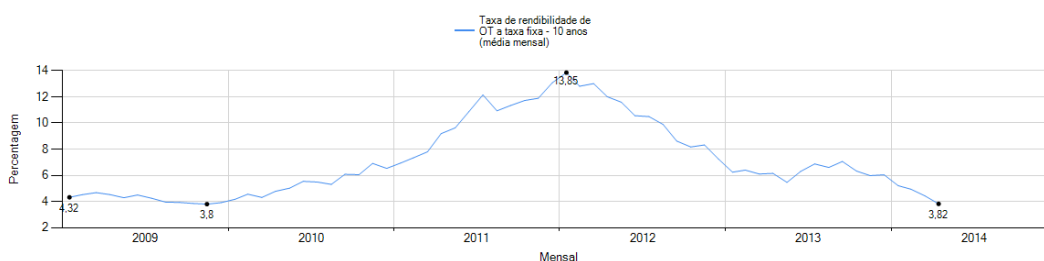


Figura 4.32 – Média mensal da taxa de rentabilidade de obrigações de tesouro a taxa fixa – 10 anos [52]

A Figura 4.33 indica os custos nivelados para a Energia Eólica, Fotovoltaica e Mini-Hídrica consoante a taxa de atualização. Como era esperado com o aumento da taxa de atualização os custos nivelados para cada tipo de energia aumentam.

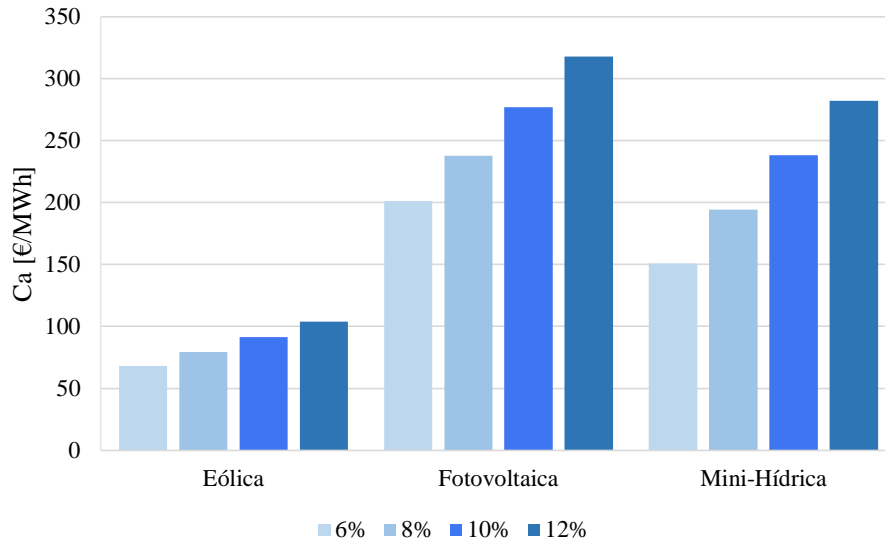


Figura 4.33 – Evolução dos custos nivelados com a variação da taxa de atualização

Seguidamente exemplifica-se o método de cálculo para obtenção do custo unitário para os Parques Eólicos no ano 2010 [53]:

$$I_{01} = 1308 \text{ €/kWh};$$

$$P_i = 1 \text{ kW};$$

$$dom = 0,01190 \text{ €/kWh};$$

$$n = 25 \text{ anos};$$

$$i = 0,08;$$

$$h_{aj} = 8760 \text{ horas};$$

$$f_{c_eólica} = 20,7\%$$

$$k_a = \frac{1}{0,08} - \frac{1}{0,08(1 + 0,08)^{25}} = 10,67$$

$$I_t = 1308 \times 1 = 1308 \text{ kWh}$$

$$E_a = P_i \cdot h_{aj} \cdot f_c \tag{4.46}$$

$$E_a = 1 \times 8760 \times 0,207 = 1813,32 \text{ kWh}$$

$$I_a = \frac{1308}{10,67} = 122,53 \text{ €}$$

$$OM_a = 0,01190 \times 1813,32 = 21,58 \text{ €}$$

$$C_a = \frac{122,53 + 21,58}{1813,32} = 0,07947 \text{ €/kWh} \Rightarrow C_a = 79,47 \text{ €/MWh}$$

Tabela 4.22 – Resumo dos dados para os cálculos do custo unitário médio para os Parques Eólicos para os anos 2010, 2020 e 2030

| Ano | 2010 | 2020 | 2030 |
|------------------|---------|--------|--------|
| I_{01} [€/kWh] | 1308 | 1189 | 1128 |
| dom [€/kWh] | 0,0119 | 0,0109 | 0,0103 |
| n [anos] | 25 | | |
| i | 0,08 | | |
| k_a | 10,6700 | | |
| f_c [%] | 20,7 | | |
| P_i [kWh] | 1 | | |
| E_a [kWh] | 1813,32 | | |
| C_a [€/MWh] | 79,47 | 72,33 | 68,57 |

Após o cálculo do custo nivelado para os anos 2010, 2020 e 2030 traçou-se o gráfico como se pode observar pela Figura 4.34 a partir deste gráfico marcou-se uma linha de tendência em polinómio como se encontra representado no gráfico, com este polinómio foi possível calcular o custo nivelado para os anos entre 2010 a 2030.

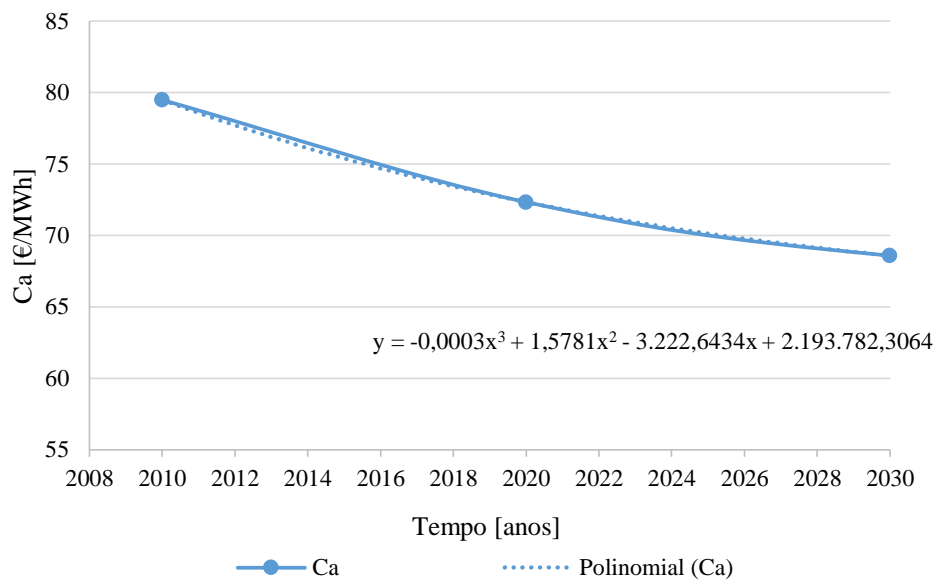


Figura 4.34 – Custo nivelado para os Parques Eólicos referente aos anos 2010, 2020 e 2030

Tabela 4.23 – Custos de investimento, custos de operação e manutenção e custos nivelados para a energia eólica, fotovoltaica e mini-hídrica para os anos 2010, 2020 e 2030

| Eólica | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Ano | 2010 | 2020 | 2030 |
| I_{01} [€/MW] | 1.308.000 | 1.189.000 | 1.128.000 |
| I_a [€] | 122.532 | 111.384 | 105.670 |
| OM_a [€] | 21.579 | 19.765 | 18.677 |
| C_a [€/MWh] | 79 | 72 | 69 |

| Fotovoltaica | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Ano | 2010 | 2020 | 2030 |
| I_{01} [€/MW] | 3.485.000 | 1.974.000 | 1.392.000 |
| I_a [€] | 326.471 | 184.922 | 130.401 |
| OM_a [€] | 23.373 | 13.230 | 9.408 |
| C_a [€/MWh] | 238 | 135 | 95 |

| Mini-Hídrica | | | |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| Ano | 2010 | 2020 | 2030 |
| I_{01} [€/MW] | 3.345.000 | 3.291.000 | 3.259.000 |
| I_a [€] | 268.168 | 263.839 | 261.274 |
| OM_a [€] | 25.733 | 25.279 | 24.977 |
| C_a [€/MWh] | 194 | 191 | 189 |

Com a análise da Tabela 4.23 verifica-se que a energia fotovoltaica é a tecnologia com um custo mais elevado em 2010, mas ao longo dos anos com o avanço das tecnologias nota-se uma diminuição muito significativa nos custos.

Para o cálculo do número de horas de utilização da potência instalada da energia fotovoltaico utilizou-se o *software* PVGIS (*Photovoltaic Geographical Information System*). Neste *software* foi indicando aproximadamente o local do Parque Fotovoltaico na ilha da Madeira, considerou-se umas perdas estimadas para o sistema de 10 % e um ângulo de inclinação de 34°,

se pode observar na Figura 4.35. Após a introdução destes dados foi pedido ao programa para efetuar os cálculos, os resultados obtidos podem ser vistos na Figura 4.36.

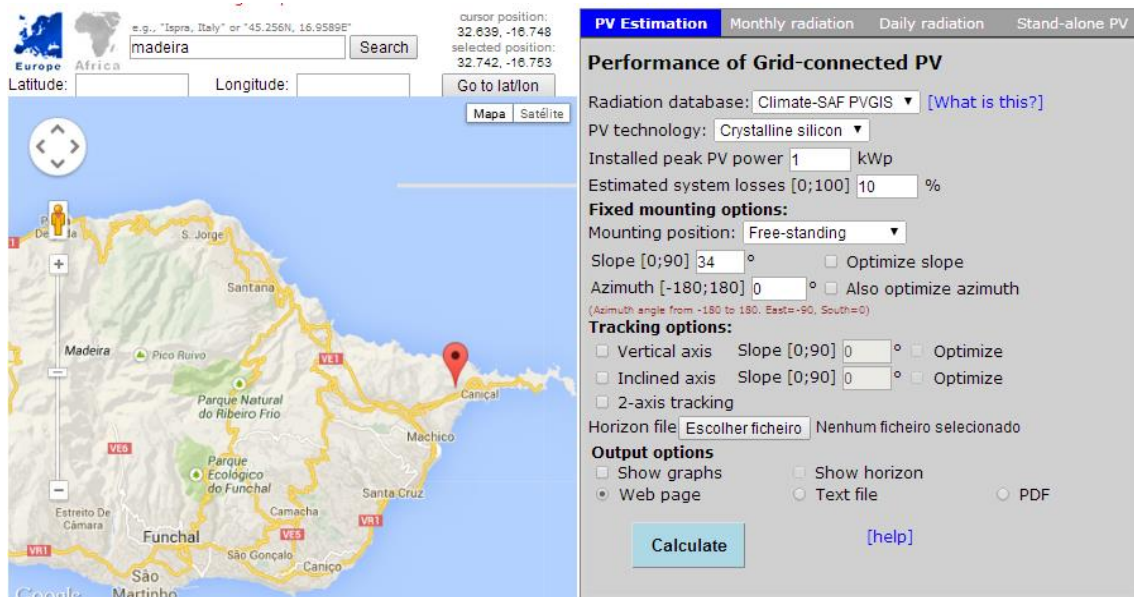


Figura 4.35 – Software PVGIS para exemplificar a introdução dos dados

| Fixed system: inclination=34°, orientation=0° | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Month | E_d | E_m | H_d | H_m |
| Jan | 3.25 | 101 | 3.90 | 121 |
| Feb | 3.56 | 99.8 | 4.32 | 121 |
| Mar | 4.22 | 131 | 5.29 | 164 |
| Apr | 4.63 | 139 | 5.90 | 177 |
| May | 4.39 | 136 | 5.77 | 179 |
| Jun | 4.30 | 129 | 5.78 | 173 |
| Jul | 4.47 | 139 | 6.12 | 190 |
| Aug | 4.58 | 142 | 6.25 | 194 |
| Sep | 4.36 | 131 | 5.80 | 174 |
| Oct | 3.92 | 122 | 5.03 | 156 |
| Nov | 3.33 | 99.8 | 4.10 | 123 |
| Dec | 3.25 | 101 | 3.89 | 121 |
| Yearly average | 4.02 | 122 | 5.18 | 158 |
| Total for year | | 1470 | | 1890 |

Figura 4.36 – Resultados obtidos com o software PVGIS

E_d – Produção média diária de eletricidade do sistema (kWh);

E_m – Produção média mensal de eletricidade do sistema (kWh);

H_d – Irradiação global média diária por metro quadrado do sistema (kWh/m²);

H_m – Irradiação global média mensal por metro quadrado do sistema (kWh/m²).

Com a análise dos resultados obtidos sabe-se que a energia anualmente produzida é 1470 kWh por um 1 kW de potência instalada.

Sendo assim:

$$f_c = \frac{E_a}{P_i \cdot h_{aj}} \quad (4.47)$$

$$f_{c_fotovoltaica} = \frac{1470}{1 \times 8760} = 0,1678 \Rightarrow f_{c_fotovoltaica} = 16,78 \%$$

4.5.5. Custo Nivelado para a Central de Valorização Energética

Para determinar o custo nivelado para a Central de Valorização Energética teve em conta os dados da ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) e a partir destes dados traçou-se o gráfico com uma linha de tendência linear para saber a sua evolução como se pode ver na Figura 4.37.

Tabela 4.24 – Custos nivelados da Central de Valorização Energética [54, 55, 56, 57, 58]

| Ano | C _a [€/MWh] |
|------|---------------------------|
| 2010 | 80,900 |
| 2011 | 80,45 |
| 2012 | 84,89 |
| 2013 | 86,97 |
| 2014 | 87,4 |

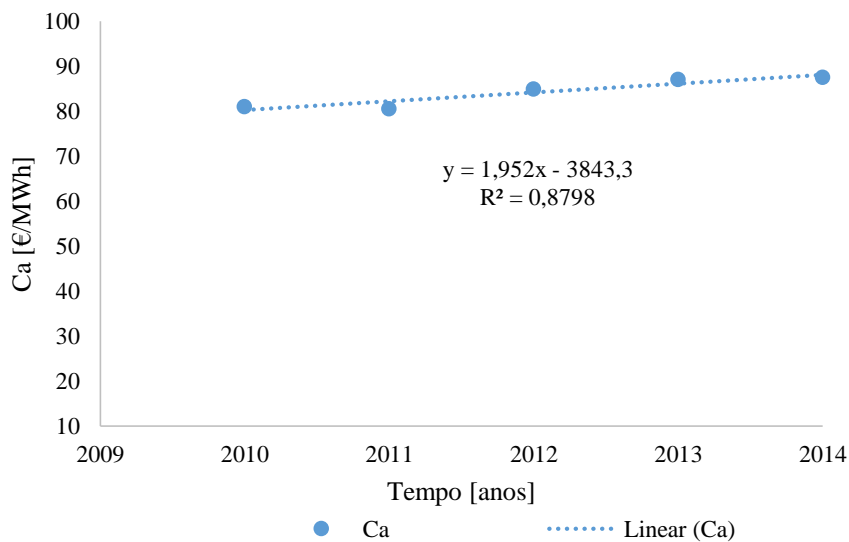


Figura 4.37 – Custos niveladas da Central de Valorização Energética

Após a obtenção da equação linear que define o custo nivelado das Centrais de Valorização Energética determinou-se o custo nivelado destas centrais até 2030, os custos podem ser observados na Tabela 4.25 é de referir que o custo nivelado destas centrais está a aumentar.

Tabela 4.25 – Custos nivelados da Central de Valorização Energética para os anos 2020 e 2030

| Ano | C_a [€/MWh] |
|------|------------------|
| 2020 | 99,74 |
| 2030 | 119,26 |

Capítulo 5

Casos de Estudo

Neste capítulo após a descrição dos cenários considerando os anos 2013, 2020 e 2030, aumento da potência renovável instalada e os cenários de penetração de veículos elétrico, os resultados obtidos são apresentados e discutidos.

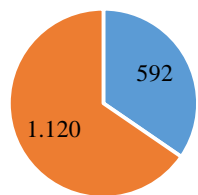
5. Casos de Estudo

Na Tabela 5.1 estão presentes os casos de estudo e as características para cada caso estudados neste capítulo.

Tabela 5.1 – Casos de estudo

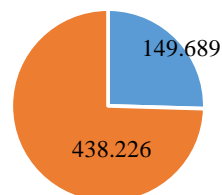
| Casos | Ano | Estação do ano | Cenário do consumo | Aumento da potência instalada | | Evolução da frota de ligeiros | Penetração de EV | Tipo de carregamento |
|-------|------|----------------|--------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------------|----------------------|
| | | | | Eólica [MW] | Fotovoltaica [MW] | | | |
| 1 | 2013 | Primavera | - | - | - | - | BAU | - |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 2 | 2020 | Primavera | Referência | 30 | 10 | Referência | BAU | - |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 3 | 2020 | Primavera | Referência | 30 | 10 | Referência | Referência | Vazio |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 4 | 2020 | Primavera | Referência | 30 | 10 | Referência | Referência | Não Controlado |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 5 | 2020 | Primavera | Referência | 30 | 10 | Referência | 100% EV | Vazio |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 6 | 2020 | Primavera | Otimista | 30 | 10 | Otimista | Otimista | Vazio |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 7 | 2020 | Primavera | Otimista | 30 | 10 | Otimista | Otimista | Não Controlado |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 8 | 2020 | Primavera | Pessimista | 30 | 10 | Pessimista | Pessimista | Vazio |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 9 | 2020 | Primavera | Pessimista | 30 | 10 | Pessimista | Pessimista | Não Controlado |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 10 | 2030 | Primavera | Referência | 30 | 10 | Referência | BAU | - |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 11 | 2030 | Primavera | Referência | 30 | 10 | Referência | Referência | Vazio |
| | | Verão | | | | | | |
| | | Outono | | | | | | |
| | | Inverno | | | | | | |
| 12 | 2030 | Primavera | Referência | 30 | 10 | Referência | Referência | Não Controlado |
| | | Verão | | | | | | |

Consumo de Combustíveis [GWh]



■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Emissões [ton CO2]



■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Figura 5.1 – Caso 1, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2013

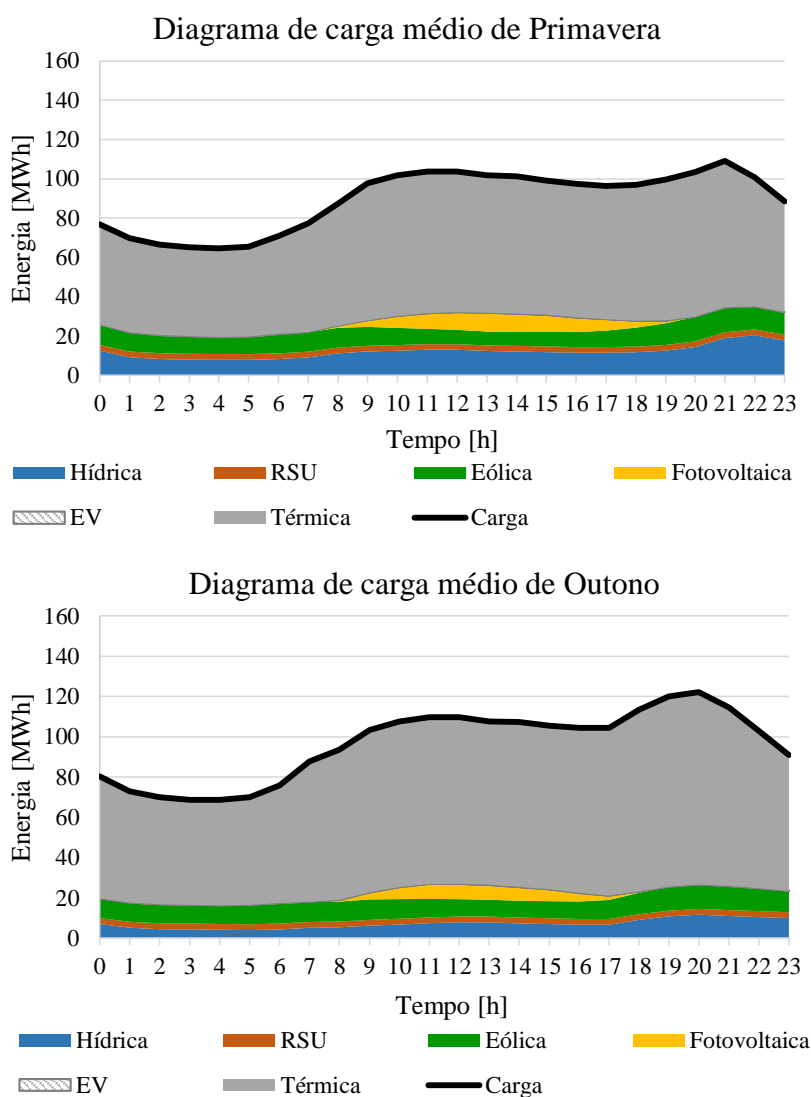


Figura 5.2 – Caso 1, diagramas de carga médios para a Primavera e Outono de 2013

No ano 2020 houve um aumento da potência instalada de energia eólica e fotovoltaica, para a energia eólica considerou-se um aumento de 30 MW e 10 MW para a energia fotovoltaica. Na Figura 5.3 estão os resultados obtidos para o ano 2020 considerando o cenário de referência para o aumento do consumo e o cenário BAU para número de veículos ligeiros. Neste caso nota-se que 27,42 % da energia elétrica produzida é de origem renovável.

Neste caso a procura de energia primária aumenta 16,44 % em relação a 2013, o consumo de combustíveis passa para 1961, ou seja, sofre um aumento de 14,59 %, uma vez que o preço do petróleo em 2020 é mais baixo que em 2013 o custo com os combustíveis em 2020 é 165.899.939 € um valor inferior a 2013, este fato deve a previsão do preço do petróleo presente na Figura 4.6 considerando o cenário de referência, as emissões foram de 673.844 toneladas mais 14,62 % que em 2013 e o custo do CO₂ foi de 5.908.732 €. O custo da energia para este caso é de 110,15 €/MWh.

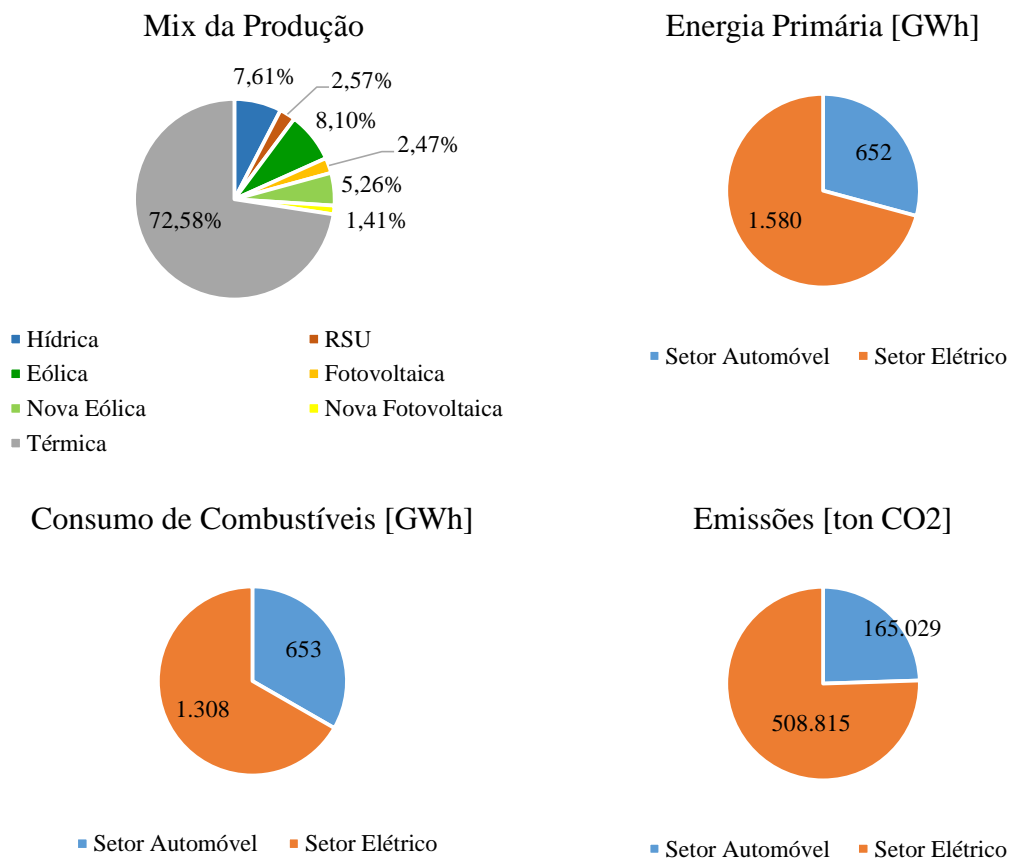


Figura 5.3 – Caso2, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2020

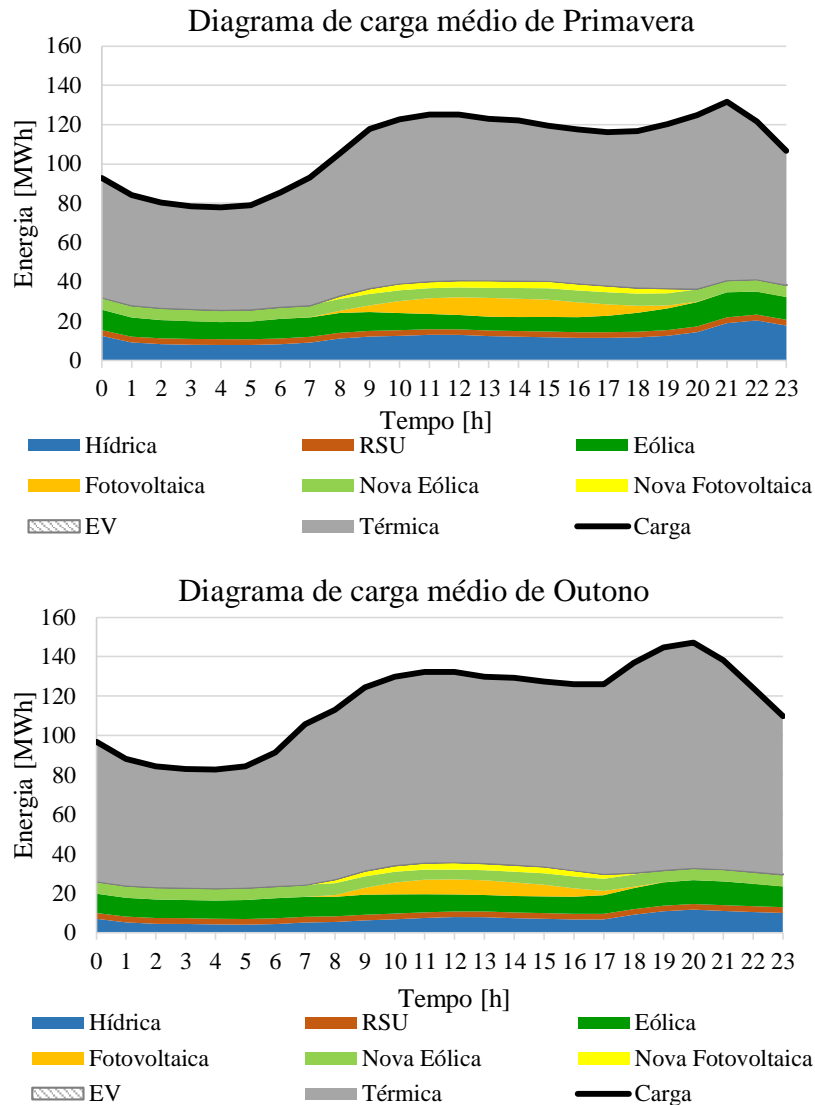


Figura 5.4 – Caso 2, diagramas de carga médios de Primavera e Outono de 2020

Em 2030 houve um novo aumento da potência eólica instalada de 30 MW e 10 MW de fotovoltaica, sendo assim em 2030 a nova eólica perfaz um total de 60 MW de potência instalada e a nova fotovoltaica um total de 20 MW. É de salientar que com o novo aumento da energia eólica e fotovoltaica em 2030, 33,41 % da produção é de origem renovável e que com neste novo aumento de energias renováveis em 2030 a energia primária de origem térmica é de 1225 GWh, ou seja, um aumento de 9,4 % em relação a 2013, sendo que em 2020 o aumento seria de 16,8 %. O custo da energia para este caso é 122,90 €/MWh.

Para o total do setor energético a energia primária é de 2248 GWh, o consumo de combustíveis fósseis é de 1912 GWh, os custos com o combustível é de 203.964.372 €, foram emitidas 651.126 toneladas de CO₂ e o custo com o CO₂ foi de 7.612.704 €.

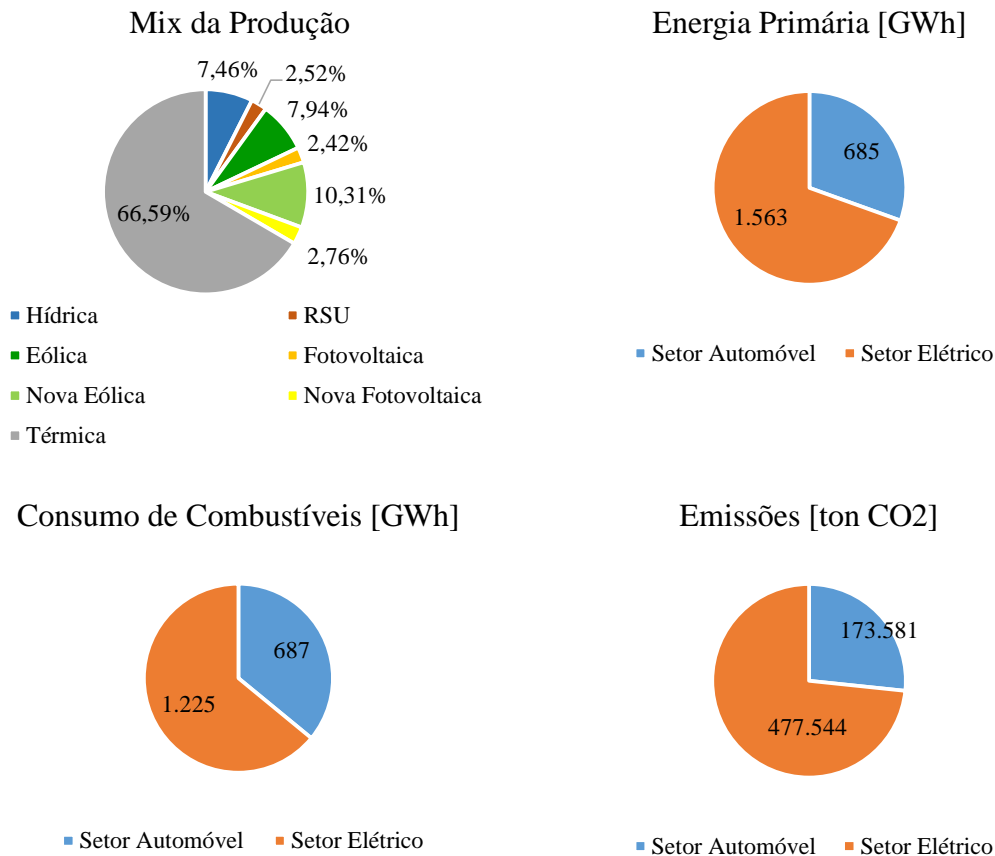
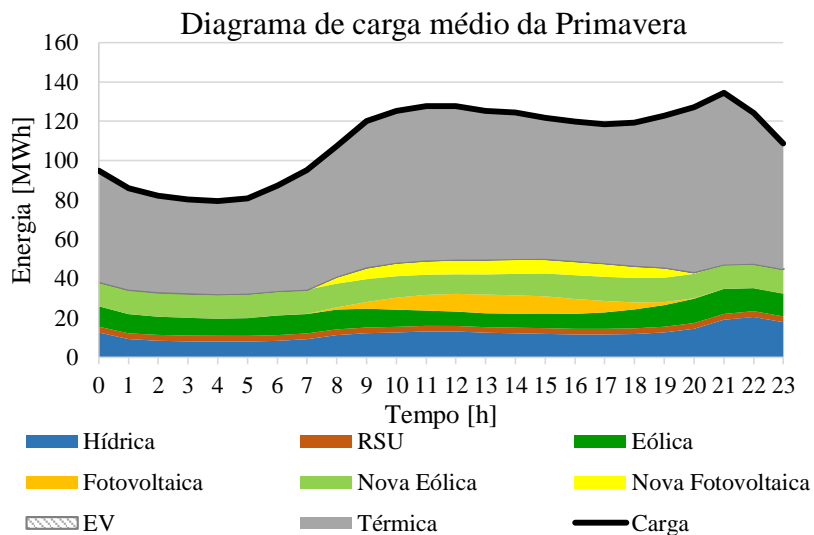


Figura 5.5 – Caso 10, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2030



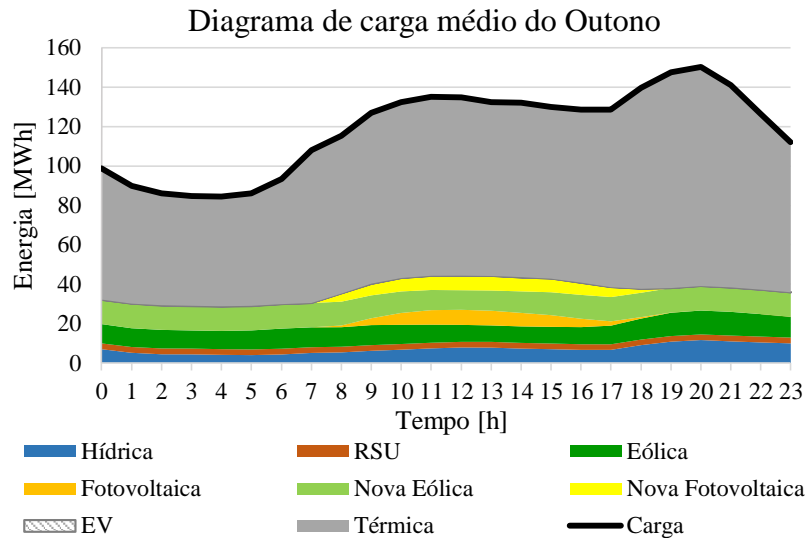


Figura 5.6 – Caso 10, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2030

5.2. Estudo do caso com penetração de veículos elétricos no cenário de referência para 2020 e 2030 com carregamento no vazio.

Na Figura 5.7 estão presentes os resultados obtidos para o cenário de referência para o ano 2020, é de referir que a energia primária no setor elétrico é ligeiramente superior relativamente ao caso em que não existe penetração de veículos elétricos, uma vez que é necessário produzir mais energia elétrica para o carregamento dos mesmos. Para o setor energético os resultados obtidos foram os seguintes a energia primária é de 2219 GWh, o consumo de combustíveis é de 1949 GWh, o custo com os combustíveis é de 162.186.107 €, neste caso as emissões totais foi de 673.215 toneladas, o custo com o CO₂ é de 5.903.216 €, em relação ao caso em que não há penetração de veículos elétricos foram evitadas 629 toneladas de CO₂. Estes valores são levemente inferiores ao caso em que não existe penetração de veículos elétricos. O custo da energia é de 110,13 €/MWh.

Pelos de diagramas de carga médio presente na Figura 5.8 pode-se concluir que o peso dos veículos elétricos no diagrama de carga é reduzido.

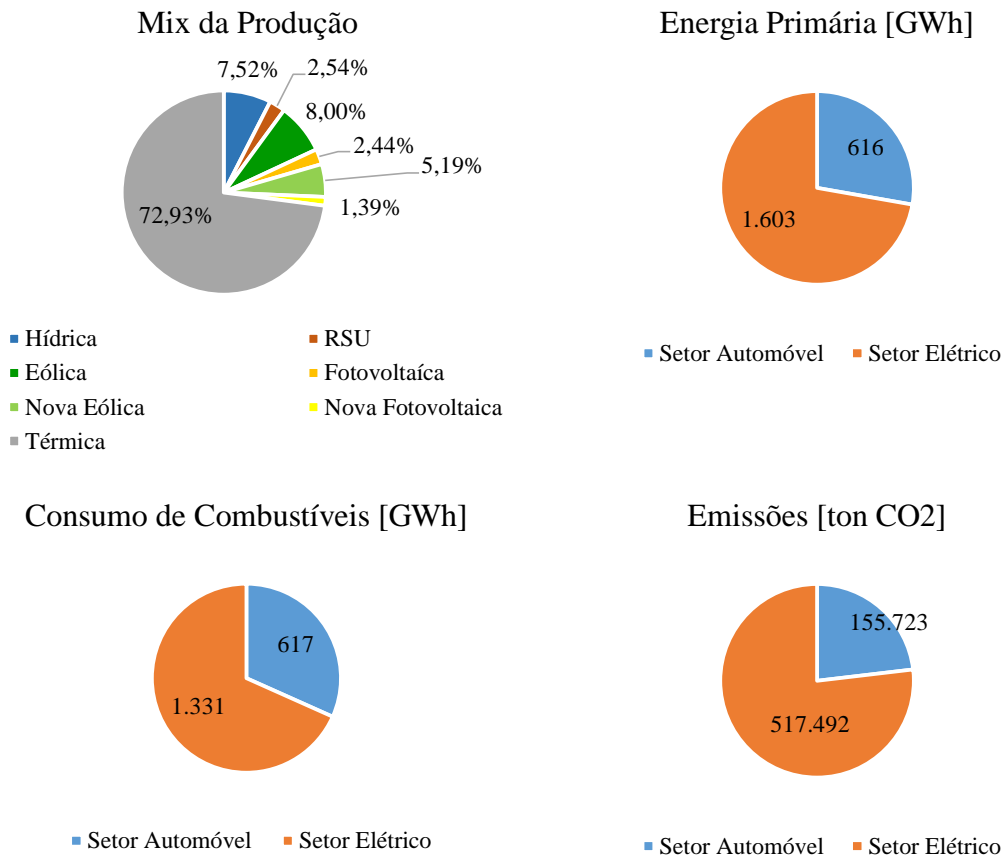
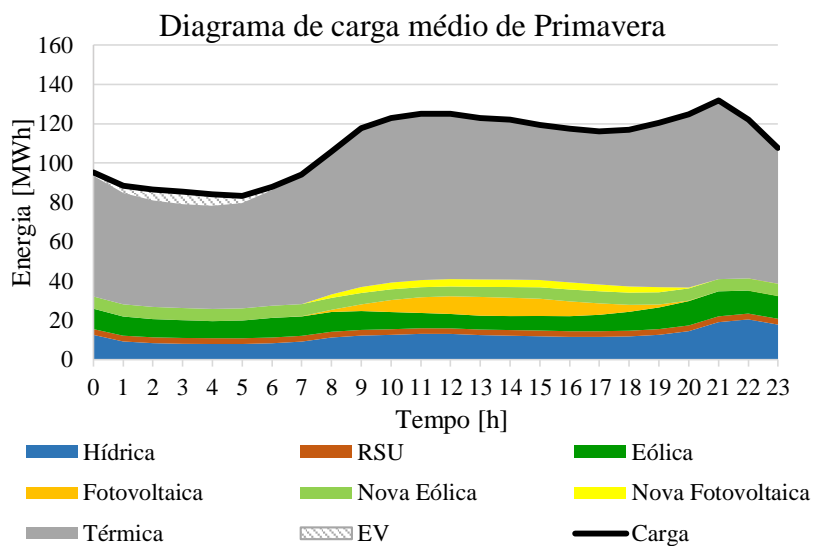


Figura 5.7 – Caso 3, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2020



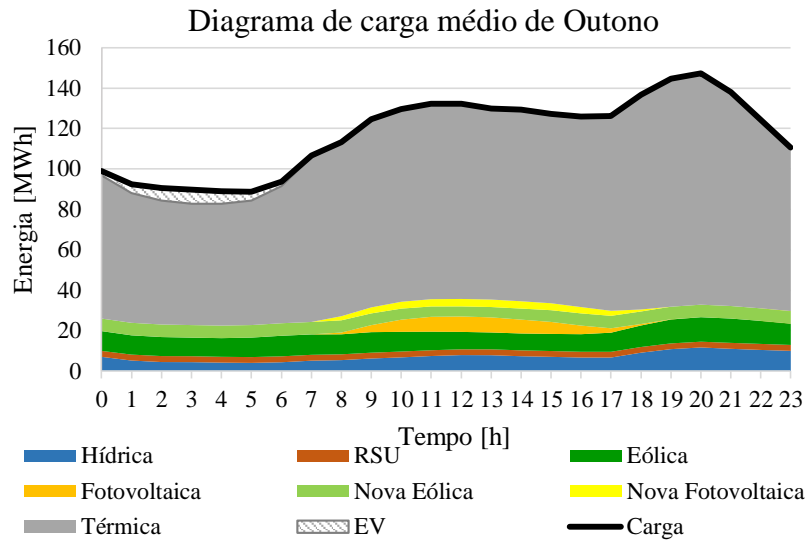
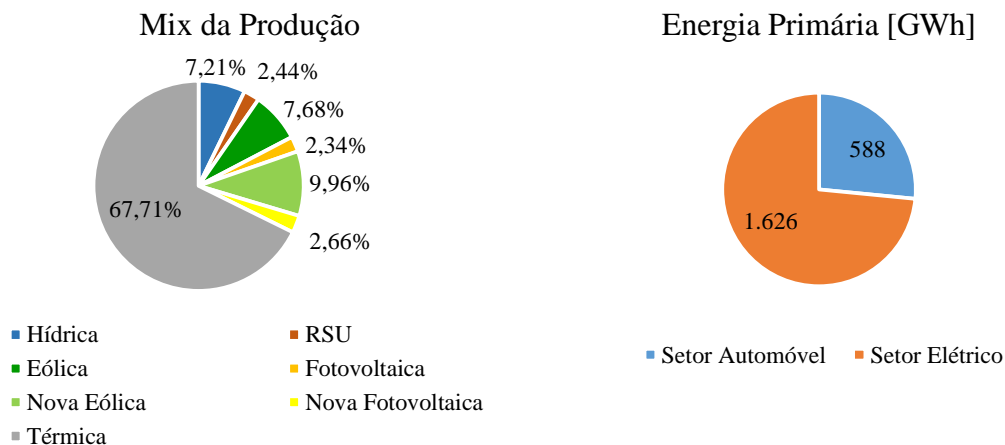


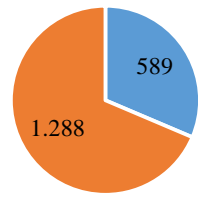
Figura 5.8 – Caso 3, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2020, cenário de referência e penetração de veículos elétricos

Os resultados obtidos para o setor energético do caso 11 são apresentados na Figura 5.9, a energia primária foi de 2214 GWh, o consumo de combustíveis foi de 1877 GWh, o custo com os combustíveis foi de 191.526.112 €, as emissões totais foram de 649.727 toneladas, neste caso e em relação ao caso 10, ou seja, sem penetração de veículos elétricos foram evitadas 1398 toneladas de CO₂, o custo com o CO₂ foi de 7.596.354 €. O custo da energia é de 123,28 €/MWh.

Tendo em conta os valores obtidos e comparando com os resultados para o ano 2013 nota-se um aumento na energia, nos custos e nas emissões isto deve-se ao fato de haver um aumento do consumo de energia e do parque automóvel, mas pode-se ainda concluir que comparativamente como cenário BAU, ou seja, sem penetração de veículos elétricos em 2030 consegue-se uma redução de 1,5 % na procura de energia primária e de 1,8 % para o consumo de combustíveis.

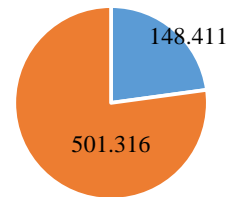


Consumo de Combustíveis [GWh]



■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Emissões [ton CO₂]



■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Figura 5.9 – Caso 11, resultados obtidos para o setor energético para o ano 2030

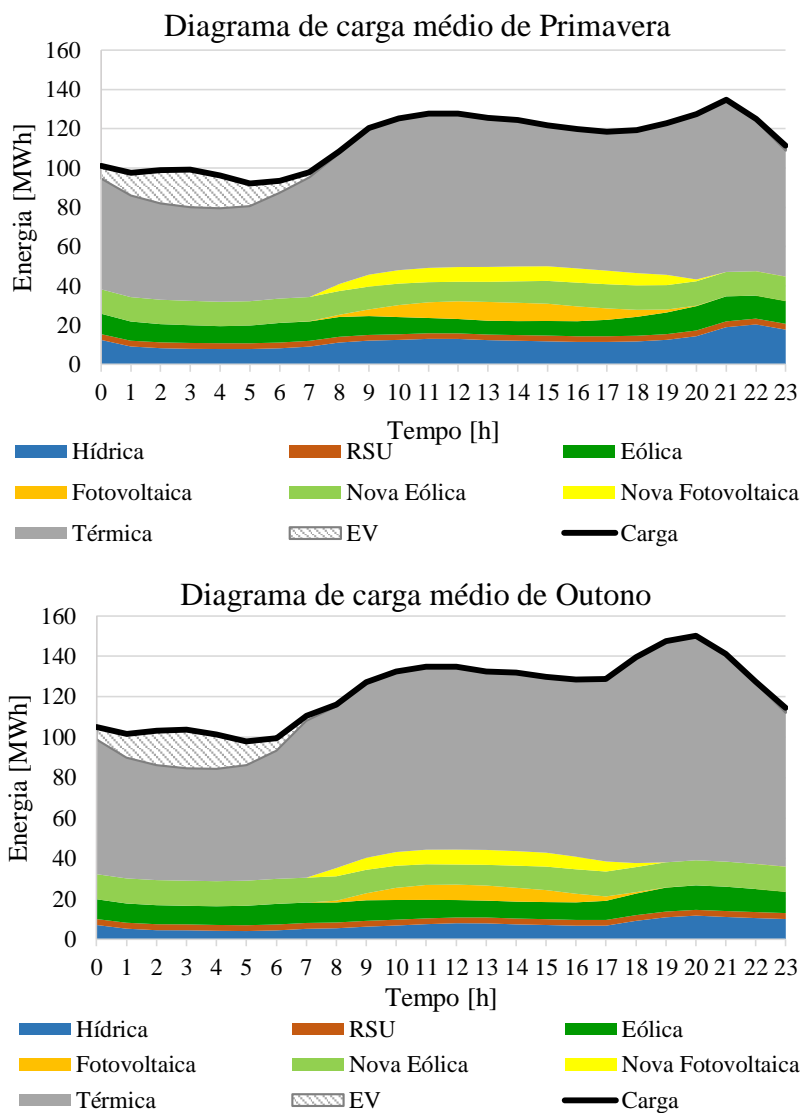


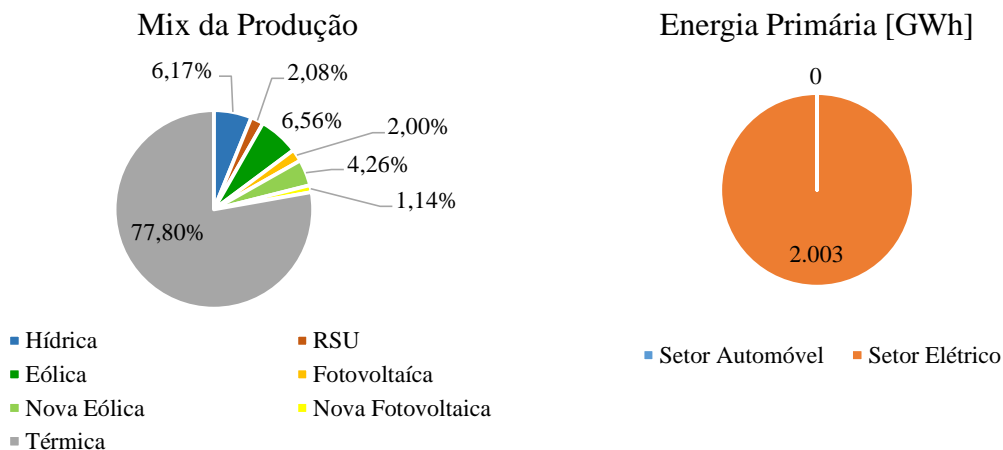
Figura 5.10 – Caso 11, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2030, cenários de referência e penetração de veículos elétricos

5.3. Estudo do caso com penetração a 100 % de veículos elétricos para o ano 2020 e 2030, carregamento no vazio.

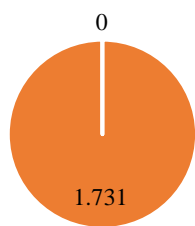
Para o caso 5 foi considerado que todos os veículos existentes em 2020 são elétricos, sendo este cenário pouco provável de acontecer. Para este caso são apresentados os resultados na Figura 5.11., para o setor energético a energia primária é de 2003 GWh um aumento de 4,52 % em relação a 2013, com um consumo de combustíveis de 1731 GWh um aumento de 1,17 % em relação a 2013, nota-se que o aumento da energia primária e do consumo de combustíveis é relativamente mais baixo em relação ao cenário BAU e ao cenário de referência para a penetração de veículos elétricos. Neste caso o custo com o combustível é 98.296.814 € uma redução de 44,34 % em relação a 2013, com um total de 668.479 toneladas de CO₂, forma evitadas 5.365 toneladas de CO₂ em relação ao cenário BAU. O custo de energia é de 109,90 €/MWh.

Observando os diagramas de carga nota-se que se todos os veículos elétricos forem postos a carregar no vazio não será uma boa solução, uma vez que o valor da ponta do diagrama de carga no vazio é muito superior ao valor da ponta do diagrama de carga que ocorre por volta das 20 h.

É de referir que na Figura 5.11 o setor dos transportes apresenta valores nulos, uma vez que a energia consumida pelos veículos elétricos, o consumo de combustíveis e as emissões emitidas pela produção de energia para o carregamento dos veículos elétricos são contabilizadas no setor elétrico.

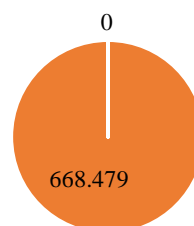


Consumo de Combustíveis [GWh]



■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Emissões [ton CO2]



■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Figura 5.11 – Caso 5, resultados obtidos para o setor energético com o cenário penetração de 100% de veículos elétricos para o ano 2020

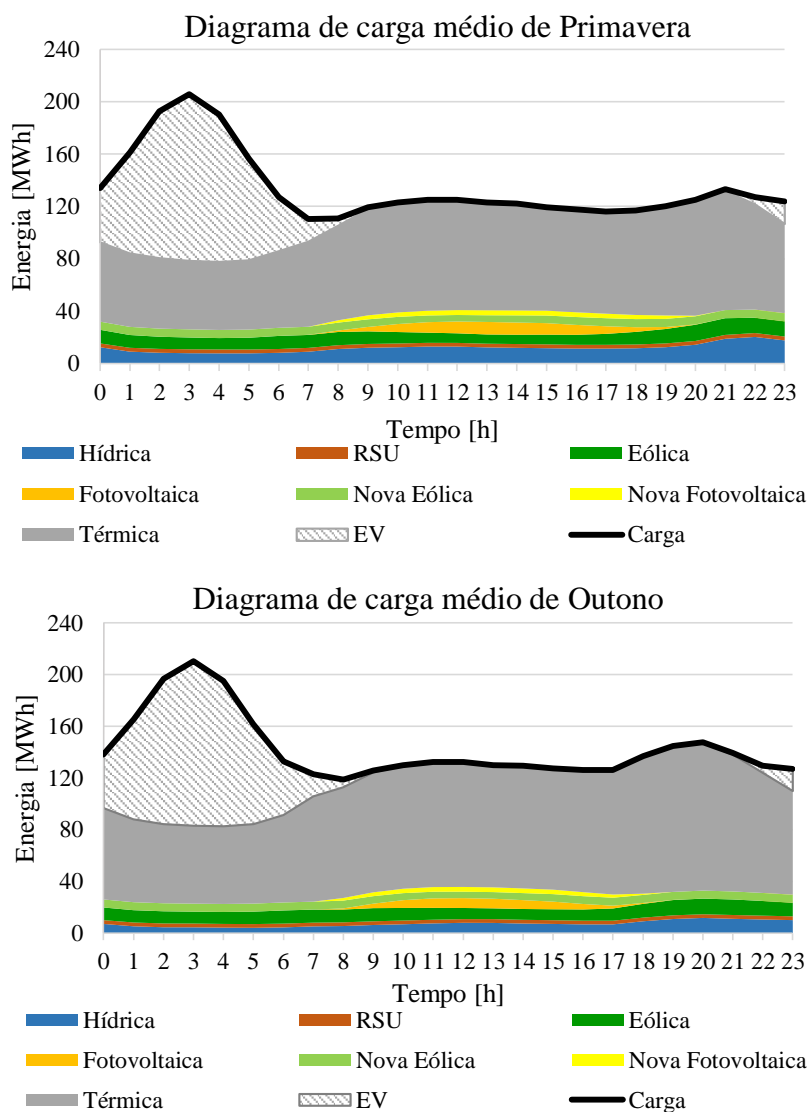


Figura 5.12 – Caso 5, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2020, 100 % de veículos elétricos

Para o caso 13, o custo a energia é de 125,12 €/MWh, a energia primária é de 2008 GWh, o consumo de combustíveis é de 1670 GWh, ou seja, apresenta uma redução de 2,4 % em relação a 2013, o custo com o combustível é 116.845.011 sendo inferior 33,84 % em relação a 2013. As emissões para este caso são 644.531 toneladas de CO₂, em relação ao cenário BAU foram evitadas 6.595 toneladas de CO₂, o custo com o CO₂ é de 7.535.603 €. Tal como dito no caso anterior não será uma boa solução por todos os veículos a carga ao mesmo tempo e a energia consumida, o consumo de combustíveis e as emissões para a produção de energia necessária para o carregamento dos veículos elétricos são contabilizadas no setor elétrico.

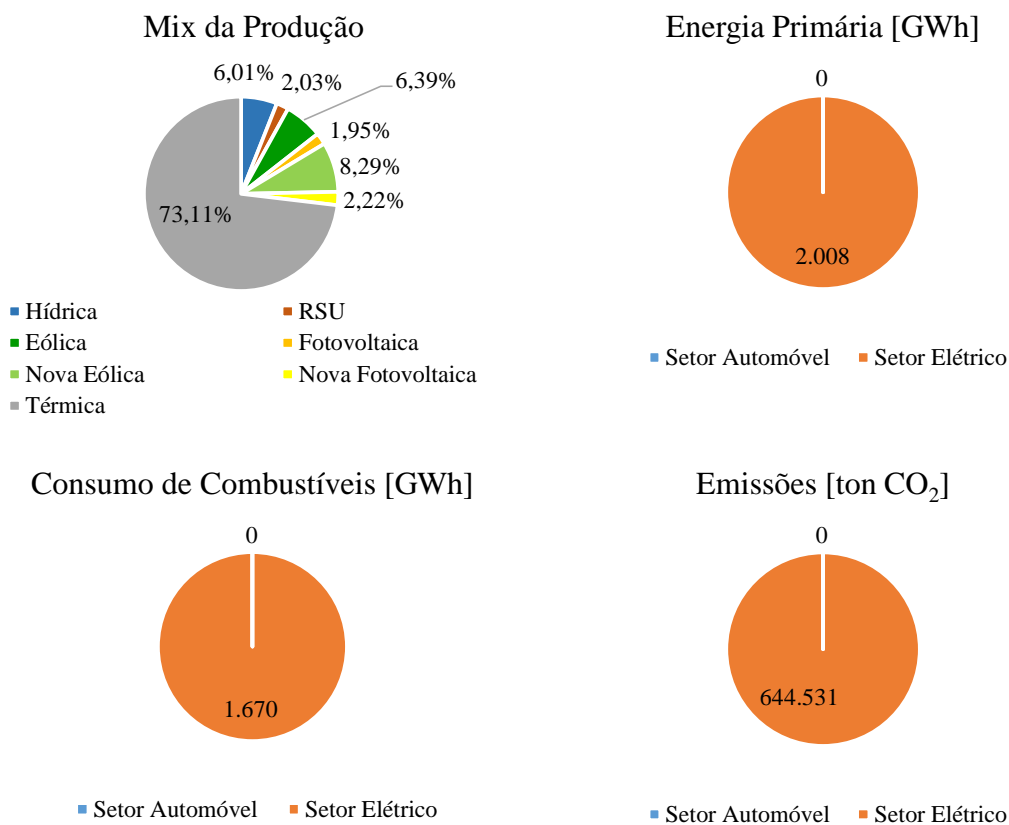


Figura 5.13 – Caso 13, resultados obtidos para o setor energético com penetração de 100 % de veículos elétricos para o ano 2030

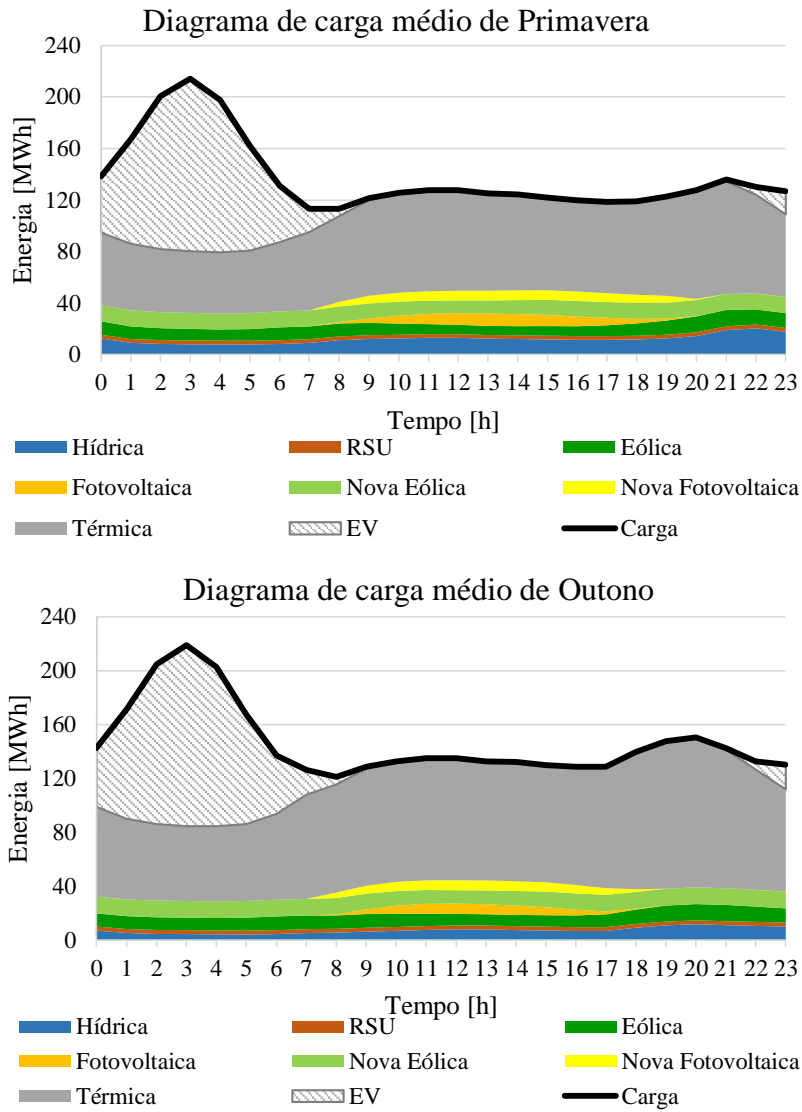


Figura 5.14 – Caso 13, diagrama de carga médio de Primavera e Outono de 2030, 100 % de veículos elétricos

Capítulo 6

Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

No presente capítulo são apresentadas as principais conclusões retiradas com a elaboração da dissertação e futuros desenvolvimentos.

6. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

6.1. Conclusões

Na presente dissertação caracterizou-se o sistema energético da ilha da Madeira e projetou-se a evolução do sistema energético até 2030.

Após as projeções para a ilha da Madeira foram elaborados vários cenários de modo a analisar os impactos energéticos, económicos e ambientais com o aumento da potência instalada de energia renovável e com a penetração de veículos elétricos.

Por observação dos dados obtidos nota-se que 25,04 % da produção de energia elétrica é de origem renovável em 2013, com o aumento da potência instalada eólica de 30 MW e 10 MW de fotovoltaica consegue-se assim que em 2020 exista uma produção de origem renovável de 27,42 % e em 2030 uma produção de 33,41 % no cenário BAU, contudo podemos concluir que a ilha da Madeira com um aumento de 60 MW de eólica e 20 MW de fotovoltaica em 2030 é ainda muito dependente de combustíveis fósseis.

Comparando os perfis de carregamento considerados, vazio e não controlado, obtém-se os mesmos valores de consumos e de custos para o setor energético, mas o carregamento não controlado é menos adequado tendo em conta os diagramas de carga uma vez que irá intensificar a ponta do diagrama de carga.

No cenário BAU em 2030 a produção de energia térmica é de 66,59 % com a penetração de veículos elétricos a percentagem de energia térmica aumenta para 67,71 % uma vez que é necessário produzir mais energia para o carregamento dos veículos o que leva a concluir que do ponto de vista do setor elétrico a penetração de veículos elétricos não apresenta vantagens, uma vez que com o aumento da produção de energia térmica os custos com os combustíveis, com o CO₂ e as emissões irão aumentar.

Da análise do setor energético da ilha da Madeira para 2030, podemos concluir que no cenário BAU a energia primária é de 2.248 GWh com a penetração de veículos elétricos este valor é de 2.214 GWh, o consumo de combustíveis no cenário BAU é 1.912 GWh com a penetração de veículos elétricos o consumo baixa para 1877 GWh. Com a penetração de 14,3 % de veículos elétricos, ou seja, 18047 veículos elétricos, a ilha da Madeira reduz o custo de combustíveis em 12.438.260 €, os custos com o dióxido de carbono é 16.350 € e são evitadas 1.398 toneladas de dióxido de carbono.

Com o cenário de penetração 100 % de veículos elétricos nota-se que o aumento da energia primária em 2030 é de 4,78 % ou valor relativamente inferior ao cenário BAU que apresentava um aumento de 17,27 % em relação a 2013. Com este cenário consegue-se diminuir em 2,4 % o consumo de combustíveis e em 33,84 % os custos com os combustíveis, são evitadas 6.595 toneladas de CO₂ em comparação com o cenário BAU em 2030.

O custo da energia elétrica em 2013 é de 135,34 €/MWh em 2030 no cenário BAU a energia elétrica tem um custo de 122,90 €/MWh esta redução deve-se ao fato de existir um aumento da potência instalada de origem renovável, logo a percentagem de produção de origem térmica diminui e ao longo dos anos os custos unitários das energias renováveis diminuíram devido ao avanço da tecnologia. Com a penetração de veículos elétricos o custo da energia elétrica aumentou ligeiramente passando para 123,28 €/MWh.

Em termos energéticos, económicos e ambientais pode-se evidenciar que a penetração de veículos elétricos é benéfica para ilha da Madeira.

6.2. Desenvolvimentos Futuros

Uma vez que a ilha da Madeira mesmo com o aumento da energia eólica e fotovoltaica instalada apresenta grande dependência de combustíveis fósseis, o estudo do potencial de outras fontes de energias renováveis como a energia eólica no mar e a energia das ondas, apresenta um interesse relevante para a ilha da Madeira.

Bibliografia

No presente capítulo estão presentes as referências bibliográficas utilizados ao longo da elaboração da dissertação.

Bibliografia

- [1] F. Chen, N. Duic, L. M. Alves e M. d. G. Carvalho, “Renewislands - Renewable energy solutions for islands,” *ELSEVIER*, pp. 1888-1902, 23 12 2005.
- [2] R. Segurado, G. Krajacic, N. Duic e L. Alves, “Increasing the penetration of renewable energy resources in S. Vicente, Cape Verde,” *ELSEVIER*, pp. 466-472, 6 7 2010.
- [3] N. Duic e M. d. G. Carvalho, “Increasing renewable energy sources in island energy supply: case study Porto Santo,” *ELSEVIER*, pp. 383-399, 2004.
- [4] AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, “SUSTAINABLE ENERGY ACTION PLAN - MADEIRA ISLAND,” March, 2012.
- [5] “AREAM – Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira,” [Online]. Available: http://www.arem.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=41%3Aeramac&catid=35%3Aproj&Itemid=63&lang=pt. [Acedido em 2 4 2014].
- [6] “Identificação do Potencial de Energia Hídrica na Região Autónoma da Madeira,” Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, Agosto 2005.
- [7] “Avaliação do Potencial Energético Eólico na Região Autónoma da Madeira,” AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, Agosto de 2005.
- [8] AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, “Avaliação do Potencial Energético Solar na Região Autónoma da Madeira,” Agosto, 2005.
- [9] AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, “Levantamento do Potencia Energético da Biomassa Florestal na Região Autónoma da Madeira,” Outubro, 2006.
- [10] “Estudo de Estabilidade Dinâmica de Redes Elétricas para a Determinação das Perturbações das Energias Renováveis sobre os Sistemas Elétricos das ilhas da Madeira e do Porto Santo,” AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, Agosto 2012.
- [11] “veículos eléctricos,” [Online]. Available: <http://www.veiculoselectricospt.com/pros-e-contras/>. [Acedido em 24 3 2014].
- [12] “SEED,” [Online]. Available: <http://www.planetseed.com/pt-br/node/102394>. [Acedido em 20 3 2014].

- [13] Associação Portuguesa do Veículo Elétrico, “MOBIL3e - Mobilidade Elétrica, Eficiência Energética,” [Online]. [Acedido em 8 Abril 2014].
- [14] New Generation of Electric Vehicle, Zoran Stevic, 2012.
- [15] “Associação Portuguesa do Veículo Elétrico,” [Online]. Available: <http://www.apve.pt/content01.asp?treeID=07&categoriaID=6&newsID=94>. [Acedido em 24 3 2014].
- [16] “Eficiência Energética,” [Online]. Available: http://www.eficiencia-energetica.com/DetailheConceitos.asp?ID_conteudo=84&ID_area=5&ID_sub_area=14. [Acedido em 24 3 2014].
- [17] E. V. Naranjo, A. Sumper, P. L. Gallego, R. V. Robles e A. S. Andreu, “Electrical Vehicles: State of Art and Issues for their Connection to the Network,” *IEEE*, 2009.
- [18] Internation Energy Agency, “Global EV Outlook,” 2013. [Online]. Available: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook_2013.pdf. [Acedido em 17 Maio 2014].
- [19] IHS, “Global Production of Electric Vehicles to Surge by 67 Percent This Year,” [Online]. Available: <http://press.ihs.com/press-release/automotive/global-production-electric-vehicles-surge-67-percent-year>. [Acedido em 16 Maio 2014].
- [20] “Relatório e Contas,” Empresa de Eletricidade da Madeira, 2011.
- [21] “Caraterização da Rede de Transporte e Distribuição em AT e MT,” DEP - Direção de Estudos e Planeamento, 2014.
- [22] “Eletricidade da Madeira,” [Online]. Available: http://www.eem.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=538&Itemid=475. [Acedido em 26 3 2014].
- [23] “Caraterização de Rede Elétrica da Região Autónoma da Madeira,” AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira , 2010.
- [24] “Eletricidade da Madeira,” [Online]. Available: <http://www.eem.pt/index.php?option=content&task=view&id=323&Itemid=475>. [Acedido em 18 3 2014].
- [25] “Eletricidade da Madeira,” [Online]. Available: http://www.eem.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=539&Itemid=476. [Acedido em 26 3 2014].
- [26] “Eletricidade da Madeira,” [Online]. Available: http://www.eem.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=563&Itemid=493. [Acedido em 18 3 2014].

- [27] “Parques Eólicos em Portugal,” energias endógenas de portugal, Dezembro 2013.
- [28] “energias endógenas de portugal,” [Online]. Available: <http://e2p.inegi.up.pt/>. [Acedido em 18 3 2014].
- [29] “Valor Ambiente,” [Online]. Available: <http://www.valorambiente.pt/Gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos/Valoriza%C3%A7%C3%A3o-Energ%C3%A9tica>. [Acedido em 2014 3 19].
- [30] “Relatório e Contas,” Eletricidade da Madeira, 2002.
- [31] “Relatório e Contas,” Eletricidade da Madeira, 2006.
- [32] Direção Geral de Geologia e Energia - Divisão de Estatística, *Consumo de Combustíveis no Mercado Interno*, 2003 a 2012.
- [33] Governo Regional da Madeira, “Direção Regional do Comércio, Indústria e Energia,” 2013. [Online]. Available: http://drcie.gov-madeira.pt/drcie/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=512&Itemid=135. [Acedido em 15 Maio 2014].
- [34] ACAP - Associação Automóvel de Portugal, *Automóveis Ligeiros de Passageiros, Veículos Comerciais Ligeiros e Pesados*, 2013.
- [35] Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões - Instituto de Seguros de Portugal, *Parque Automóvel Seguro*, 2013.
- [36] Diário da República Eletrónico, “Diário da República, 2.ª série — N.º 122,” 26 Junho 2008. [Online]. Available: <http://dre.pt/pdfgratis2s/2008/06/2S122A0000S00.pdf>. [Acedido em 15 Maio 2014].
- [37] “SunEarthTools.com,” [Online]. [Acedido em 6 Maio 2014].
- [38] “Instituto Nacional de Estatística,” [Online]. Available: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0003182&selTab=tab0. [Acedido em 21 Maio 2014].
- [39] Instituto Nacional de Estatística, “Projeções da população residente 2012-2060,” [Online]. Available: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=208819970&DESTAQUESmodo=2. [Acedido em 28 Maio 2014].
- [40] U.S. Energy Information Administration, “Annual Energy Outlook 2013 with Projections to2040,” [Online]. Available: http://www.eia.gov/forecasts/aeo/excel/fig21_data.xls. [Acedido em 11 Junho 2014].

- [41] PORDATA, “Preços da electricidade para utilizadores industriais e domésticos,” [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Europa/Ambiente+de+Consulta/Tabela>. [Acedido em 6 Junho 2014].
- [42] “Technical Support Document: - Technical Update of the Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis - Under,” Maio 2013. [Online]. Available: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/social_cost_of_carbon_for_ri_a_2013_update.pdf. [Acedido em 12 Junho 2014].
- [43] Autoportal , 21 Março 2014. [Online]. Available: <http://www.autoportal.iol.pt/noticias/geral/bmw-i3-e-o-eletrico-mais-vendido-em-portugal>. [Acedido em 2 Junho 2014].
- [44] “BMW,” [Online]. Available: http://www.bmw.pt/pt/pt/newvehicles/i/i3/2013/showroom/technical_data.html. [Acedido em 3 Junho 2014].
- [45] “NISSAN,” [Online]. Available: http://www.nissan.pt/content/dam/services/PT/brochure/E-Catalago_Novo_Leaf_PT.pdf. [Acedido em 2 Junho 2014].
- [46] “Renault,” [Online]. Available: <http://info.rnportugal.com/catalogos-renault/PDF/ZOE.pdf>. [Acedido em 3 Junho 2014].
- [47] “Smart,” [Online]. Available: <http://www.smart.pt/pt/pt/index/smart-fortwo-electric-drive/electric-drive.html>. [Acedido em 2 Junho 2014].
- [48] The European Topic Centre 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.
- [49] C. Camus e T. Farias, “The electric vehicles as a mean to reduce CO2 emissions and energy costs in isolated regions. The Sao Miguel (Azores) case study,” *ELSEVIER*, pp. 153-165, 2011.
- [50] Centro de Informação da REN, “A Energia Eólica em Portugal em 2012,” [Online]. Available: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/EnergiaEolica/A%20Energia%20E%20C%20B3lica%20em%20Portugal%20-%202012.pdf>. [Acedido em 17 Junho 2014].
- [51] J. A. M. Sousa, “Introdução aos conceitos técnicos e económicos associados à produção de energia eléctrica,” [Online]. Available: http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa/Doc/MEN/0_Introducao_MEN.ppt. [Acedido em 12 Maio 2014].

- [52] Banco de Portugal, “BP stat mobile,” [Online]. Available: <http://www.bportugal.pt/Mobile/BPStat/Forms/SeriesEstatisticas.aspx?IndID=P6COON OUDPI=&SerID=BRRBt06Tkaw=&&View=graph&SW=1263&sr=>. [Acedido em 14 Maio 2014].
- [53] P. Lako, “Technical and economic features of renewable electricity technologies,” Maio 2010. [Online]. Available: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10034.pdf>. [Acedido em 11 Maio 2014].
- [54] ERSE, “PROVEITOS PERMITIDOS DAS EMPRESAS REGULADAS DO SECTOR ELÉCTRICO EM 2010,” Dezembro 2009. [Online]. Available: http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifasreguladasem2010/Documents/Doc%20proveitos_final.pdf. [Acedido em 12 Julho 2014].
- [55] ERSE, “PROVEITOS PERMITIDOS DAS EMPRESAS REGULADAS DO SECTOR ELÉCTRICO EM 2011,” Dezembro 2010. [Online]. Available: http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifasreguladas2011/Documents/Proveitos%20permitidos_Final.pdf. [Acedido em 12 Julho 2014].
- [56] ERSE, “PROVEITOS PERMITIDOS DAS EMPRESAS REGULADAS DO SECTOR ELÉCTRICO EM 2012,” Dezembro 2011. [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/tarifas2012/Documents/Proveitos%20permitidos.pdf>. [Acedido em 12 Julho 2014].
- [57] ERSE, “PROVEITOS PERMITIDOS DAS EMPRESAS REGULADAS DO SECTOR ELÉCTRICO EM 2013,” Dezembro 2012. [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/tarifasreguladasdeanosanteriores/2013/Documents/Proveitos%20permitidos.pdf>. [Acedido em 12 Julho 2014].
- [58] ERSE, “PROVEITOS PERMITIDOS DAS EMPRESAS REGULADAS DO SECTOR ELÉCTRICO EM 2014,” Dezembro 2013. [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/2014/Documents/Proveitos%20permitidos%202014.pdf>. [Acedido em 12 Julho 2014].
- [59] U. S. Energy Information Administration, “AEO2014 EARLY RELEASE OVERVIEW,” [Online]. Available: http://www.eia.gov/forecasts/aeo/er/early_prices.cfm. [Acedido em 13 Maio 2014].
- [60] U.S. Energy Information Administration, “Annual Energy Outlook 2014,” [Online]. Available: http://www.eia.gov/forecasts/aeo/tables_ref.cfm. [Acedido em 13 Maio 2014].

Apêndices

Estão presentes os apêndices com os pressupostos, os custos nivelados calculados para as energias renováveis e os resultados obtidos para os casos de estudo.

Apêndice 1 – Programação Matlab

```

function medias
%UNTITLED Summary of this function goes here
% ler dados do excel
filename='dados2013';
Demand_prod=xlsread(filename,1,'c2:h8761');
DP=zeros(93*24,6);
DV=zeros(93*24,6);
DO=zeros(90*24,6);
DI=zeros(90*24,6);
DP=Demand_prod(1873:4104,:);
DV=Demand_prod(4105:6336,:);
DO=Demand_prod(6337:8496,:);
a=Demand_prod(8497:8760,:);
b=Demand_prod(1:1872,:);
DI=[a;b];

DP1=zeros(24,6);
for i=1:93
    for j=1:24
        DP1(j,:)=DP1(j,:)+DP((i-1)*24+j,:);
    end
end
DP1=DP1/93;
xlswrite(filename,DP1,2,'B2:G25')

DV1=zeros(24,6);
for i=1:93
    for j=1:24
        DV1(j,:)=DV1(j,:)+DV((i-1)*24+j,:);
    end
end
DV1=DV1/93;
xlswrite(filename,DV1,3,'B2:G25')

DO1=zeros(24,6);
for i=1:90
    for j=1:24
        DO1(j,:)=DO1(j,:)+DO((i-1)*24+j,:);
    end
end
DO1=DO1/90;
xlswrite(filename,DO1,4,'B2:G25')

DI1=zeros(24,6);
for i=1:89
    for j=1:24
        DI1(j,:)=DI1(j,:)+DI((i-1)*24+j,:);
    end
end
DI1=DI1/89;
xlswrite(filename,DI1,5,'B2:G25')
end

```


Apêndice 2 – Pressupostos

2.1. Evolução dos Preços

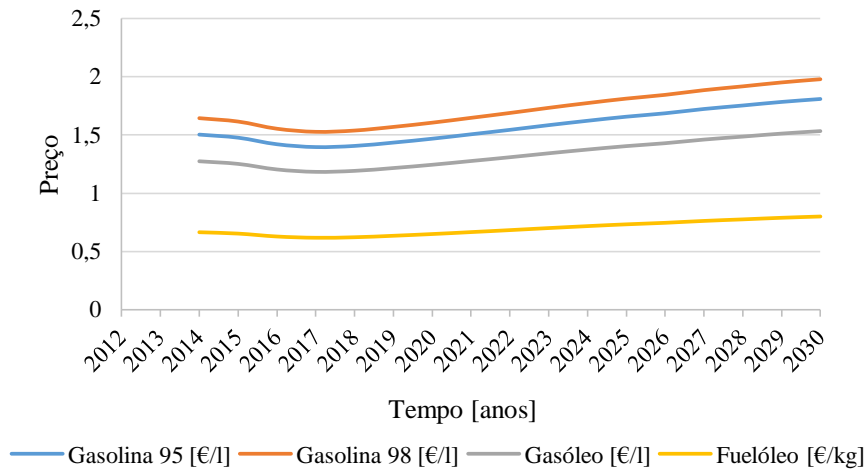


Figura do Apêndice 2.1 – Evolução do preço dos combustíveis para a ilha da Madeira

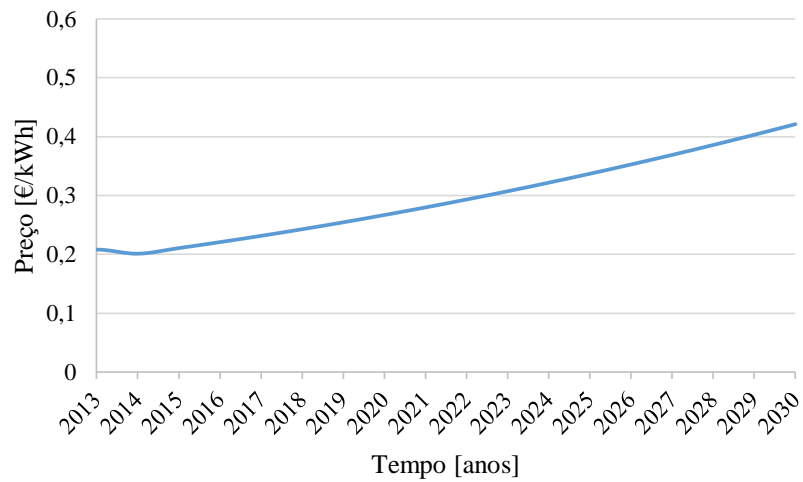


Figura do Apêndice 2.2 – Evolução do preço da eletricidade

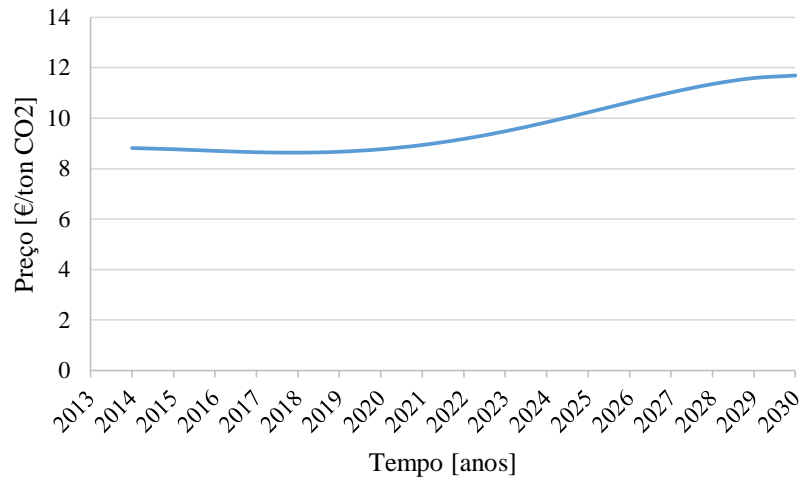


Figura do Apêndice 2.3 – Evolução do preço do CO₂

2.2. Setor Automóvel

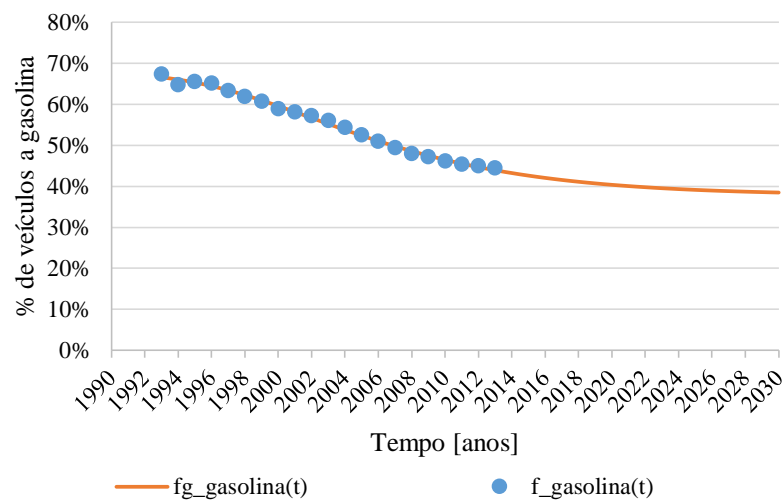


Figura do Apêndice 2.4 – Função de Gompertz para a evolução dos veículos a gasolina até 2030

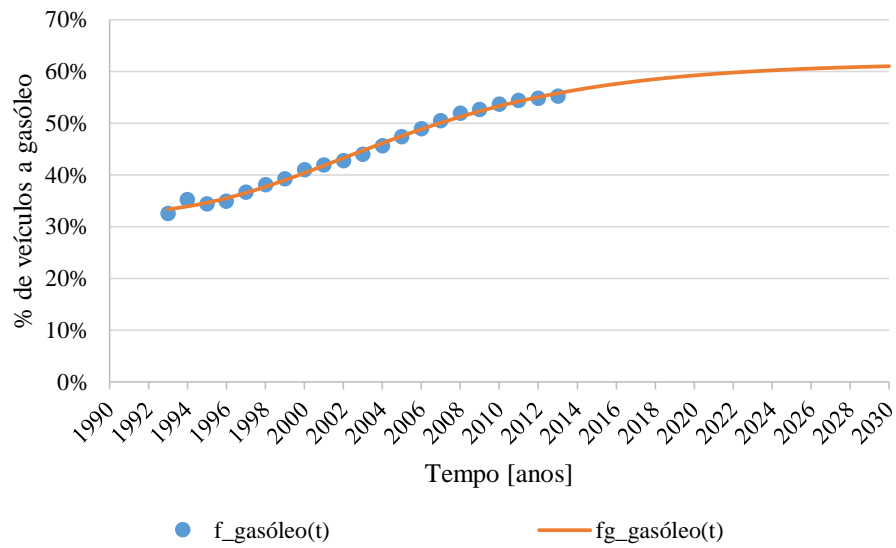


Figura do Apêndice 2.5 – Função de Gompertz para a evolução dos veículos a gásóleo até 2030

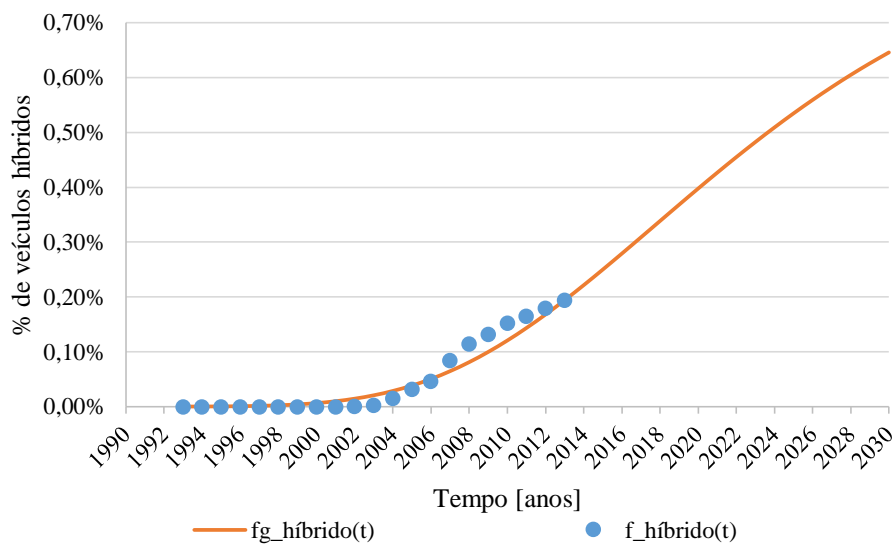


Figura do Apêndice 2.6 – Função de Gompertz para a evolução dos veículos híbridos até 2030

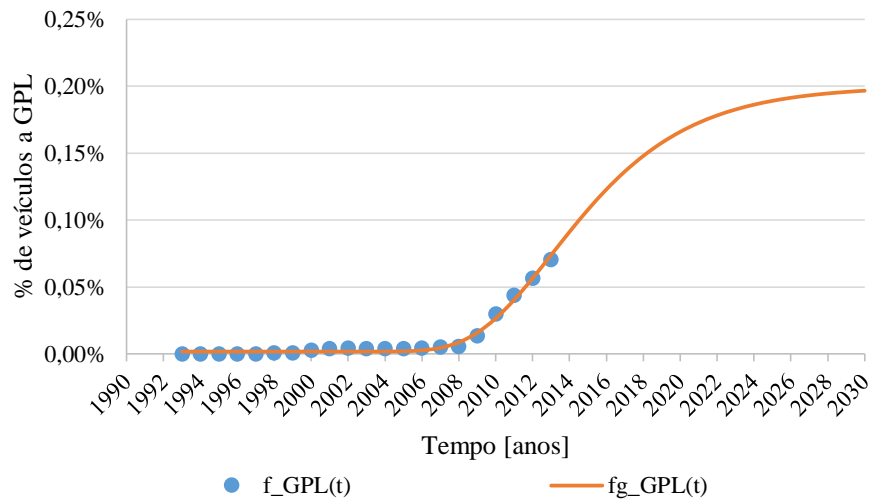


Figura do Apêndice 2.7 – Função de Gompertz para a evolução de veículos a GPL até 2030

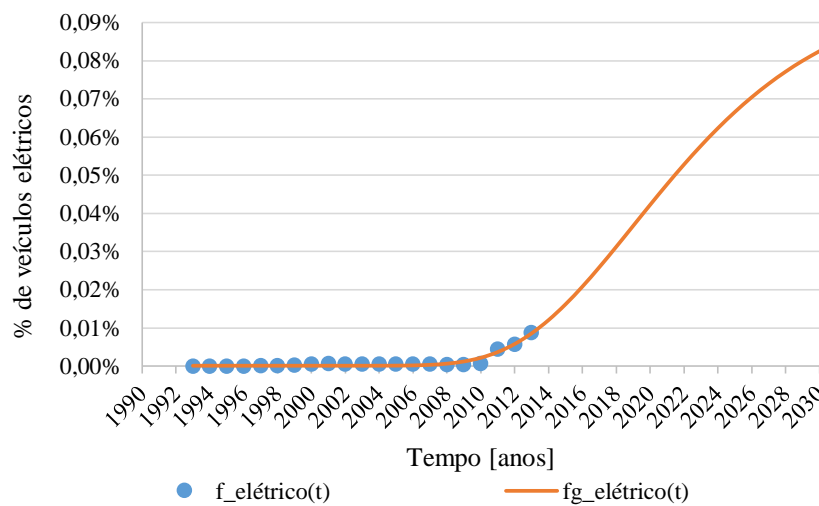


Figura do Apêndice 2.8 – Função de Gompertz para a evolução de veículos elétricos

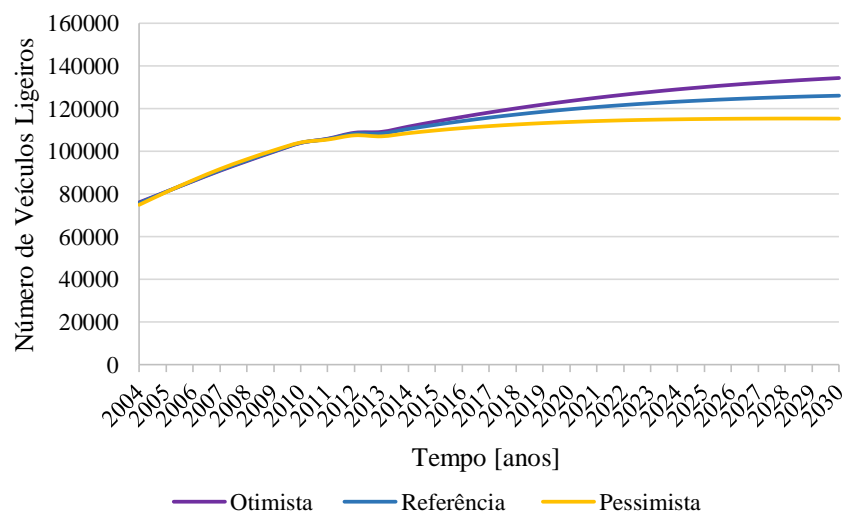


Figura do Apêndice 2.9 – Evolução do Número de Veículos Ligeiros para a ilha da Madeira para os diferentes cenários

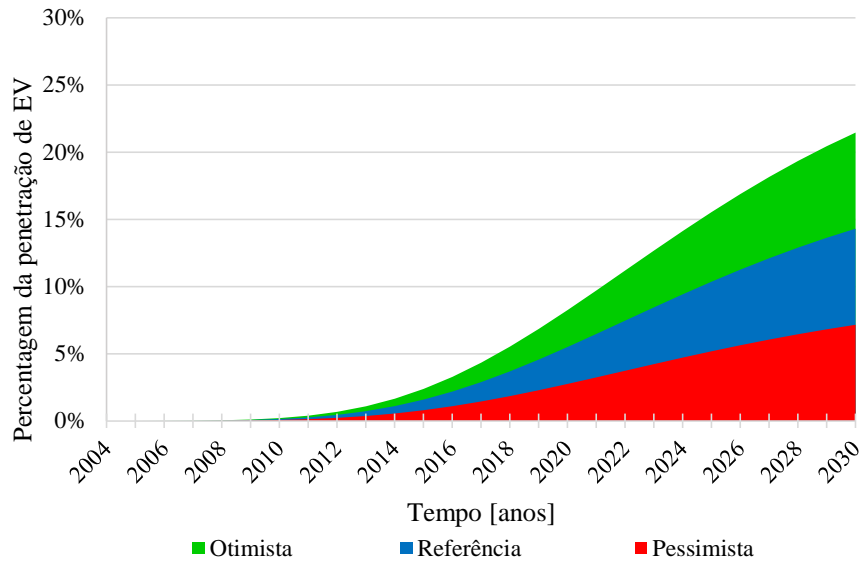


Figura do Apêndice 2.10 – Penetração dos veículos ligeiros para a ilha da Madeira para os diferentes cenários

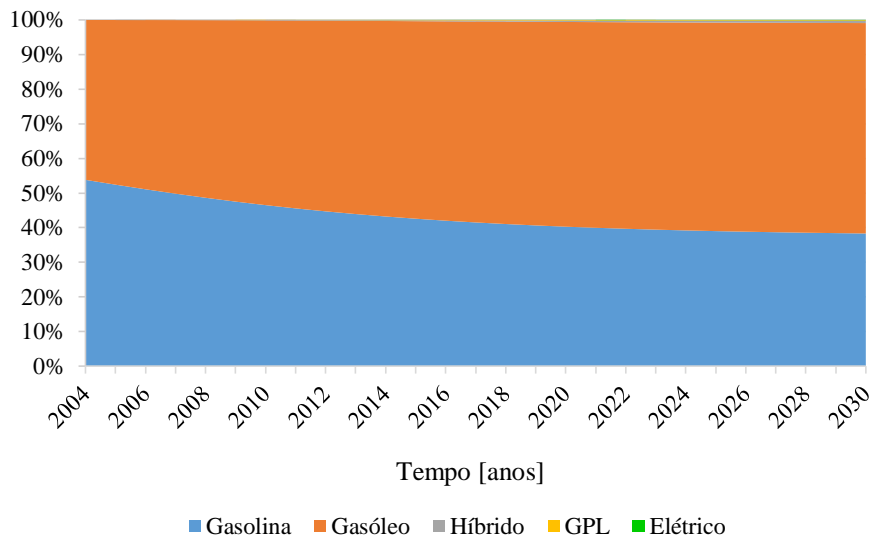


Figura do Apêndice 2.11 – Evolução dos veículos ligeiros para a ilha da Madeira, cenário BAU

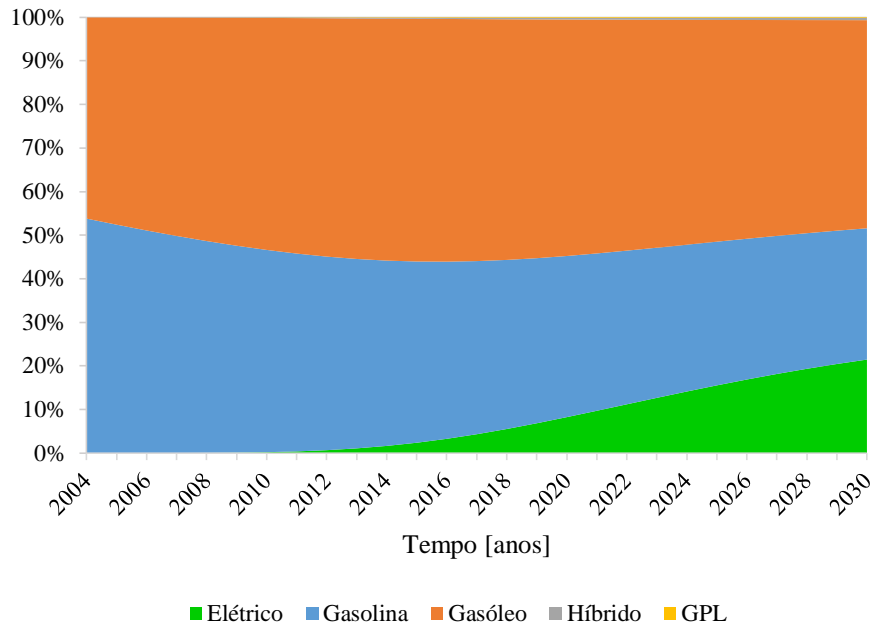


Figura do Apêndice 2.12 – Evolução dos veículos leves com penetração de veículos elétricos, cenário otimista

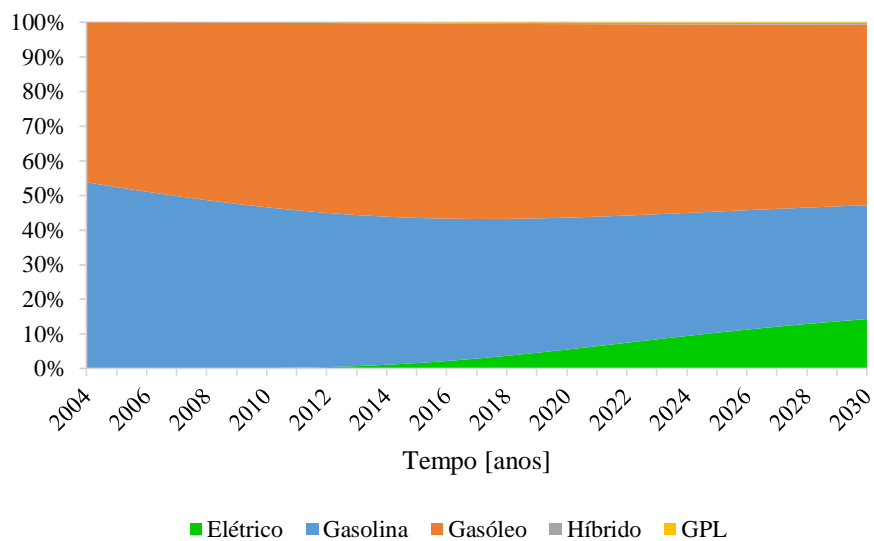


Figura do Apêndice 2.13 – Evolução dos veículos leves com penetração de veículos elétricos, cenário de referência

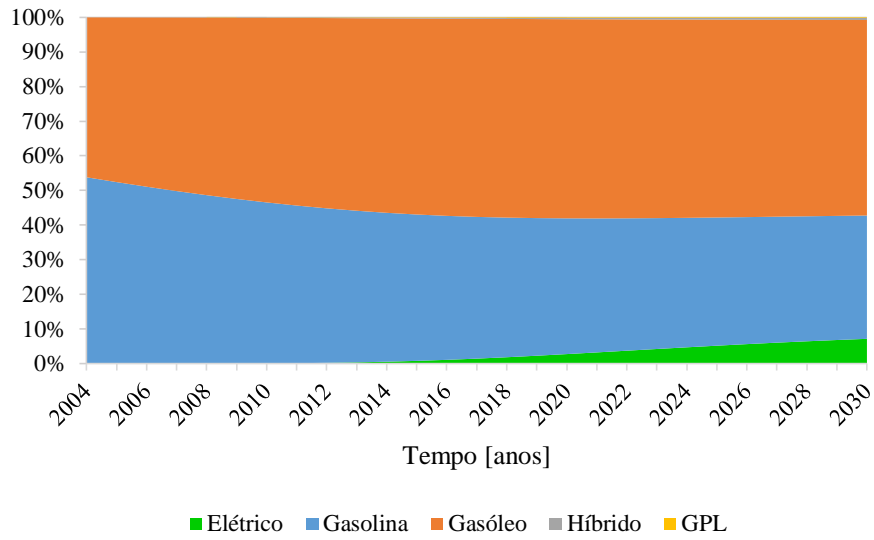


Figura do Apêndice 2.14 – Evolução dos veículos leves com penetração de veículos elétricos, cenário pessimista

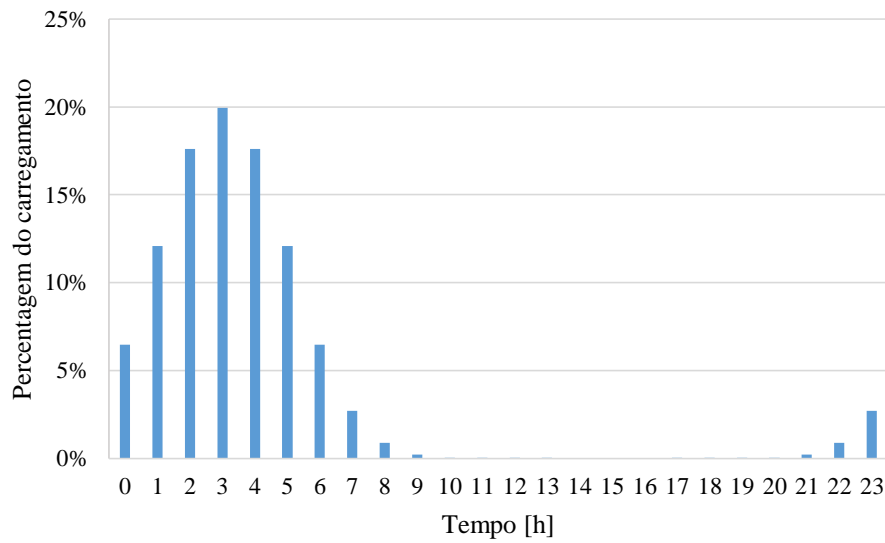


Figura do Apêndice 2.15 – Perfil de carregamento no vazio para os veículos elétricos

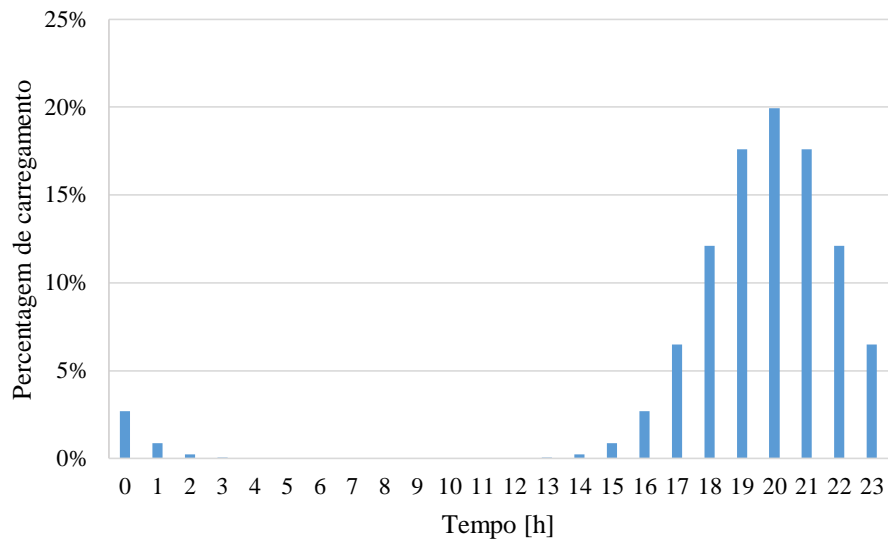


Figura do Apêndice 2.16 – Perfil de carregamento não controlado para os veículos elétricos

2.3. Setor Elétrico

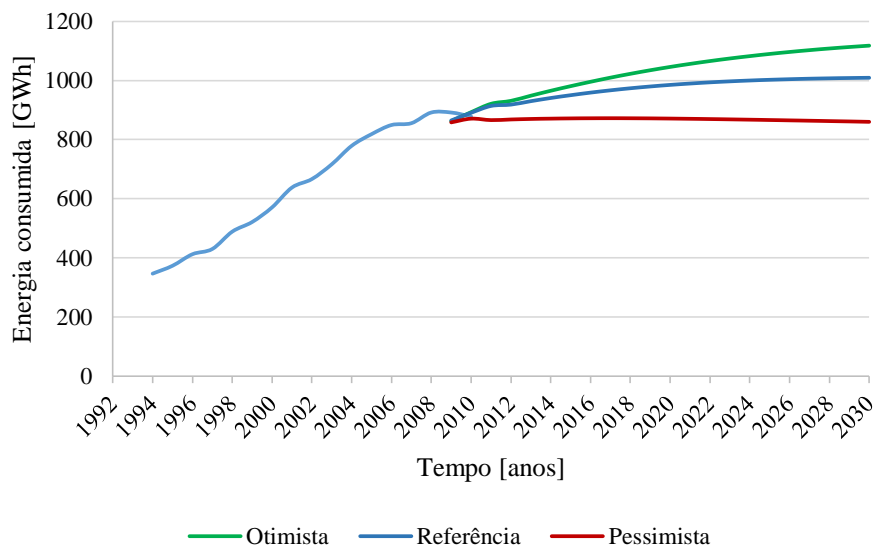


Figura do Apêndice 2.17 – Evolução do consumo de energia para a ilha da Madeira até 2030 para os vários cenários

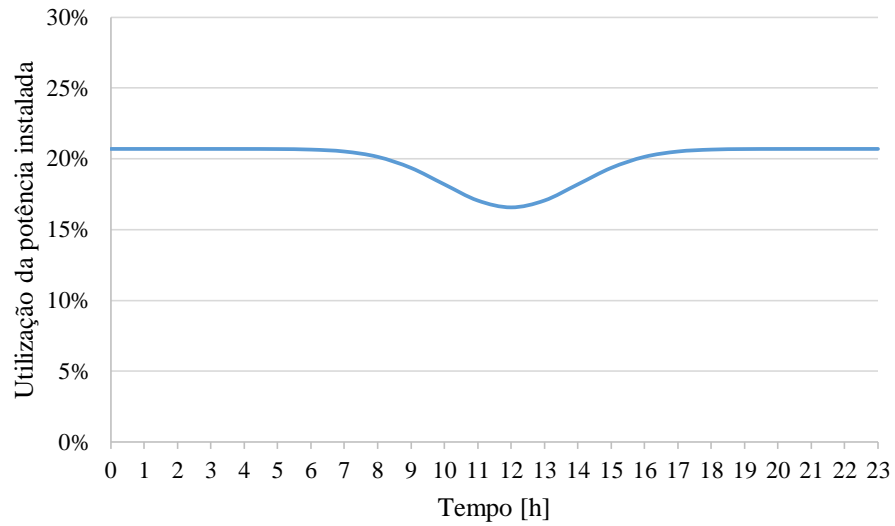


Figura do Apêndice 2.18 – Perfil de produção de energia eólica para a ilha da Madeira

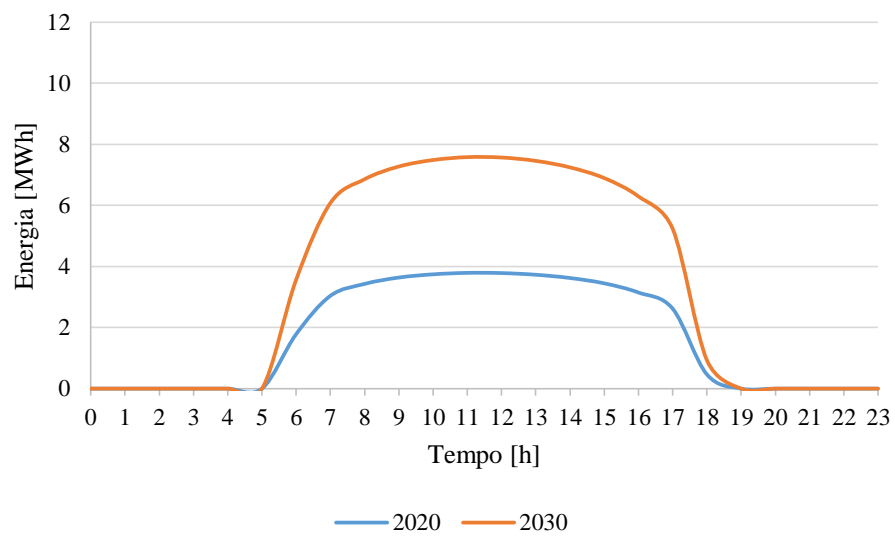


Figura do Apêndice 2.19 – Perfil de produção de energia fotovoltaica na ilha da Madeira para os anos 2020 e 2030, referente à Primavera

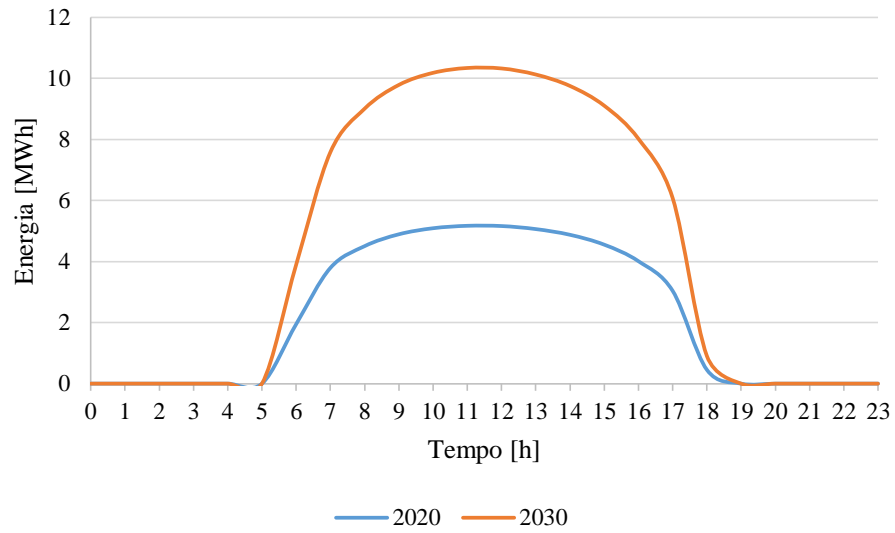


Figura do Apêndice 2.20 – Perfil de produção de energia fotovoltaica na ilha da Madeira para os anos 2020 e 2030, referente ao Verão

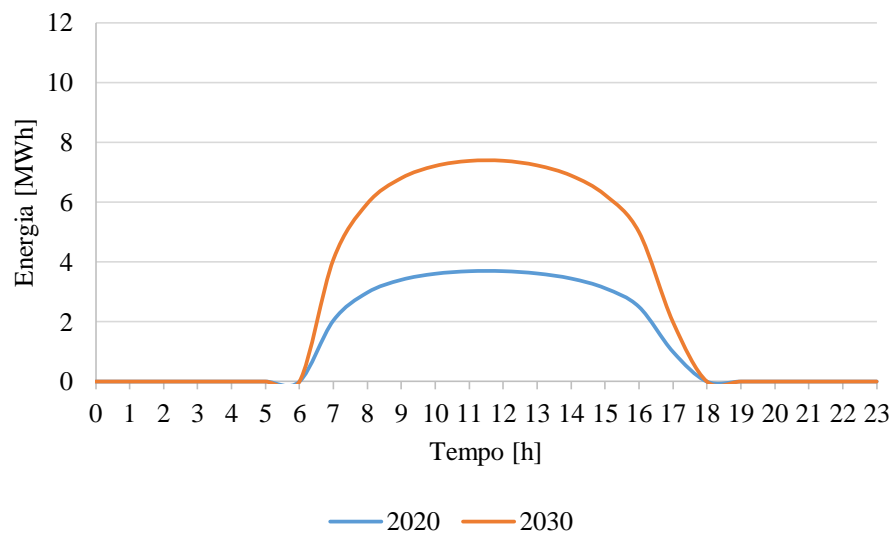


Figura do Apêndice 2.21 – Perfil de produção de energia fotovoltaica na ilha da Madeira para os anos 2020 e 2030, referente ao Outono

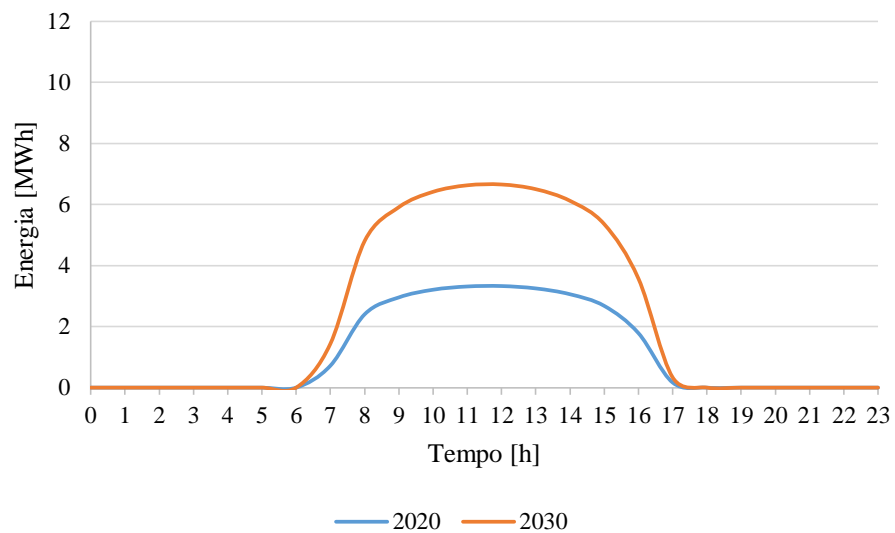


Figura do Apêndice 2.22 – Perfil de produção de energia fotovoltaica na ilha da Madeira para os anos 2020 e 2030, referente ao Inverno

Apêndice 3 – Custos Nivelados

Tabela do Apêndice 3.1 – Dados para o cálculo do custo nivelado para a energia eólica

| Eólica | | | |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ano | 2010 | 2020 | 2030 |
| I_{0i} [€/MW] | 1.308.000,00 | 1.189.000,00 | 1.128.000,00 |
| i | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| n [anos] | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| dom [€/MWh] | 11,90 | 10,90 | 10,30 |
| f_c | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| P_i [MW] | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| h_u [h] | 1.813,32 | 1.813,32 | 1.813,32 |
| k_a | 10,67 | 10,67 | 10,67 |
| I_t [€] | 1.308.000,00 | 1.189.000,00 | 1.128.000,00 |
| E [MWh] | 1.813,32 | 1.813,32 | 1.813,32 |
| I_a [€] | 122.531,84 | 111.384,07 | 105.669,66 |
| OM_a [€] | 21.578,51 | 19.765,19 | 18.677,20 |
| C_a [€/MWh] | 79,47 | 72,33 | 68,57 |

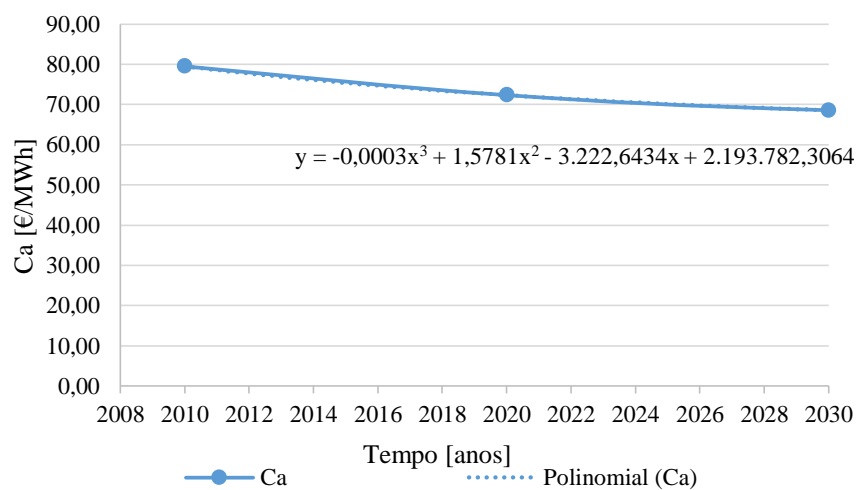


Figura do Apêndice 3.1 – Custo unitário da energia eólica para os anos 2010, 2020 e 2030

Tabela do Apêndice 3.2 – Dados para o cálculo do custo nivelado para a energia fotovoltaica

| Eólica | | | |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ano | 2010 | 2020 | 2030 |
| I₀₁ [€/MW] | 3.485.000,00 | 1.974.000,00 | 1.392.000,00 |
| i | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| n [anos] | 25,00 | 25,00 | 25,00 |
| dom [€/MWh] | 15,90 | 9,00 | 6,40 |
| f_c | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| P_i [MW] | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| h_u [h] | 1.470,00 | 1.470,00 | 1.470,00 |
| k_a | 10,67 | 10,67 | 10,67 |
| I_t [€] | 3.485.000,00 | 1.974.000,00 | 1.392.000,00 |
| E [MWh] | 1.470,00 | 1.470,00 | 1.470,00 |
| I_a [€] | 326.470,54 | 184.921,91 | 130.400,86 |
| OM_a [€] | 23.373,00 | 13.230,00 | 9.408,00 |
| C_a [€/MWh] | 237,99 | 134,80 | 95,11 |

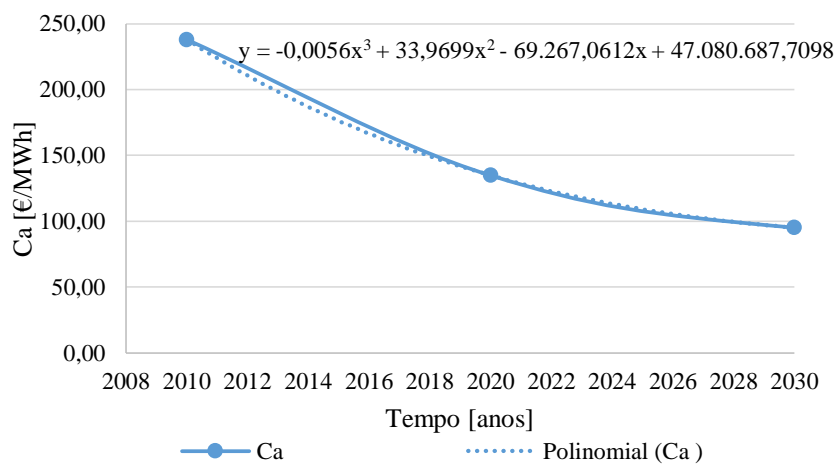


Figura do Apêndice 3.2 – Custo unitário da energia fotovoltaica para os anos 2010, 2020 e 2030

Tabela do Apêndice 3.3 – Dados para o cálculo do custo nivelado para a energia mini-hídrica

| Mini-Hídrica | | | |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ano | 2010 | 2020 | 2030 |
| I₀₁ [€/MW] | 3.345.000,00 | 3.291.000,00 | 3.259.000,00 |
| i | 0,08 | 0,08 | 0,08 |
| n [anos] | 80,00 | 80,00 | 80,00 |
| dom [€/MWh] | 17,00 | 16,70 | 16,50 |

| | | | |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| f_c | 0,17 | 0,17 | 0,17 |
| P_i [MW] | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| h_u [h] | 1.513,73 | 1.513,73 | 1.513,73 |
| k_a | 12,47 | 12,47 | 12,47 |
| I_t [€] | 3.345.000,00 | 3.291.000,00 | 3.259.000,00 |
| E [MWh] | 1.513,73 | 1.513,73 | 1.513,73 |
| I_a [€] | 268.168,21 | 263.839,03 | 261.273,60 |
| OM_a [€] | 25.733,38 | 25.279,26 | 24.976,51 |
| C_a [€/MWh] | 194,16 | 191,00 | 189,10 |

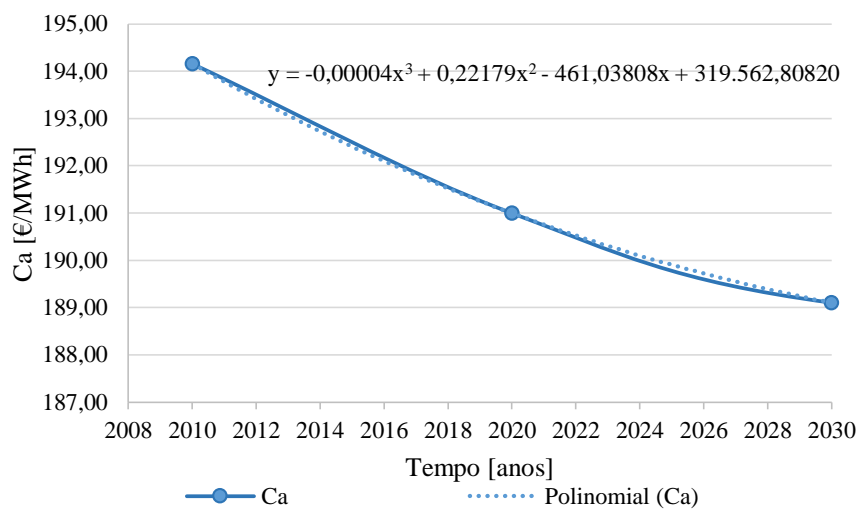


Figura do Apêndice 3.3 – Custo unitário da energia mini-hídrica para os anos 2010, 2020 e 2030

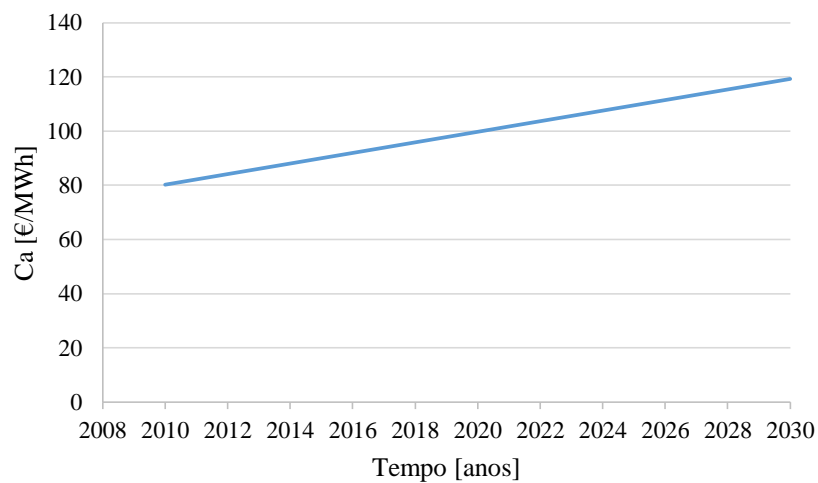


Figura do Apêndice 3.4 – Evolução do custo nivelado para as centrais de valorização energética até 2030

Tabela do Apêndice 3.4 – Custo nivelado para as energias renováveis de 2008 a 2030

| Ano | Eólica [€/MWh] | Fotovoltaica [€/MWh] | Mini- Hídrica [€/MWh] | RSU [€/MWh] |
|-------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| 2008 | 81,45 | 269,18 | 194,96 | 76,314 |
| 2009 | 80,43 | 253,08 | 194,55 | 78,266 |
| 2010 | 79,47 | 237,99 | 194,16 | 80,218 |
| 2011 | 78,56 | 223,86 | 193,78 | 82,17 |
| 2012 | 77,70 | 210,67 | 193,41 | 84,122 |
| 2013 | 76,88 | 198,38 | 193,06 | 86,074 |
| 2014 | 76,11 | 186,96 | 192,73 | 88,026 |
| 2015 | 75,38 | 176,37 | 192,41 | 89,978 |
| 2016 | 74,69 | 166,59 | 192,10 | 91,93 |
| 2017 | 74,04 | 157,57 | 191,80 | 93,882 |
| 2018 | 73,43 | 149,29 | 191,52 | 95,834 |
| 2019 | 72,86 | 141,71 | 191,25 | 97,786 |
| 2020 | 72,33 | 134,80 | 191,00 | 99,738 |
| 2021 | 71,82 | 128,52 | 190,75 | 101,69 |
| 2022 | 71,35 | 122,85 | 190,52 | 103,642 |
| 2023 | 70,91 | 117,74 | 190,31 | 105,594 |
| 2024 | 70,50 | 113,17 | 190,10 | 107,546 |
| 2025 | 70,12 | 109,10 | 189,91 | 109,498 |
| 2026 | 69,77 | 105,50 | 189,72 | 111,45 |
| 2027 | 69,43 | 102,33 | 189,55 | 113,402 |
| 2028 | 69,13 | 99,57 | 189,39 | 115,354 |
| 2029 | 68,84 | 97,17 | 189,24 | 117,306 |
| 2030 | 68,57 | 95,11 | 189,10 | 119,258 |

Apêndice 4 – Casos de Estudo

Caso 1:

Cenário BAU para 2013.

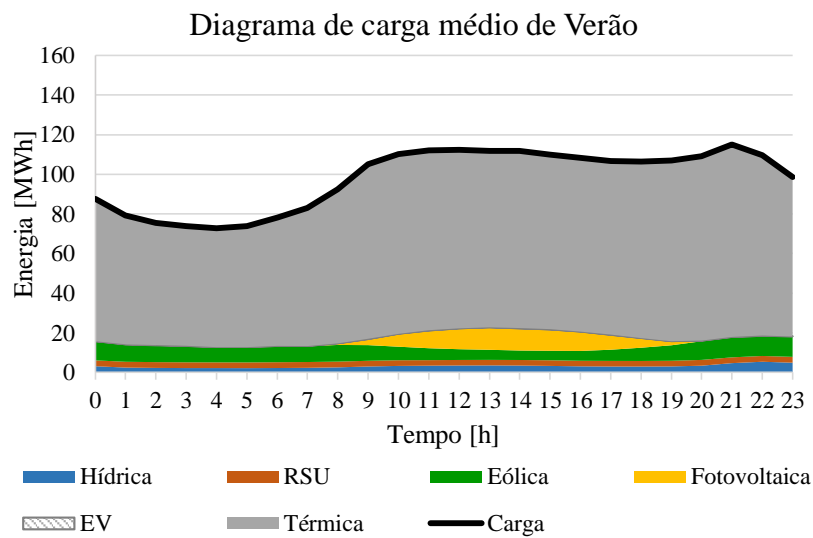
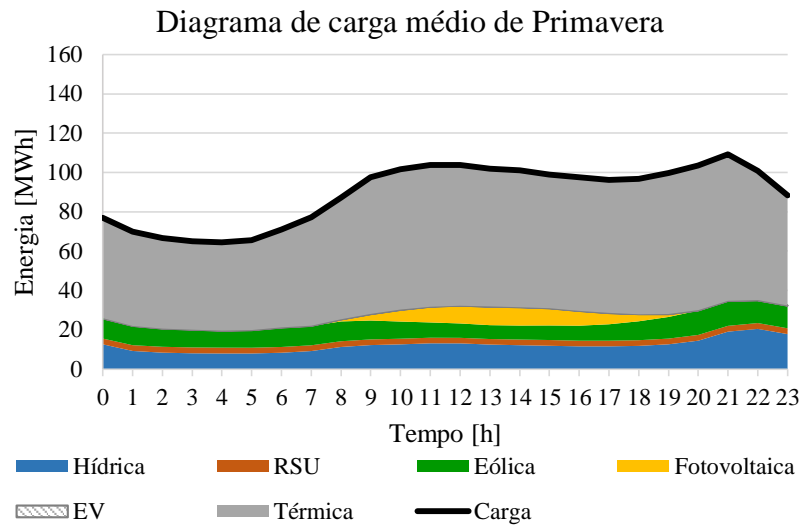


Diagrama de carga médio de Outono

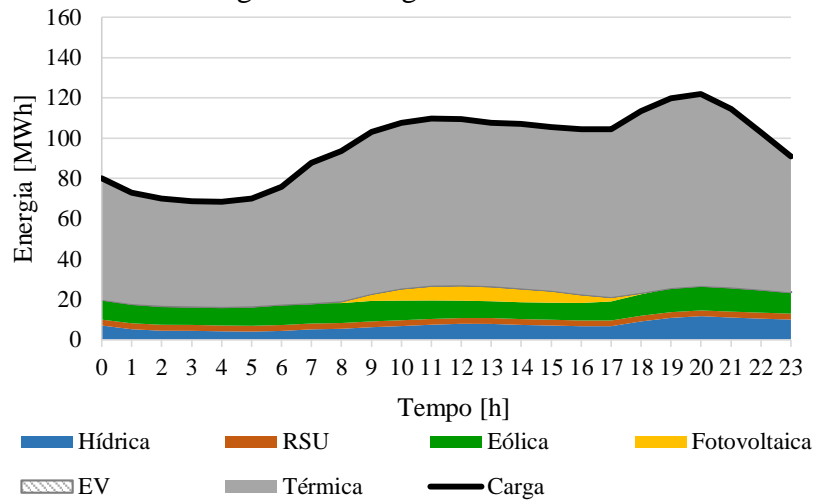
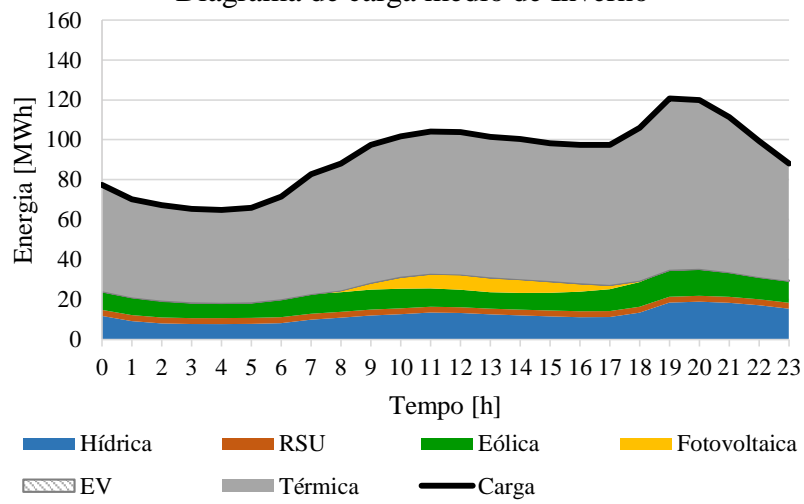
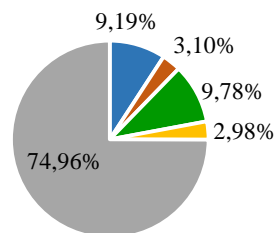


Diagrama de carga médio de Inverno

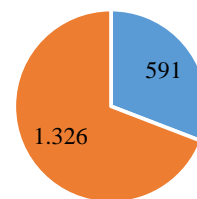


Mix da Produção



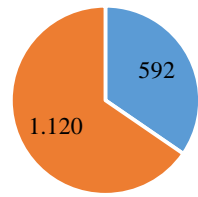
■ Hídrica ■ RSU ■ Eólica ■ Fotovoltaica ■ Térmica

Energia Primária [GWh]



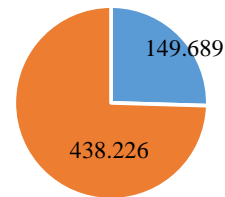
■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Consumo de Combustíveis [GWh]



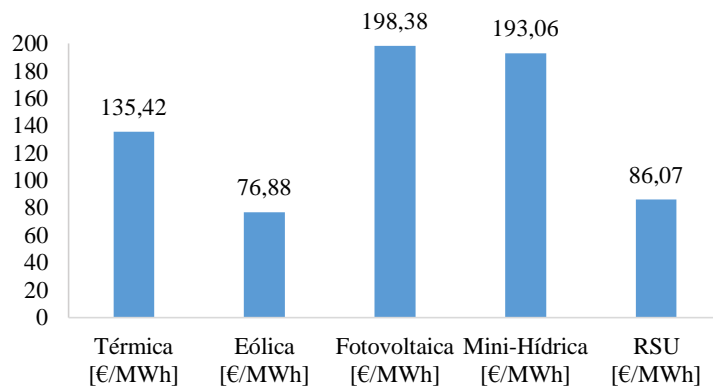
■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Emissões [ton CO2]



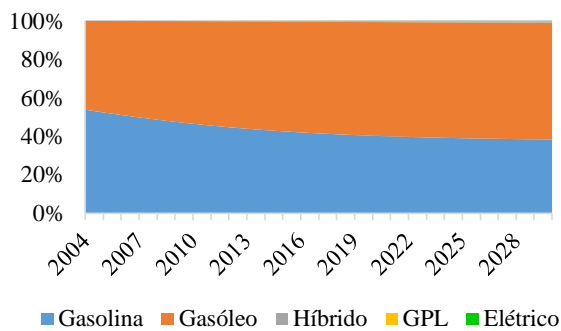
■ Setor Automóvel ■ Setor Elétrico

Custo da Energia Elétrica



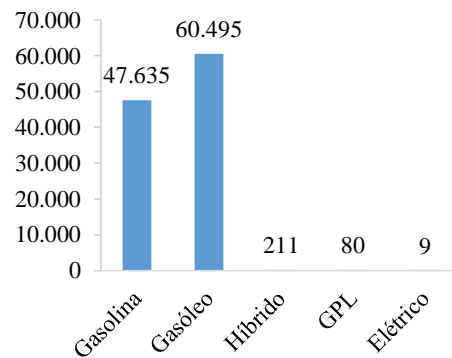
Térmica [€/MWh] Eólica [€/MWh] Fotovoltaica [€/MWh] Mini-Hídrica [€/MWh] RSU [€/MWh]

Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros

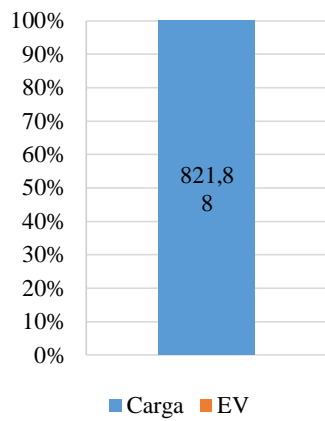


■ Gasolina ■ Gasóleo ■ Híbrido ■ GPL ■ Elétrico

Número de Veículos Ligeiros



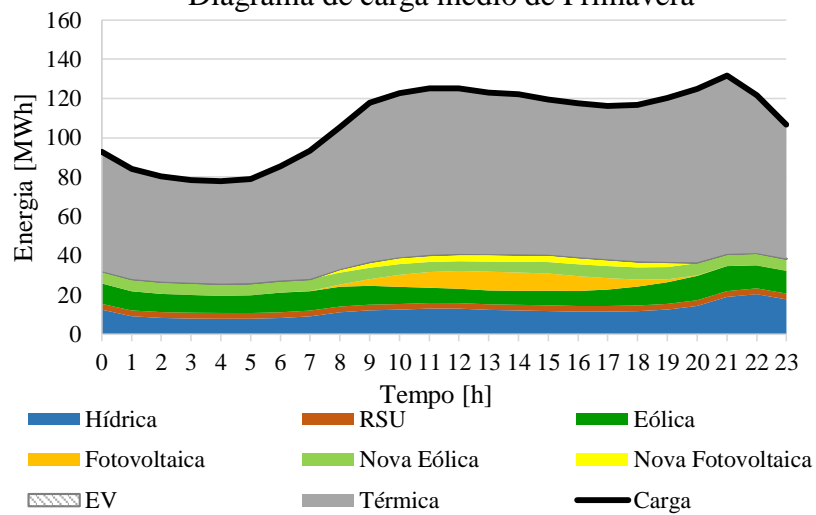
Peso dos EV's no Diagrama de Carga

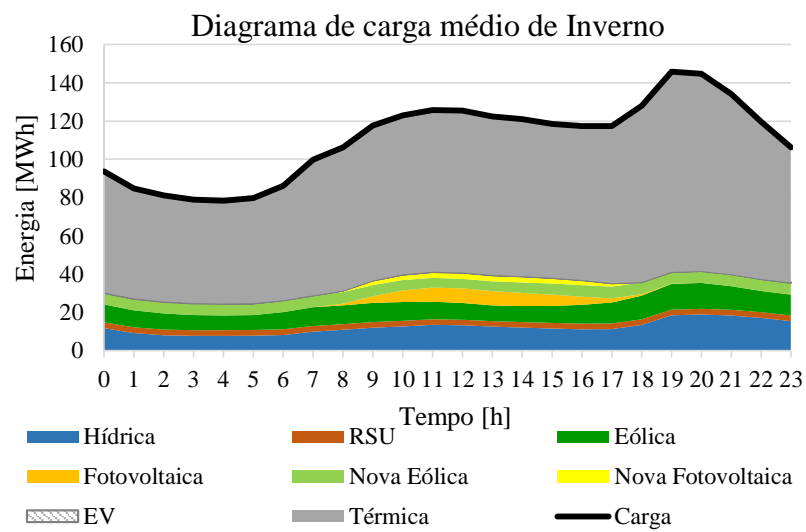
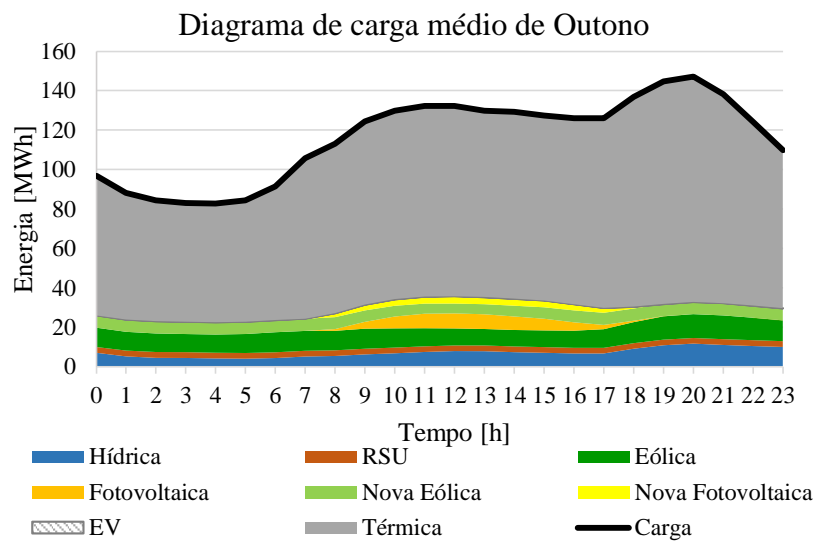
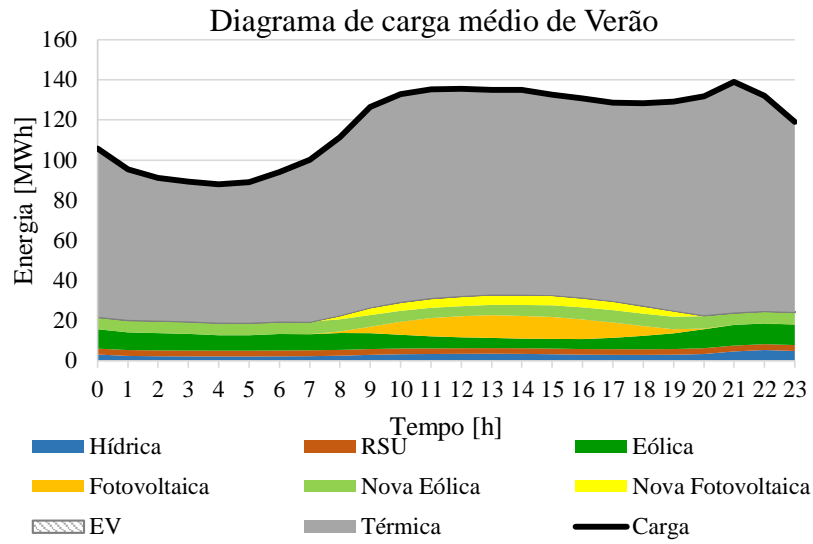


Caso 2:

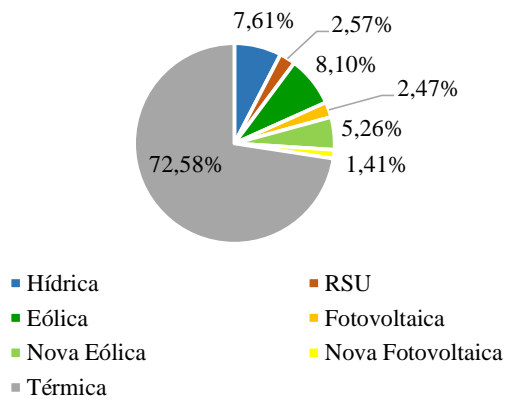
Cenário BAU para 2020, aumento de 30 MW de energia eólica e 10 MW de fotovoltaica, cenário de referência para o aumento do consumo de energia elétrica.

Diagrama de carga médio de Primavera

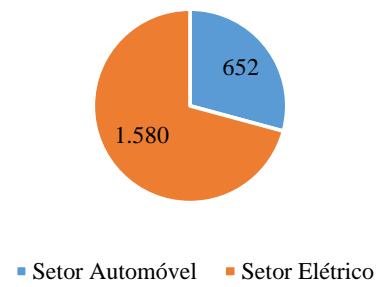




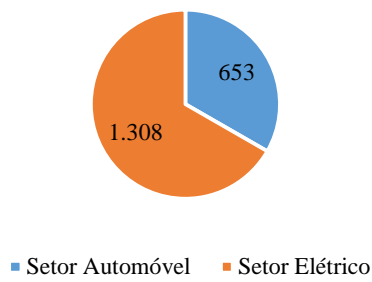
Mix da Produção



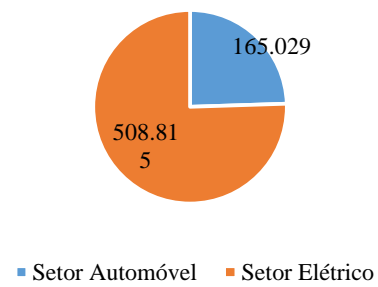
Energia Primária [GWh]



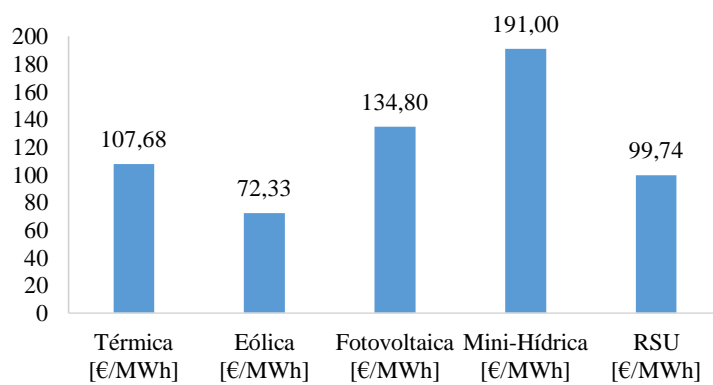
Consumo de Combustíveis [GWh]

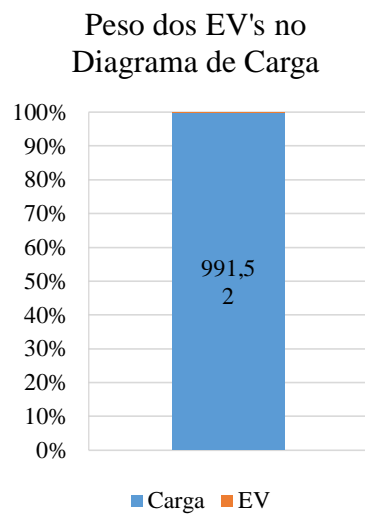
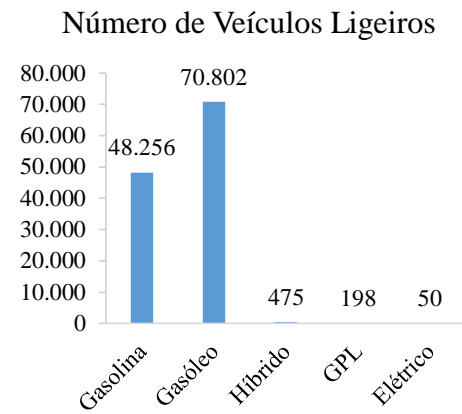
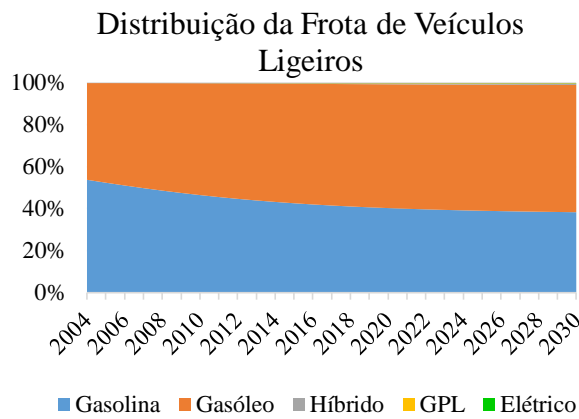


Emissões [ton CO2]



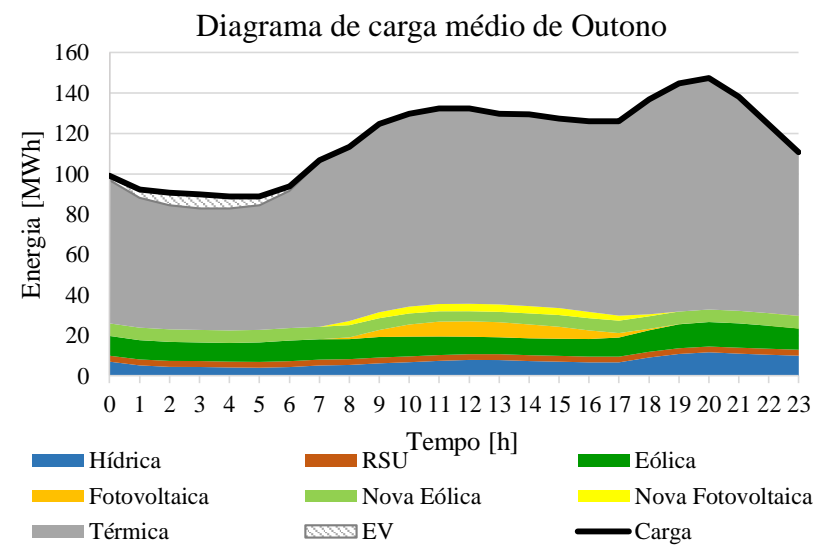
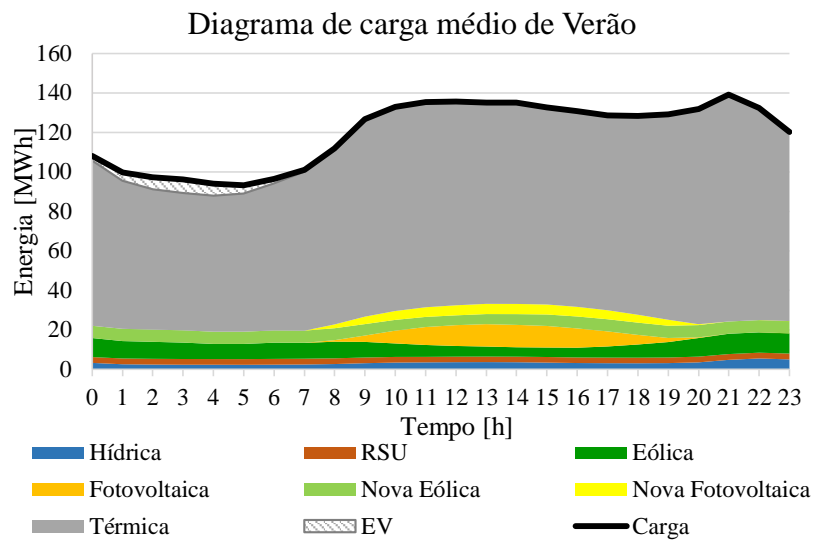
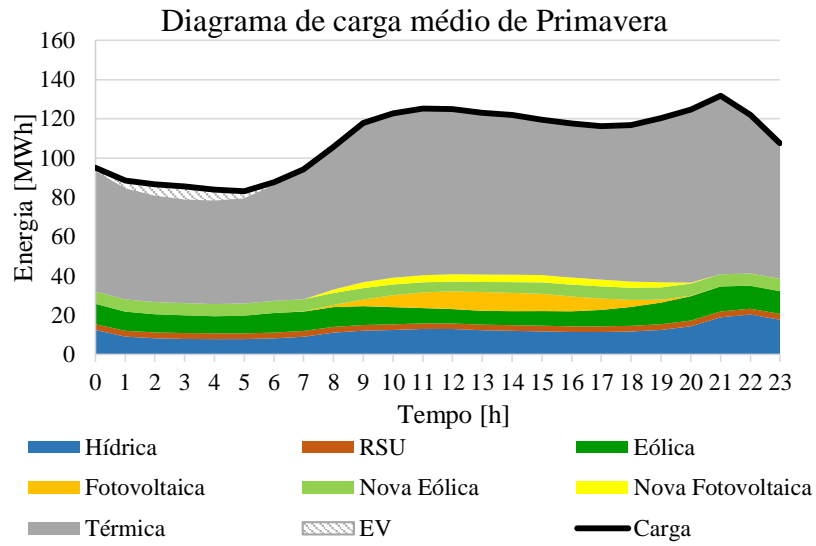
Custo da Energia Elétrica

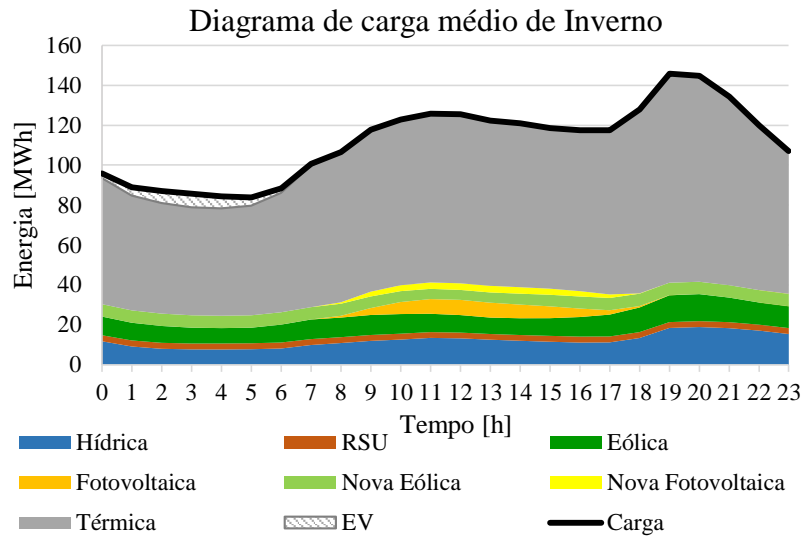




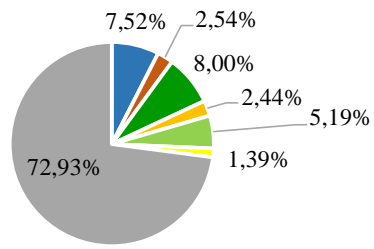
Caso 3:

Cenário de referência para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2020.



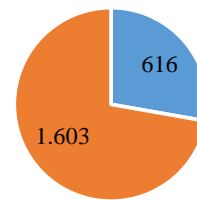


Mix da Produção



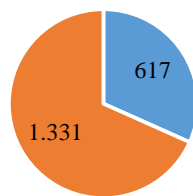
- Hídrica
- Eólica
- Nova Eólica
- Térmica
- RSU
- Fotovoltaica
- Nova Fotovoltaica

Energia Primária [GWh]



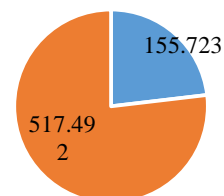
- Setor Automóvel
- Setor Elétrico

Consumo de Combustíveis [GWh]



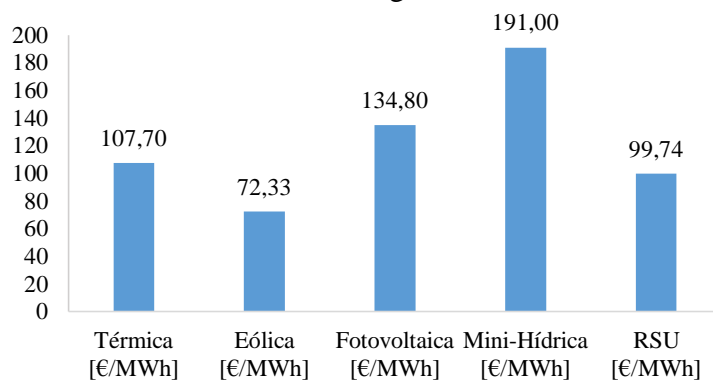
- Setor Automóvel
- Setor Elétrico

Emissões [ton CO2]

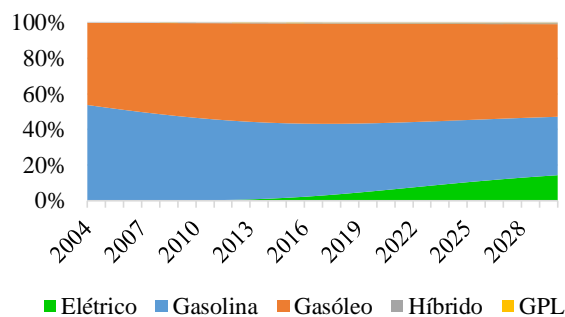


- Setor Automóvel
- Setor Elétrico

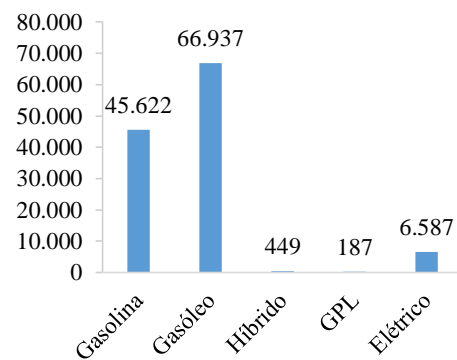
Custo da Energia Elétrica



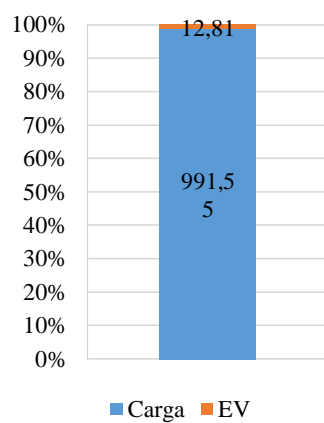
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros



Peso dos EV's no Diagrama de Carga



Caso 4:

Cenário de referência para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento não controlado, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2020.

Diagrama de carga médio de Primavera

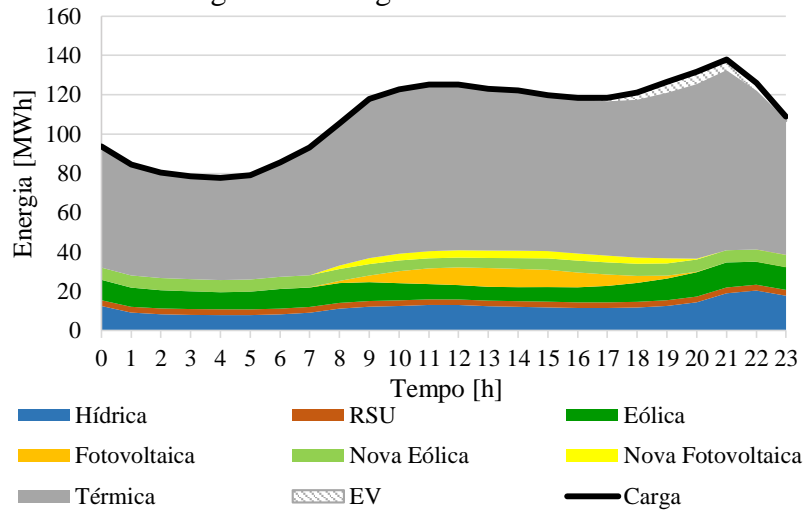


Diagrama de carga médio de Verão

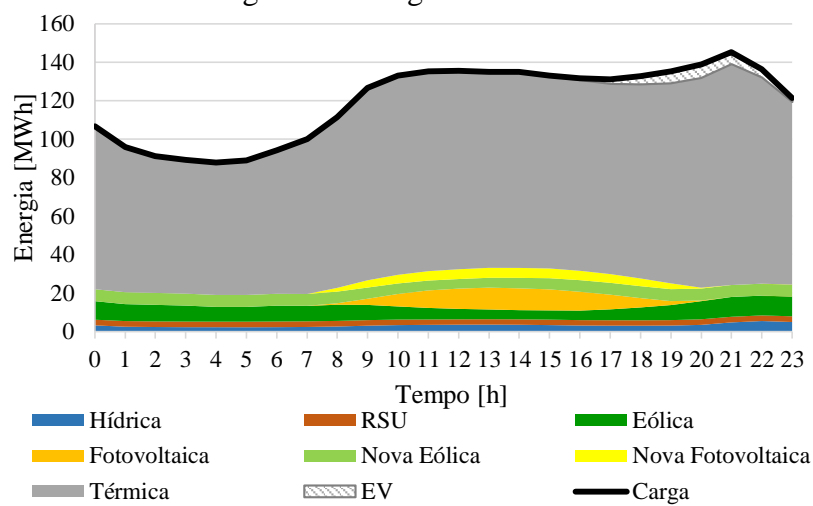


Diagrama de carga médio de Outono

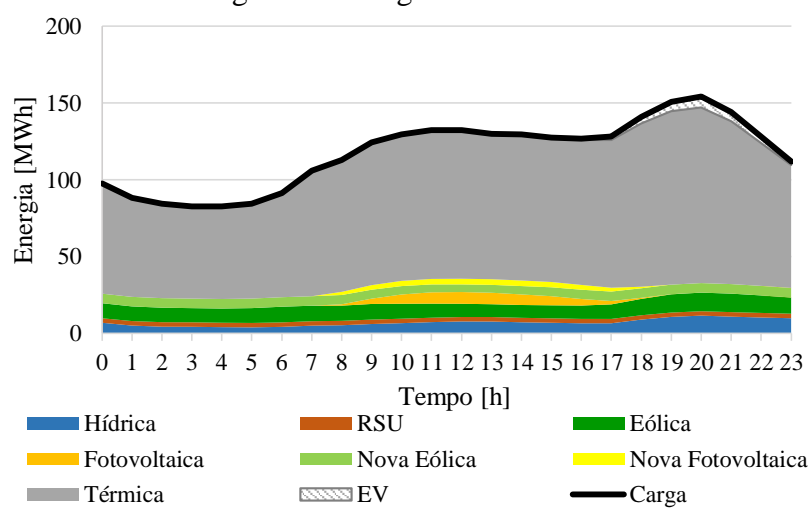
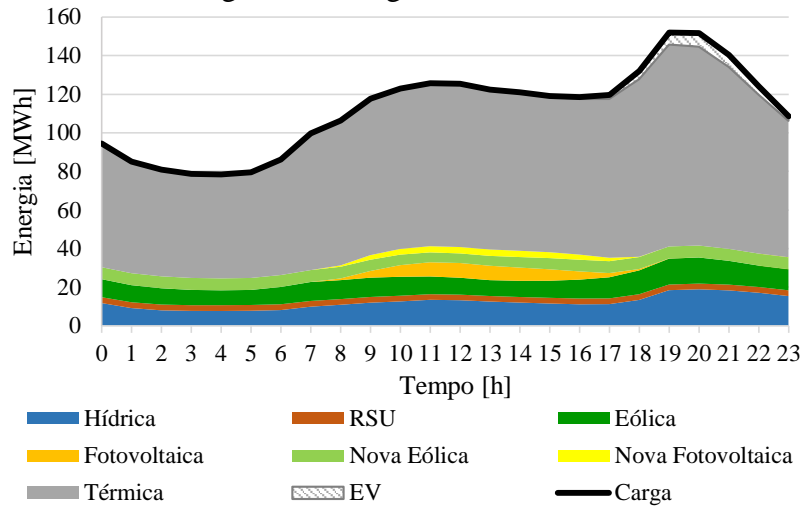
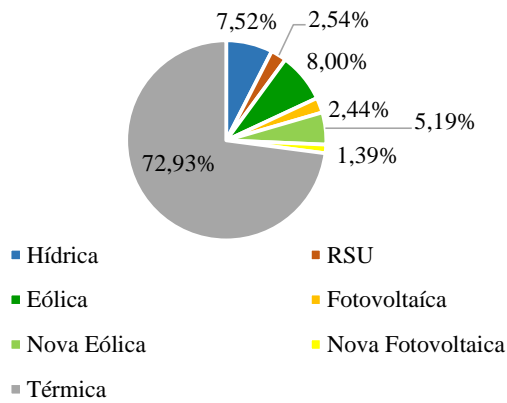


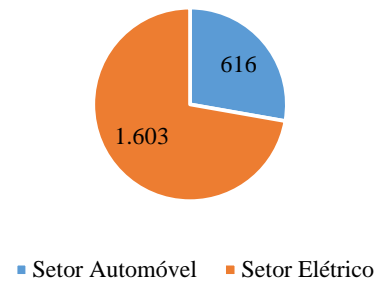
Diagrama de carga médio de Inverno



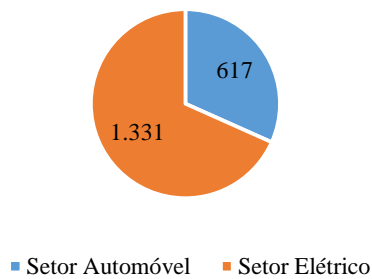
Mix da Produção



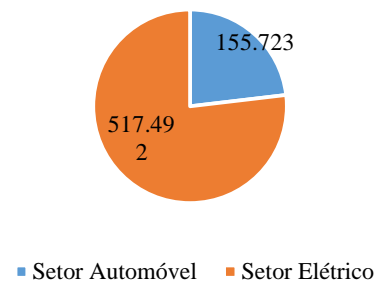
Energia Primária [GWh]



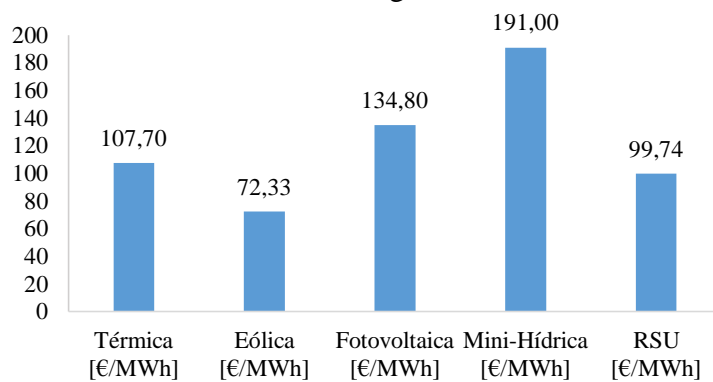
Consumo de Combustíveis [GWh]



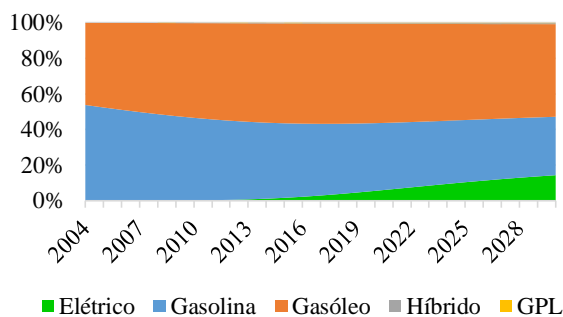
Emissões [ton CO2]



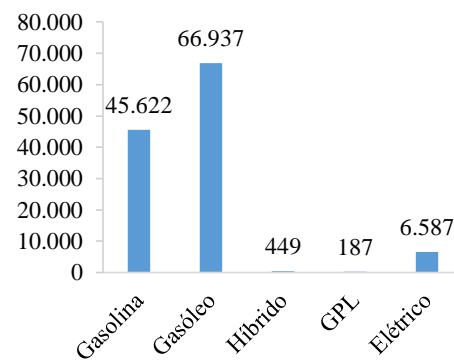
Custo da Energia Elétrica



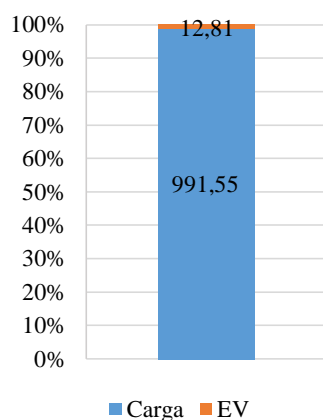
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

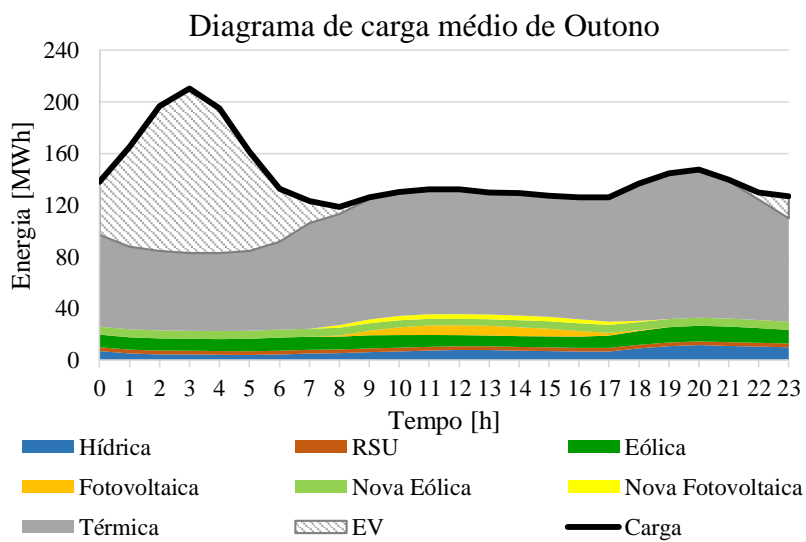
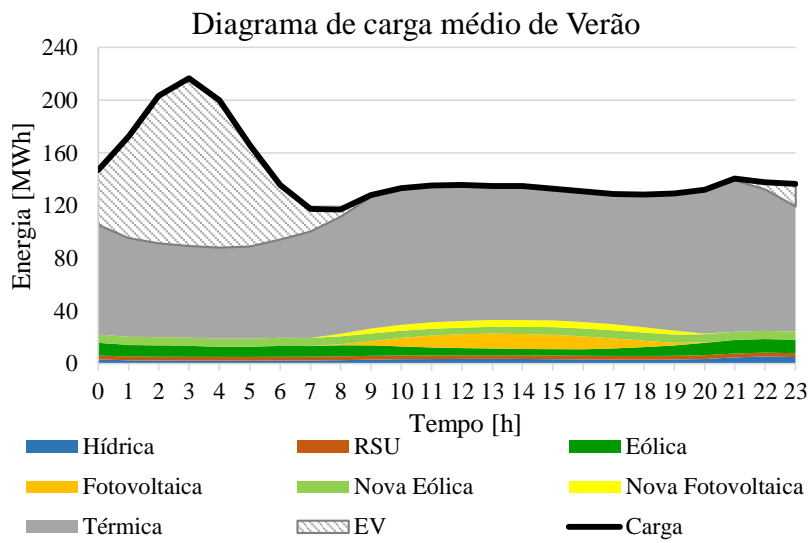
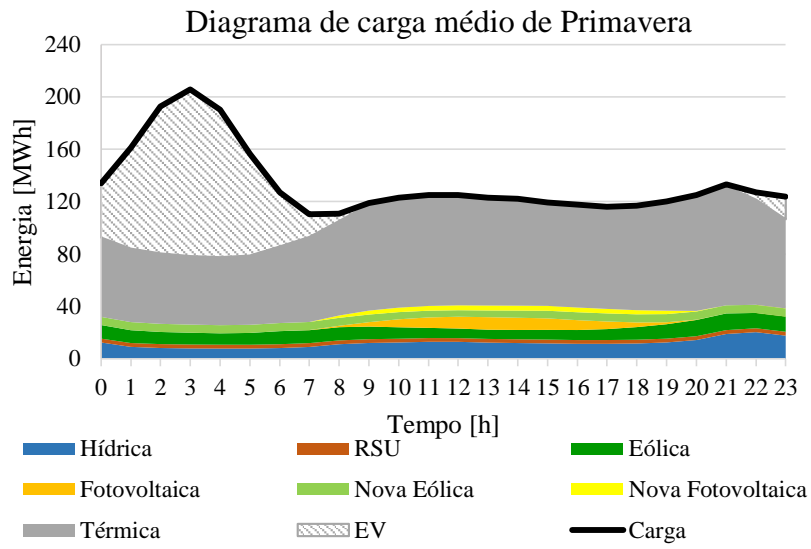


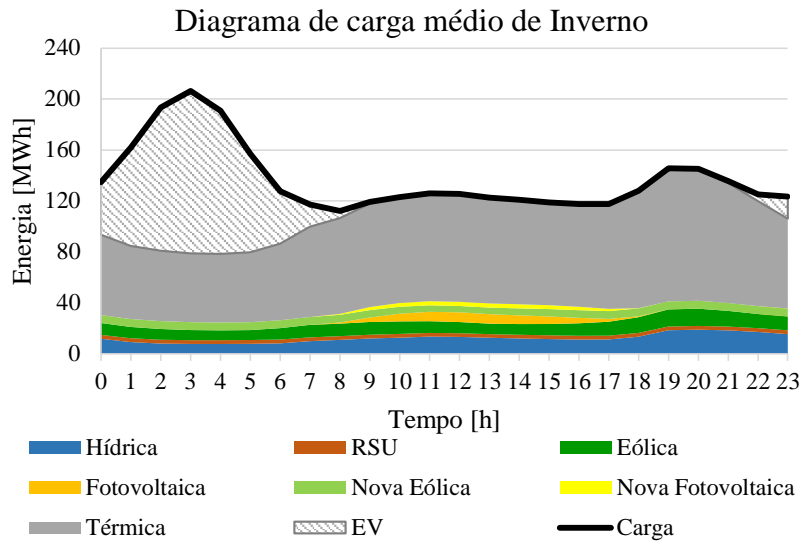
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



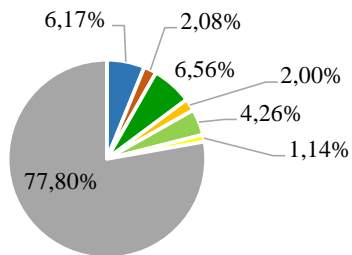
Caso 5:

Cenário de referência para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e 100 % de penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2020.

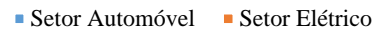
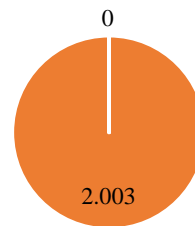




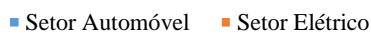
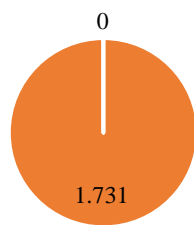
Mix da Produção



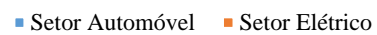
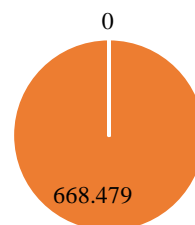
Energia Primária [GWh]

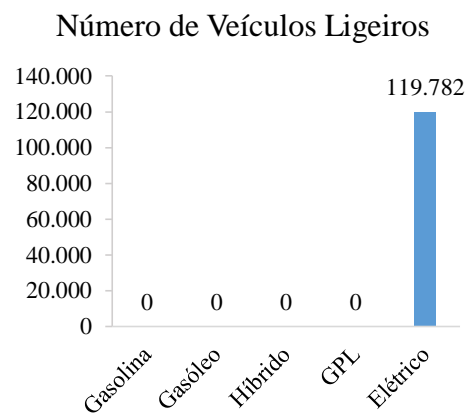
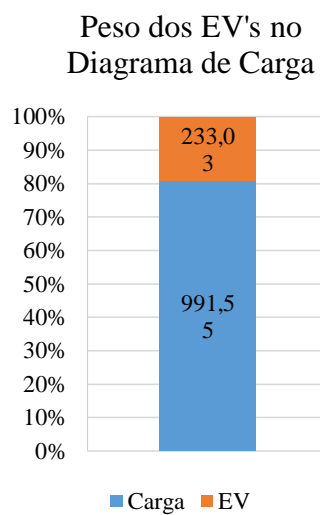
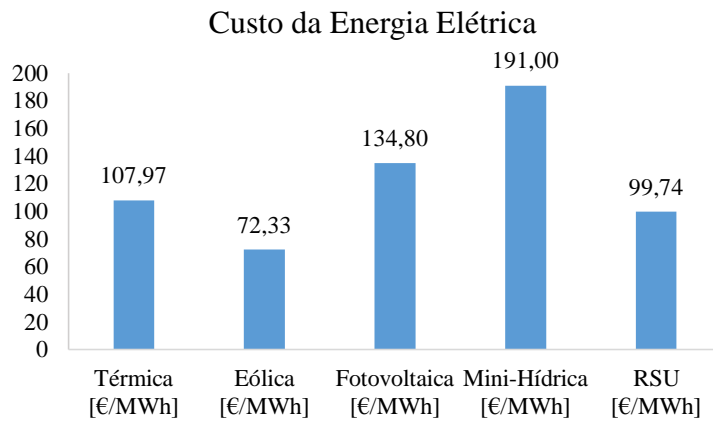


Consumo de Combustíveis [GWh]



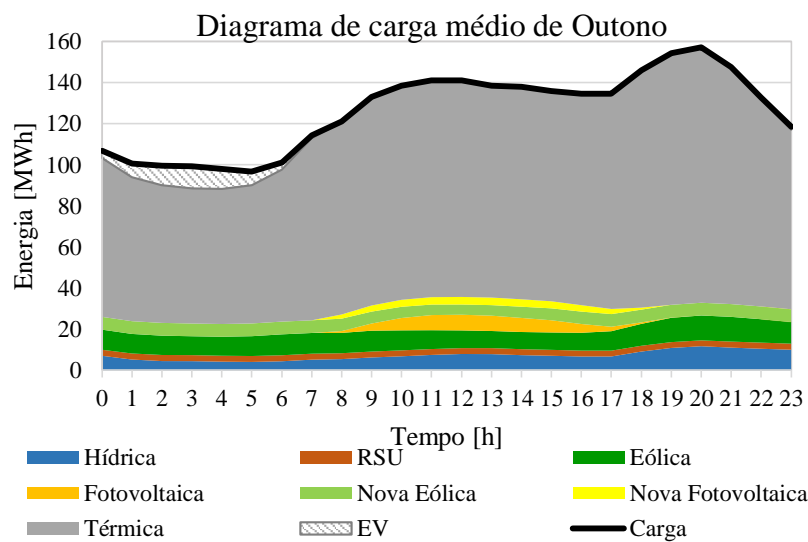
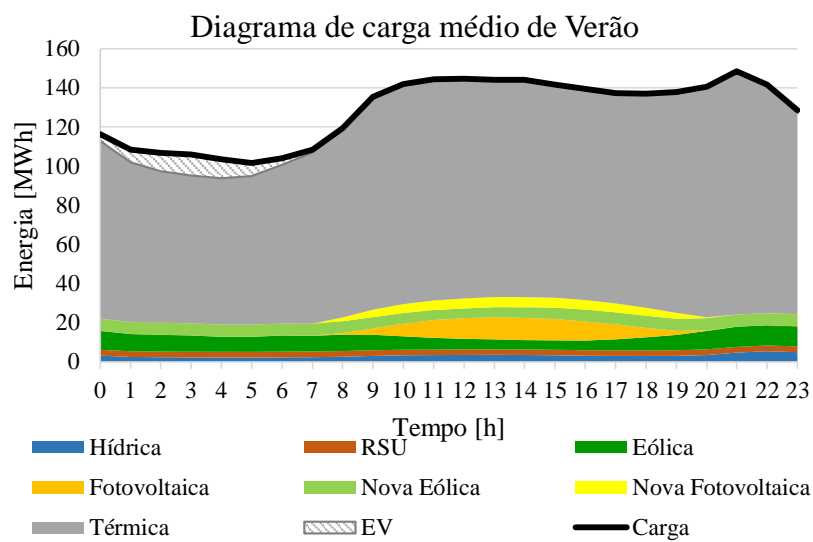
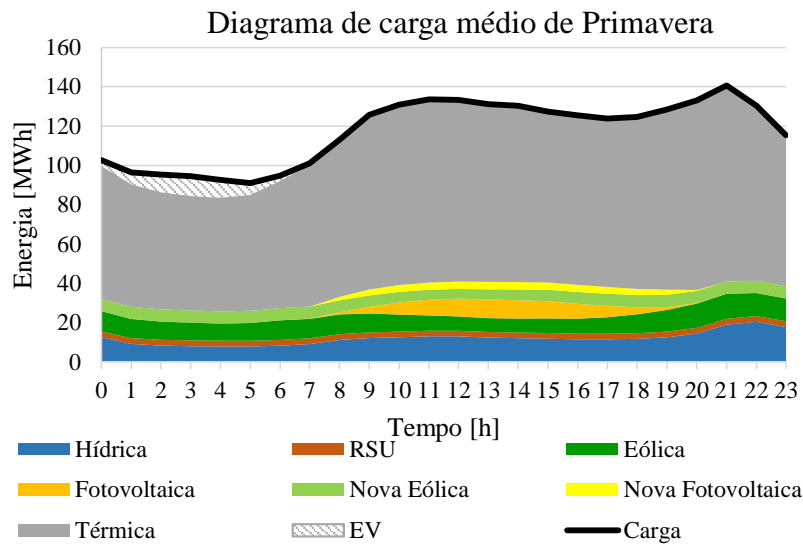
Emissões [ton CO2]

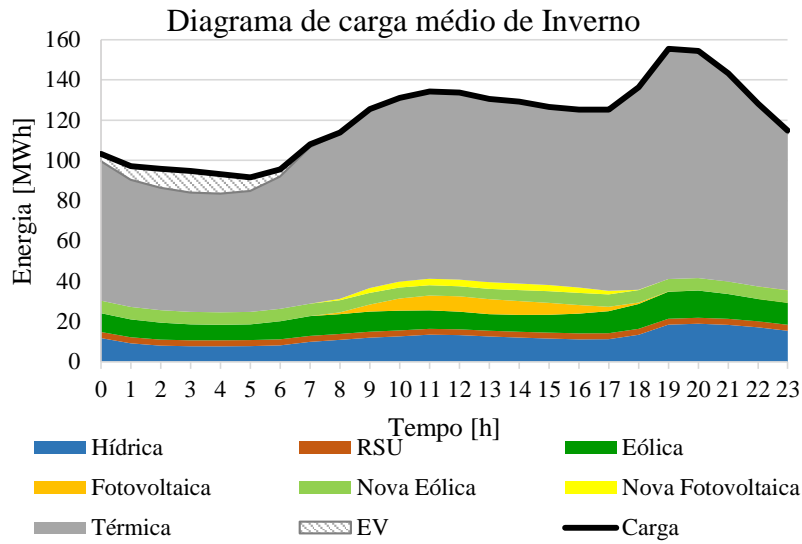




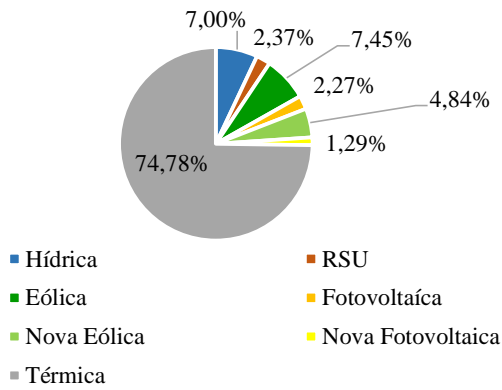
Caso 6:

Cenário otimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2020.

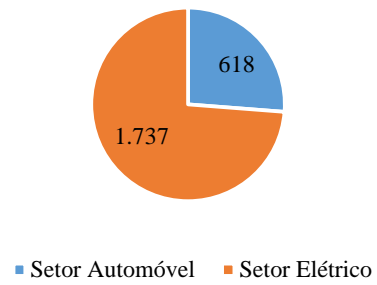




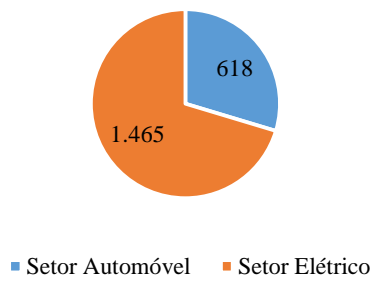
Mix da Produção



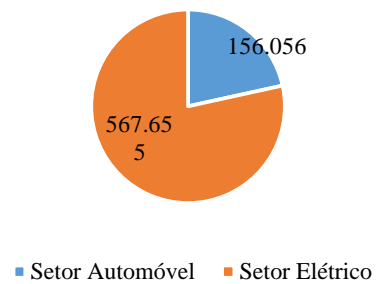
Energia Primária [GWh]



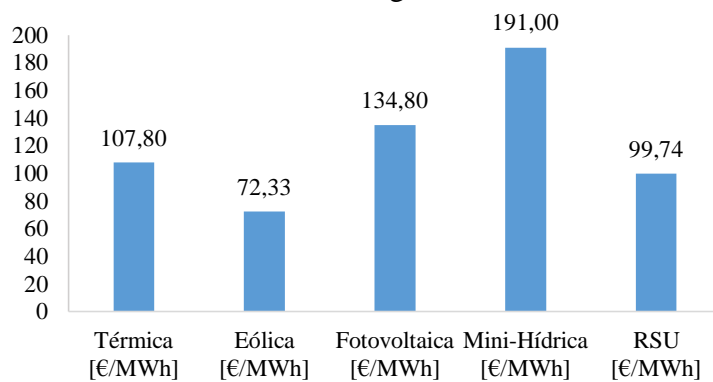
Consumo de Combustíveis [GWh]



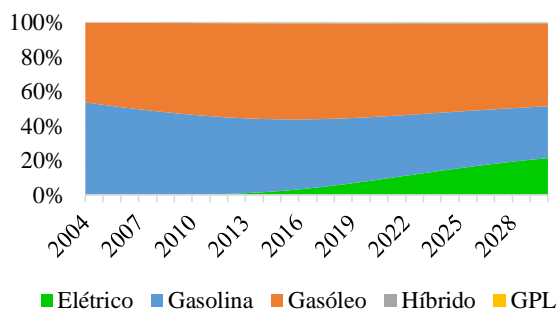
Emissões [ton CO2]



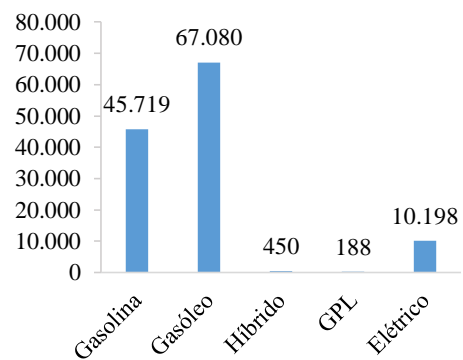
Custo da Energia Elétrica



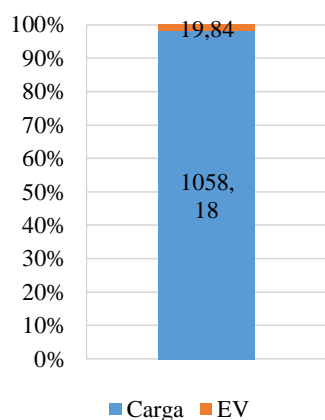
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

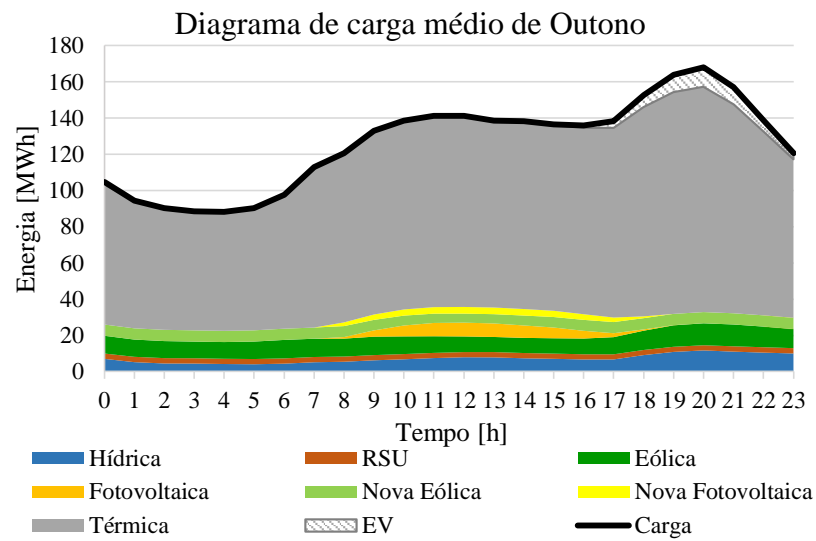
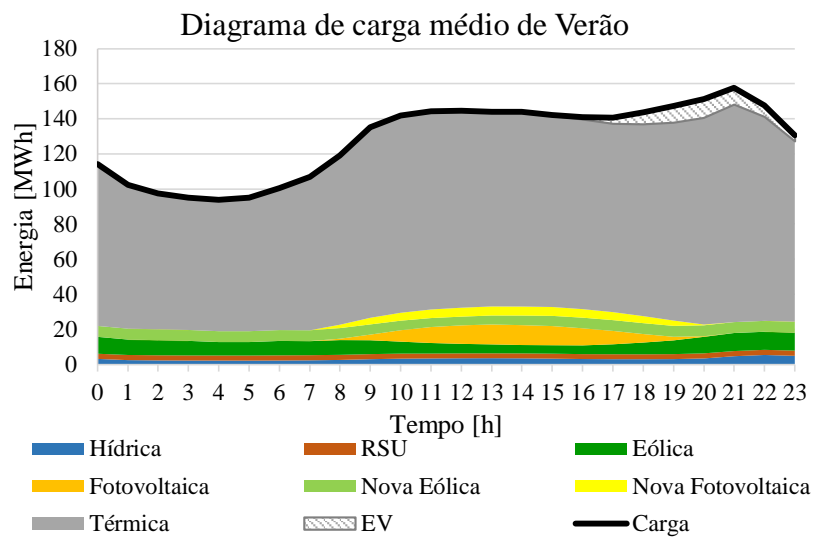
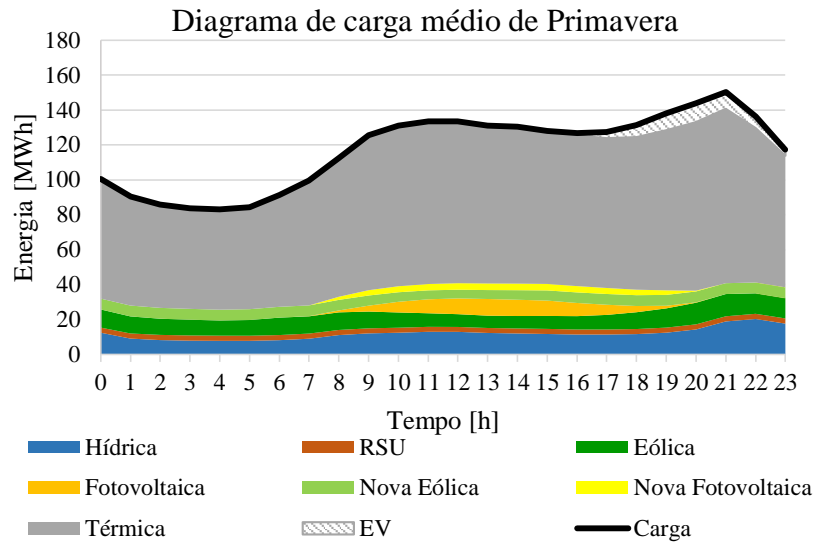


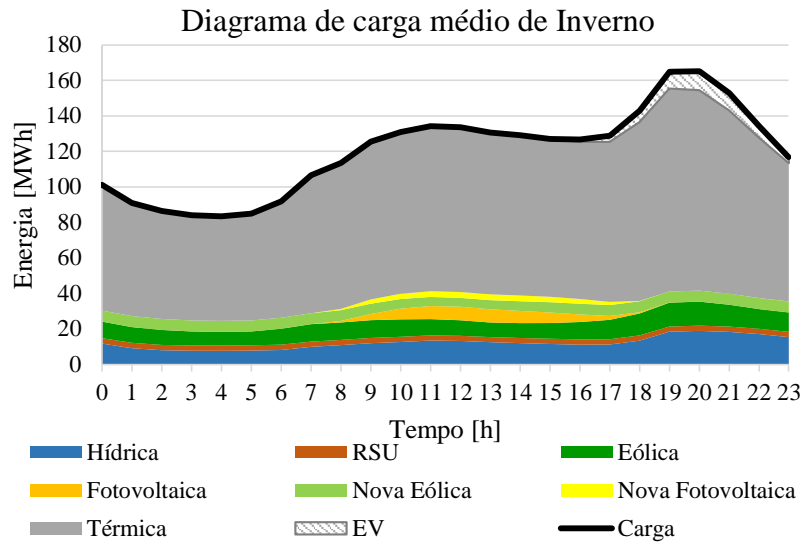
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



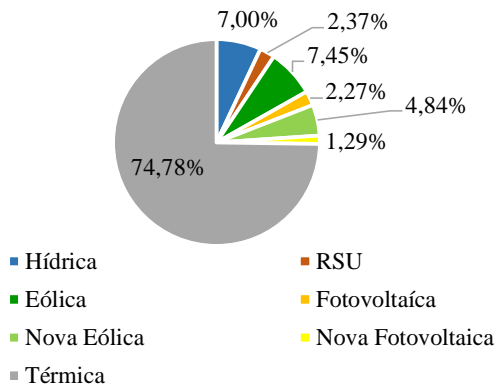
Caso 7:

Cenário otimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento não controlado, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2020.

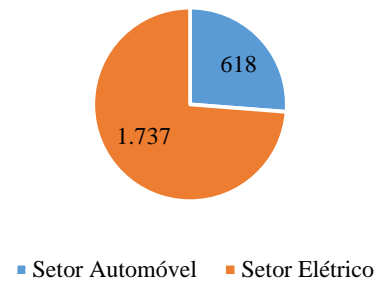




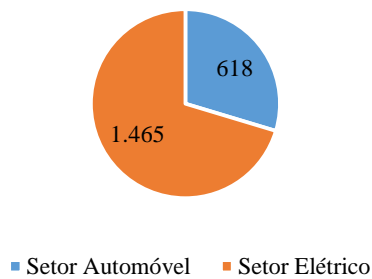
Mix da Produção



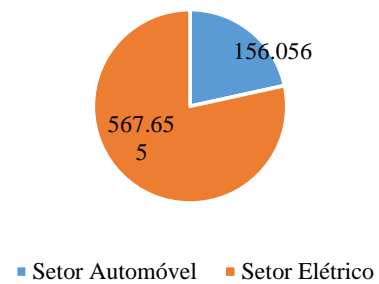
Energia Primária [GWh]



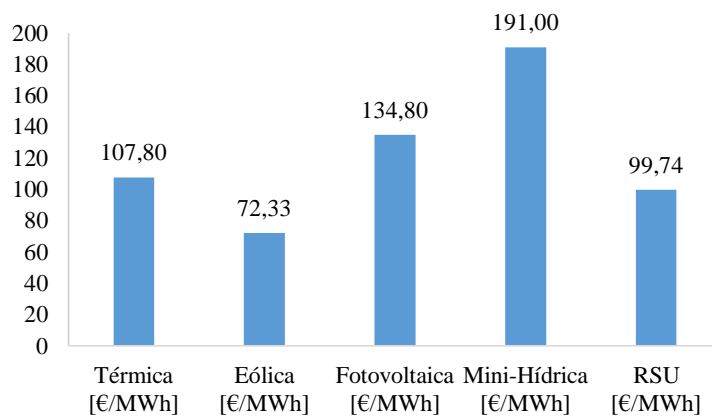
Consumo de Combustíveis [GWh]



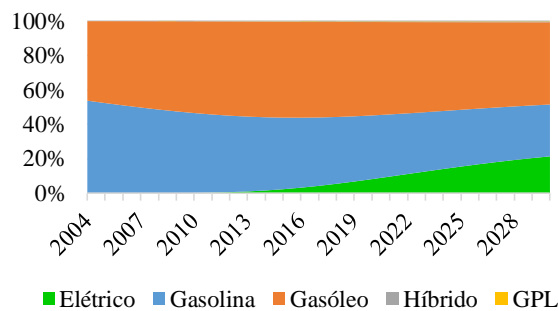
Emissões [ton CO2]



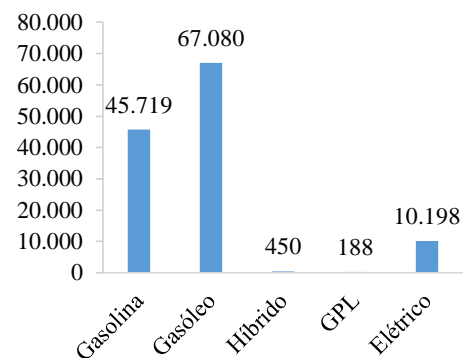
Custo Energia Elétrica



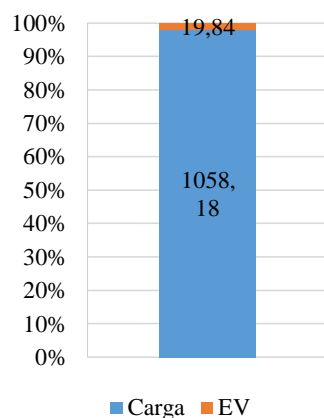
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

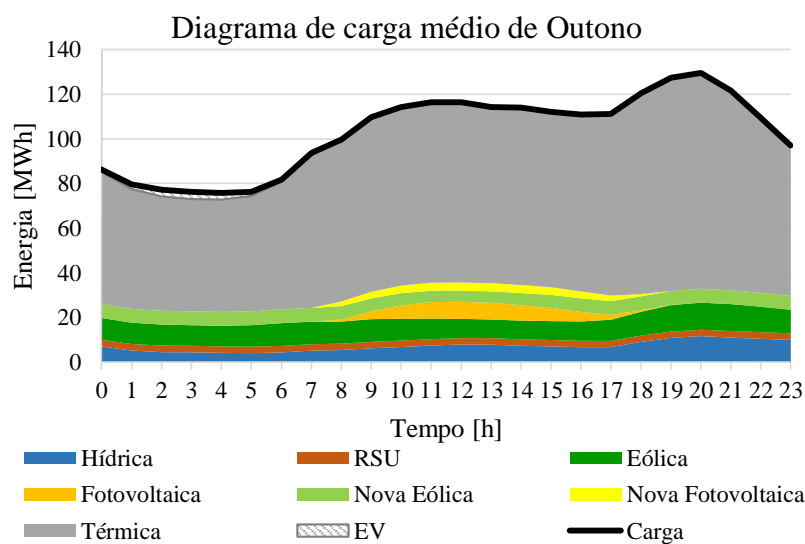
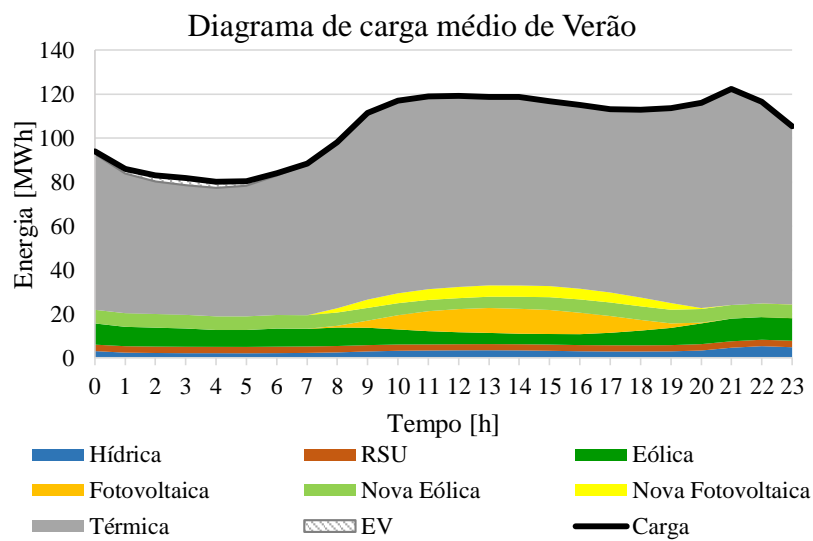
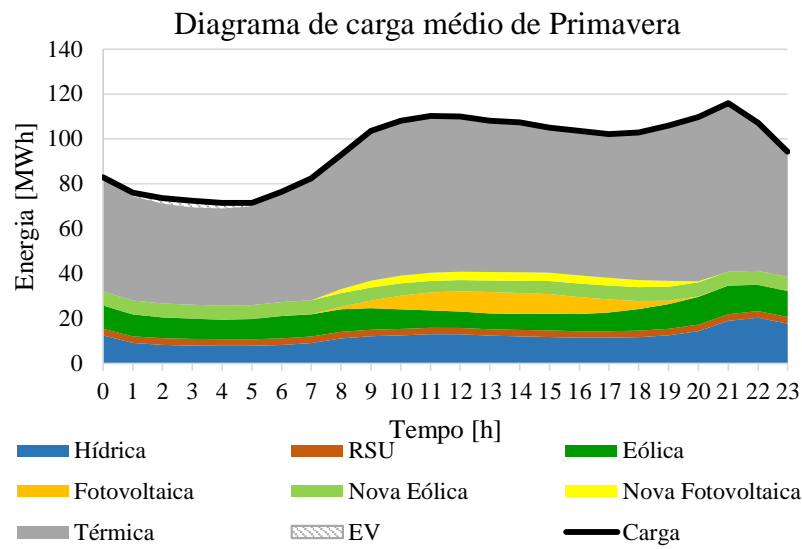


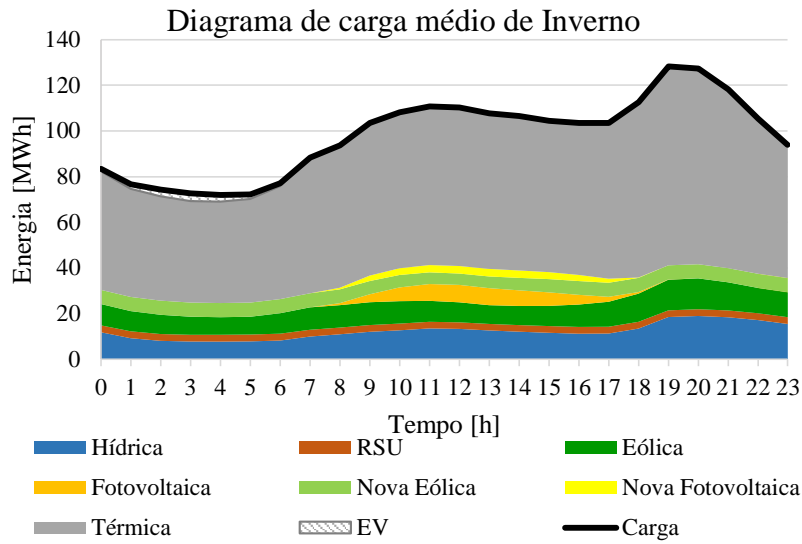
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



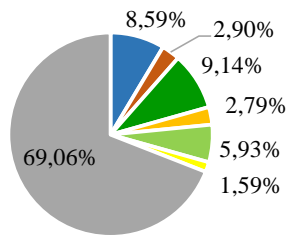
Caso 8:

Cenário pessimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2020.



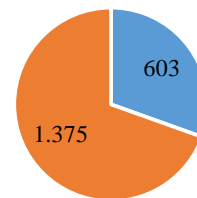


Mix da Produção



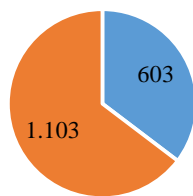
- Hídrica
- Eólica
- Nova Eólica
- Térmica
- RSU
- Fotovoltaica
- Nova Fotovoltaica

Energia Primária [GWh]



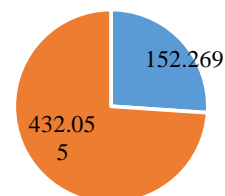
- Setor Automóvel
- Setor Elétrico

Consumo de Combustíveis [GWh]



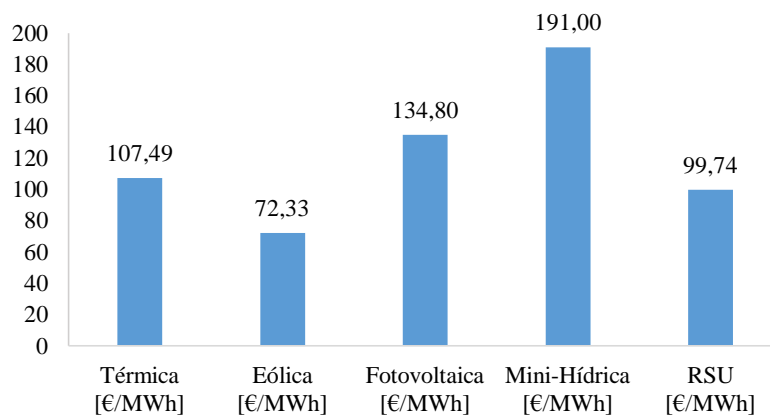
- Setor Automóvel
- Setor Elétrico

Emissões [ton CO2]

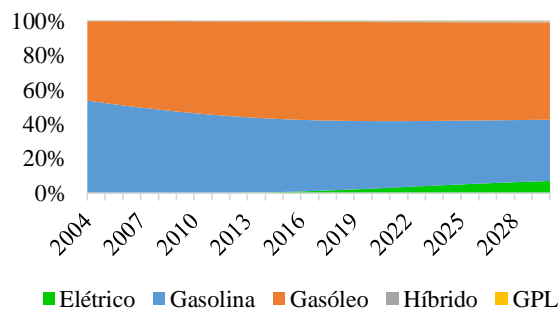


- Setor Automóvel
- Setor Elétrico

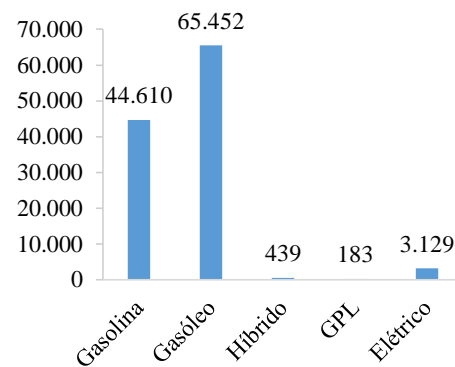
Custo da Energia Elétrica



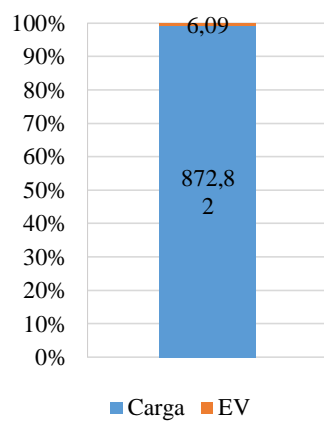
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

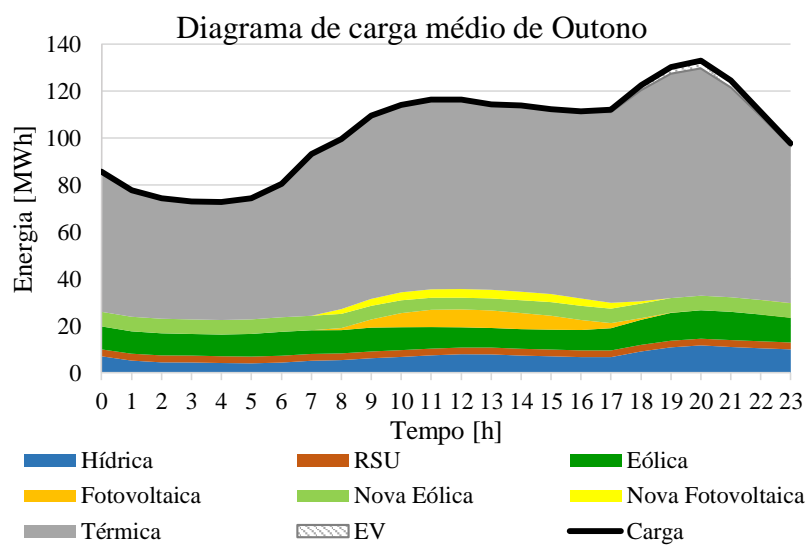
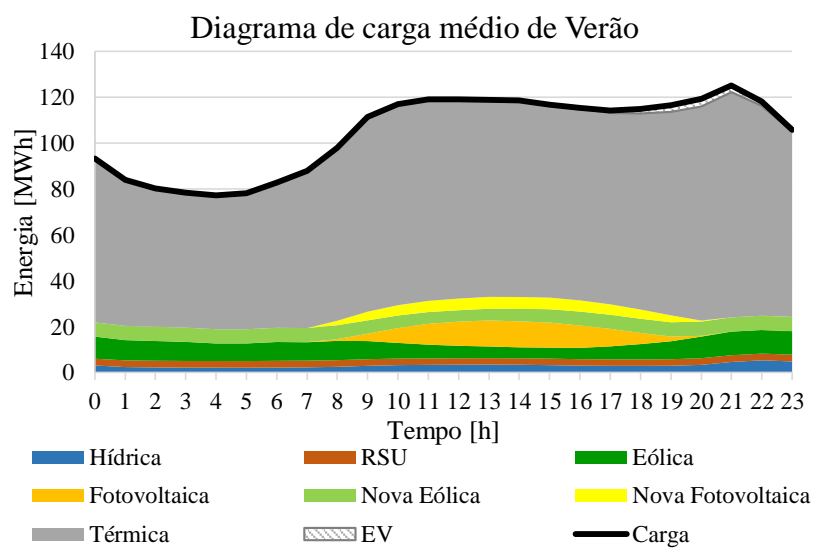
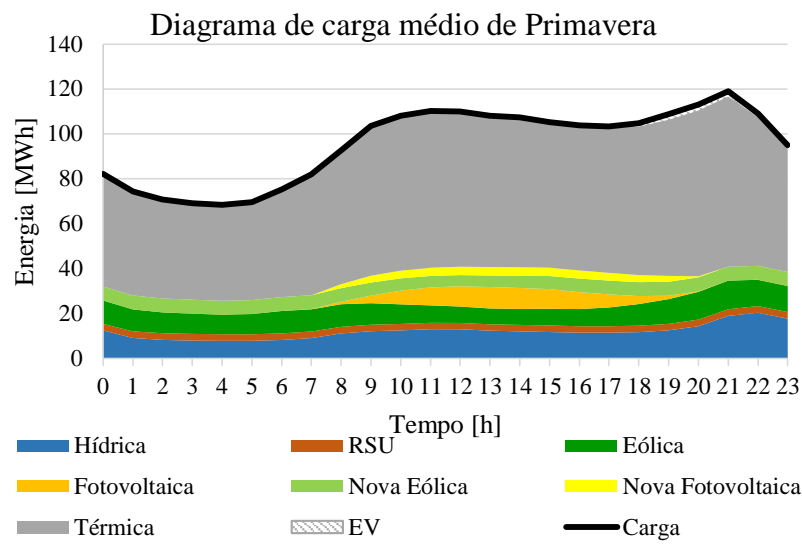


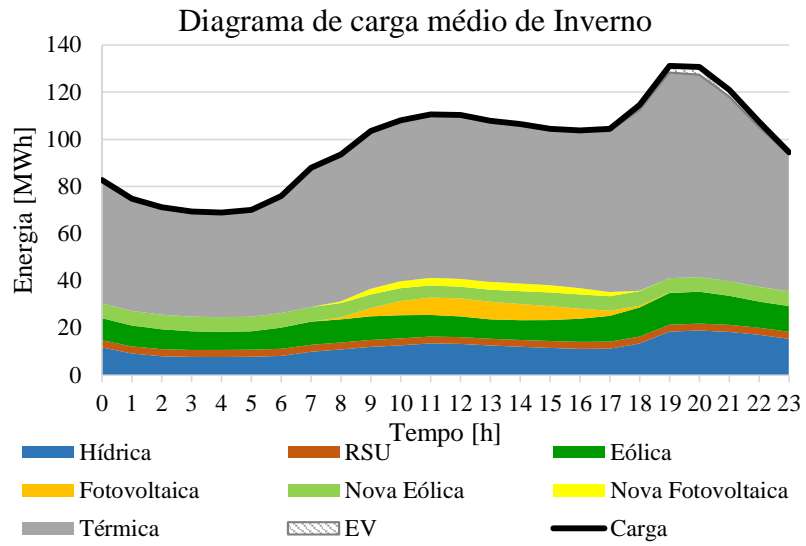
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



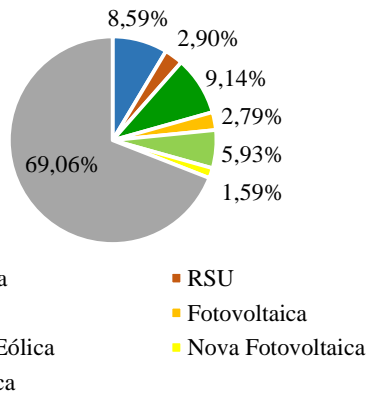
Caso 9:

Cenário pessimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento não controlado com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2020.

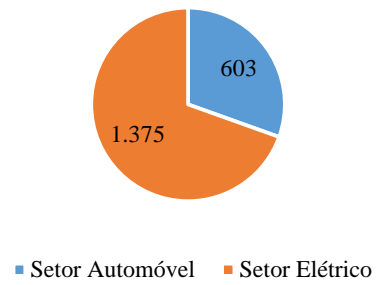




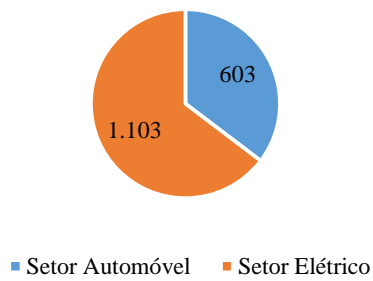
Mix da Produção



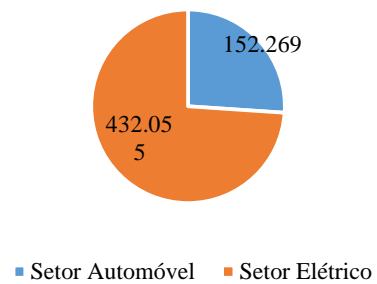
Energia Primária [GWh]



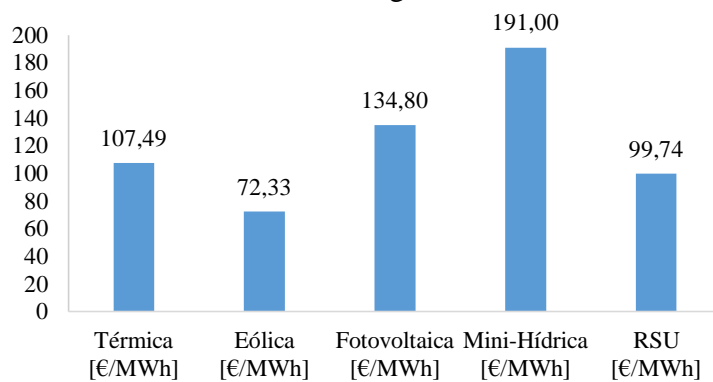
Consumo de Combustíveis [GWh]



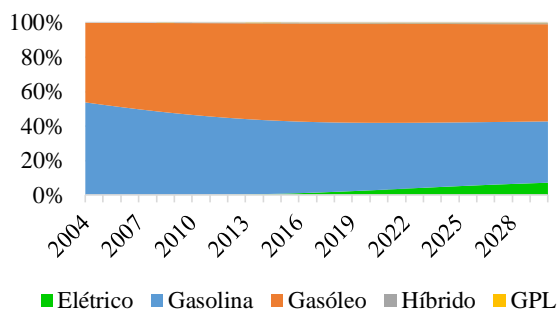
Emissões [ton CO2]



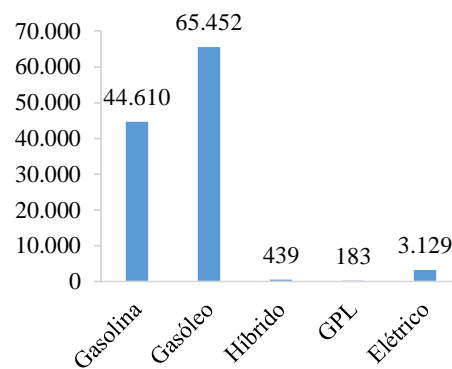
Custo da Energia Elétrica



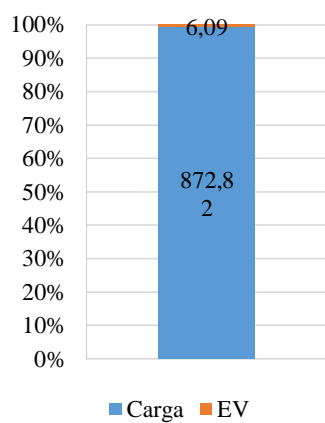
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

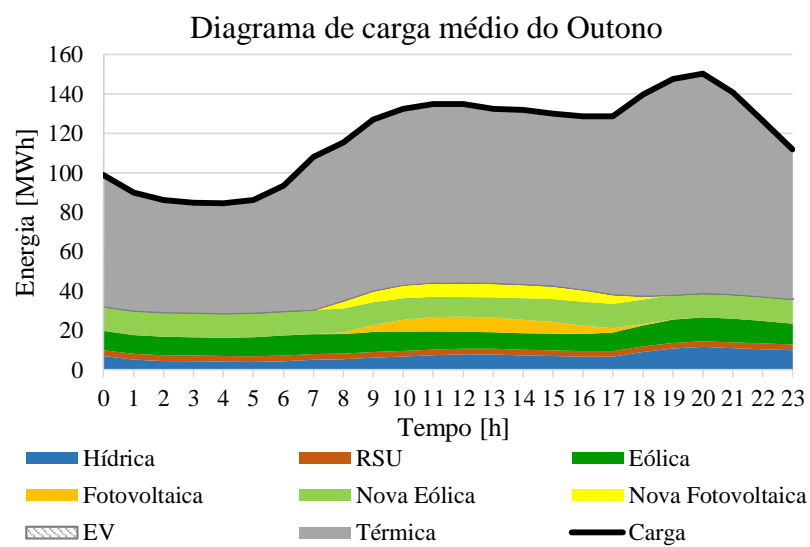
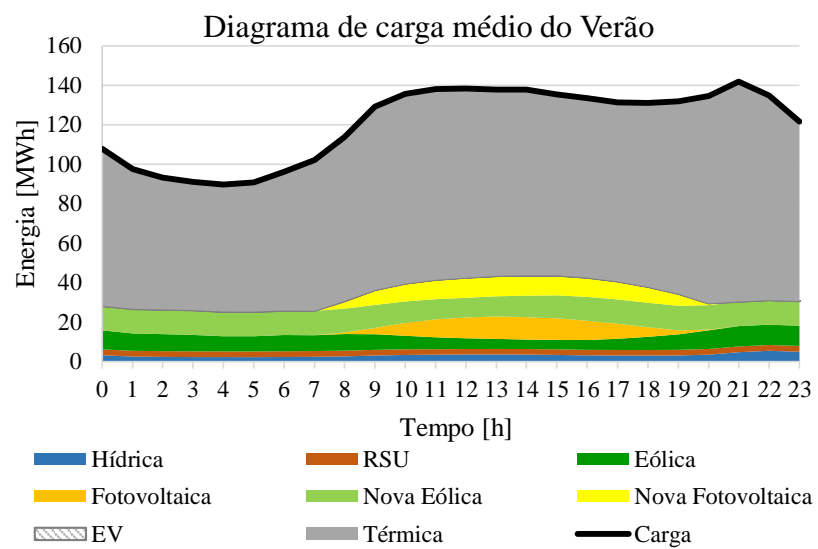
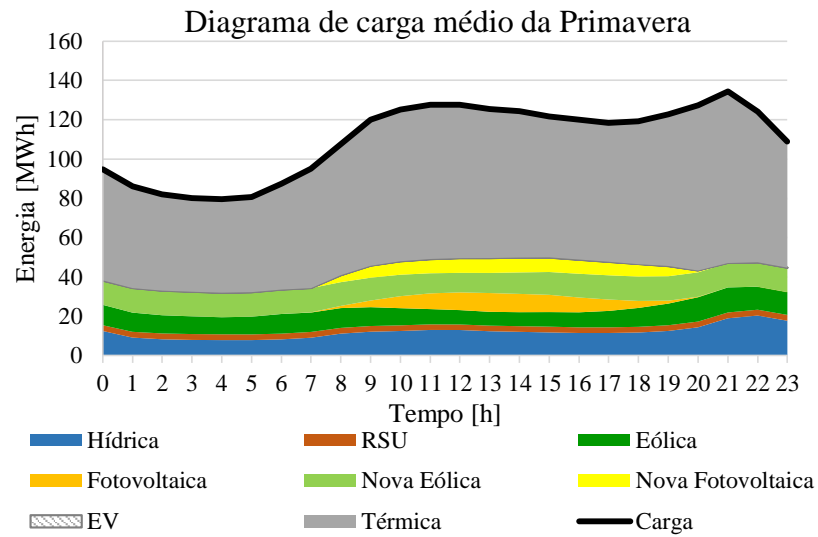


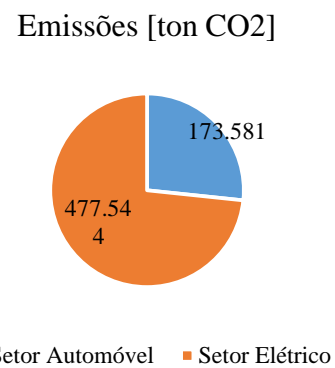
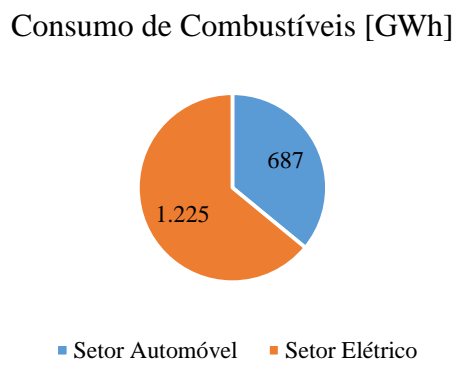
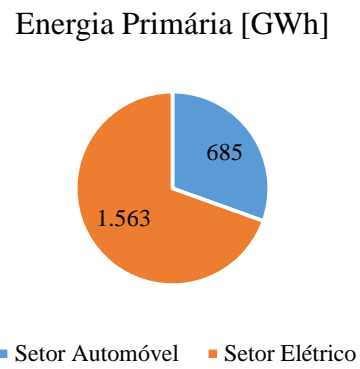
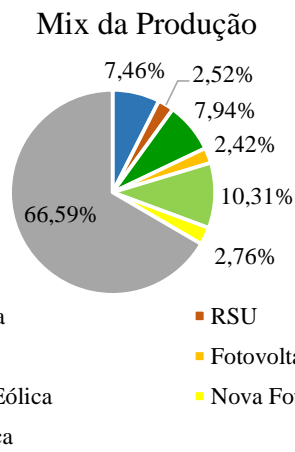
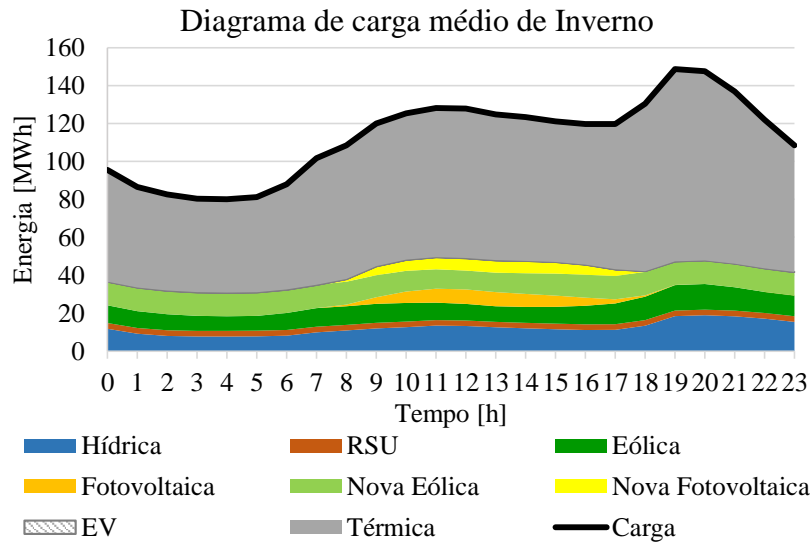
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



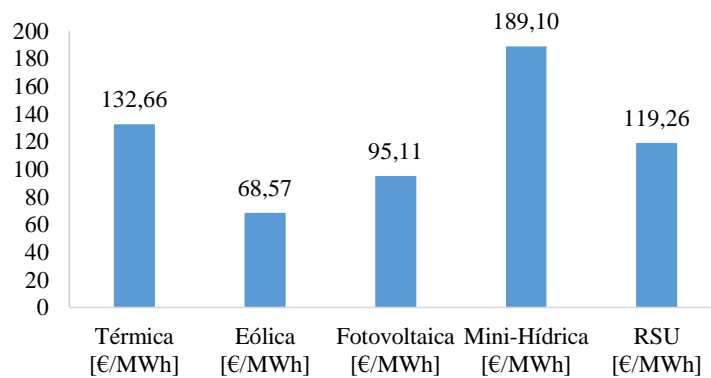
Caso 10:

Cenário BAU para 2030, aumento de 30 MW de energia eólica e 10 MW de fotovoltaica o que perfaz um total de 60 MW de nova eólica e 20 MW de nova fotovoltaica, e cenário de referência para o aumento do consumo de energia elétrica.

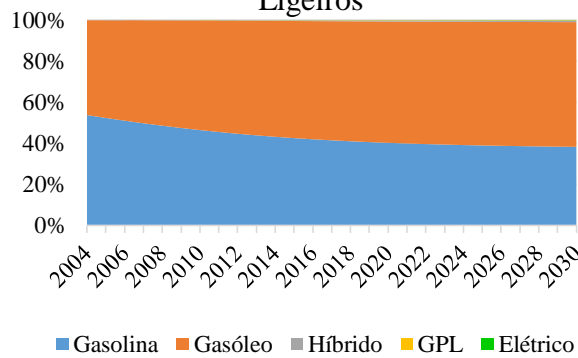




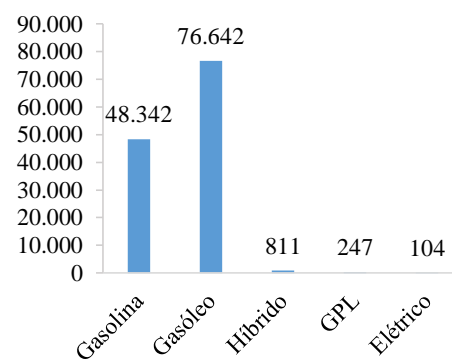
Custo da Energia Elétrica



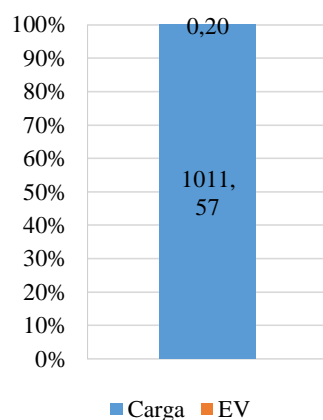
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

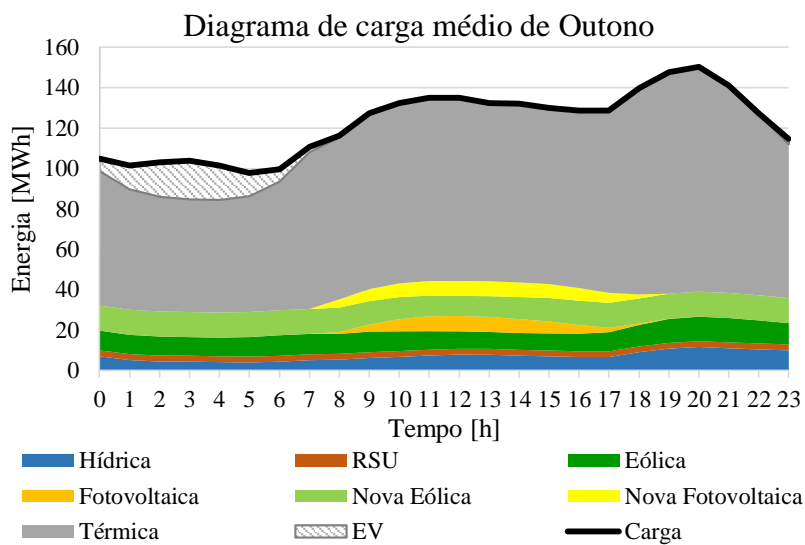
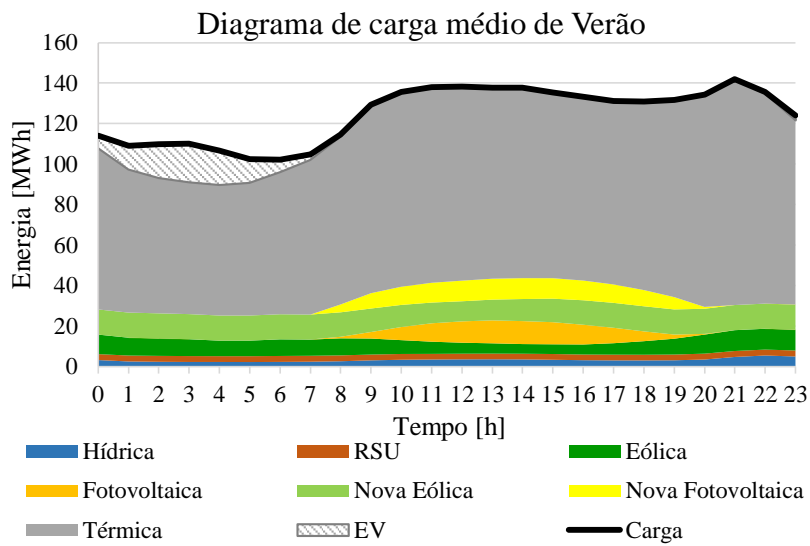
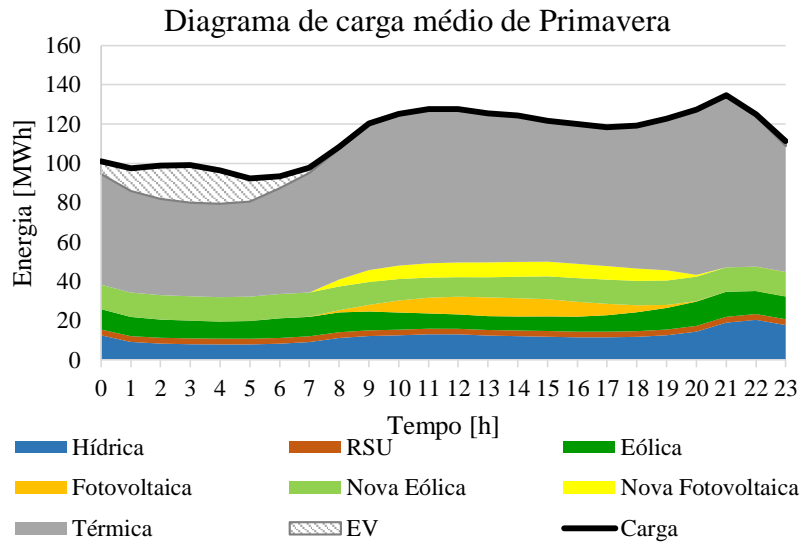


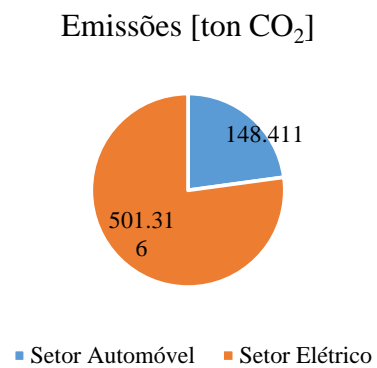
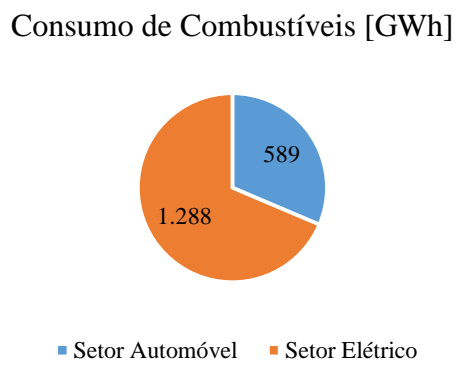
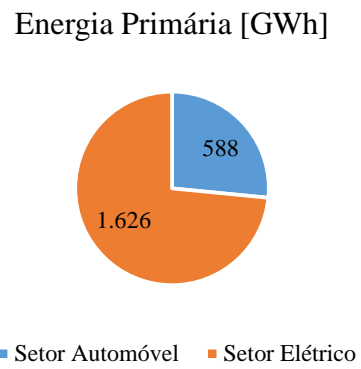
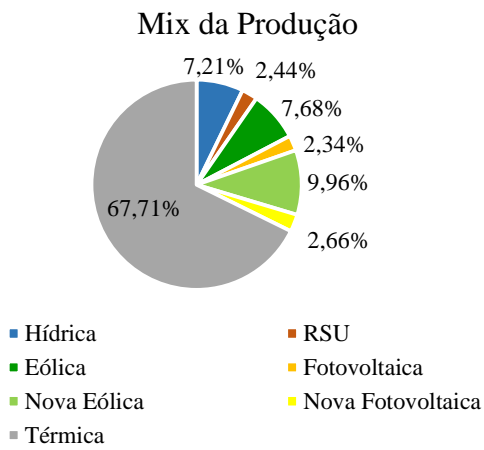
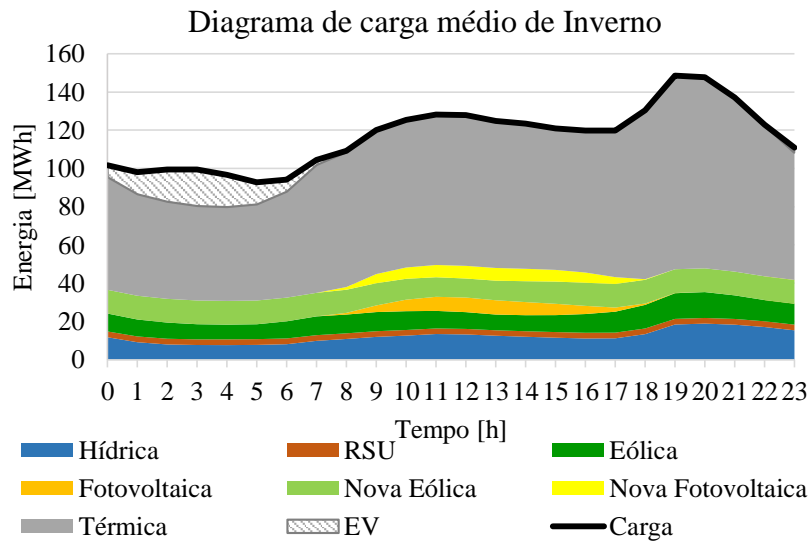
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



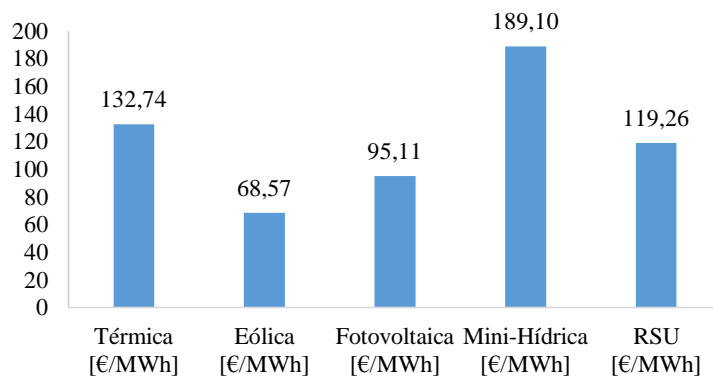
Caso 11:

Cenário de referência para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2030.

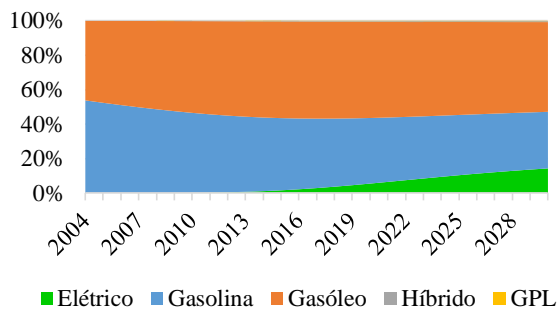




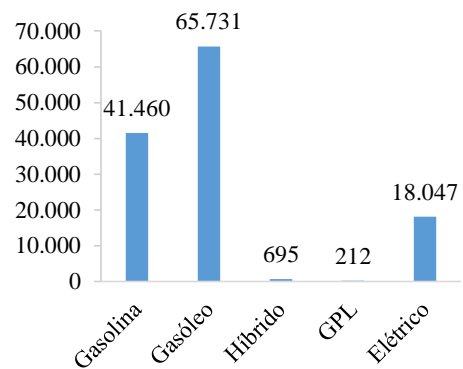
Custo da Energia Elétrica



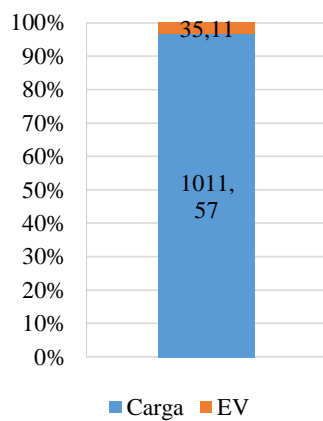
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

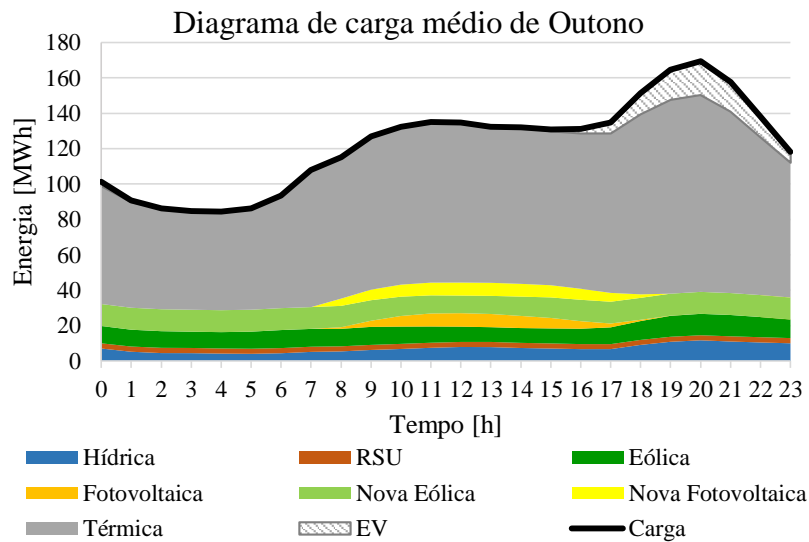
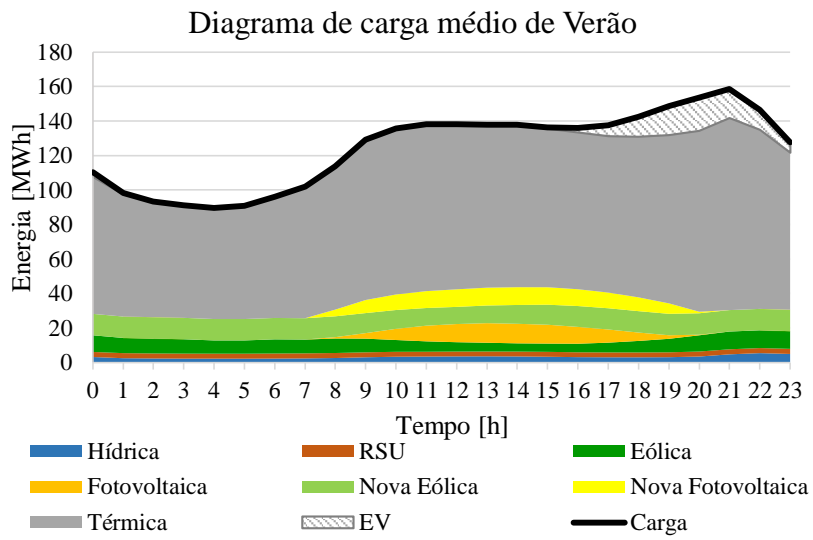
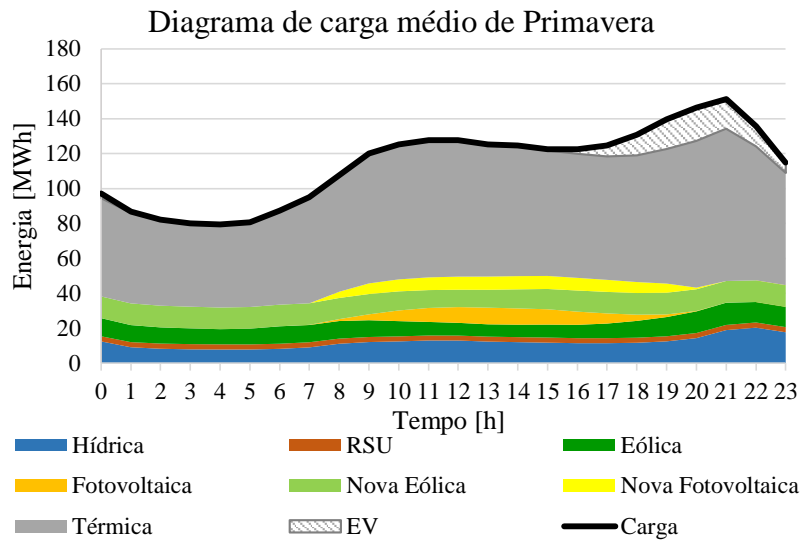


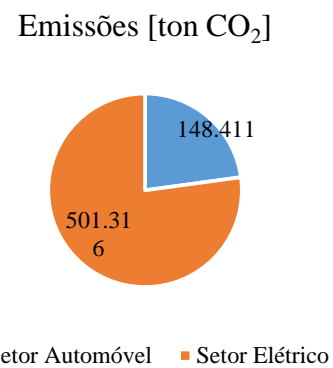
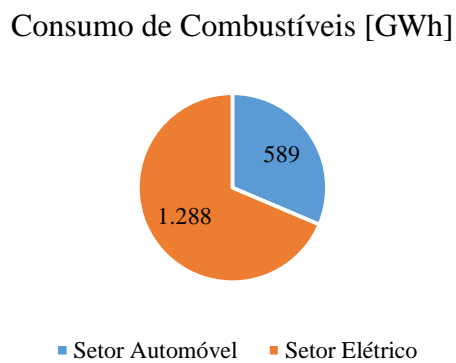
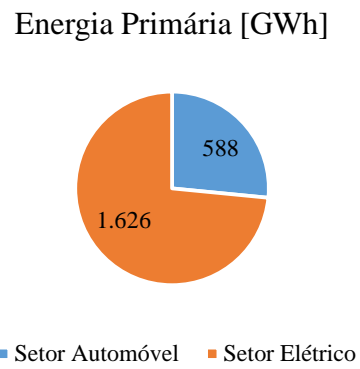
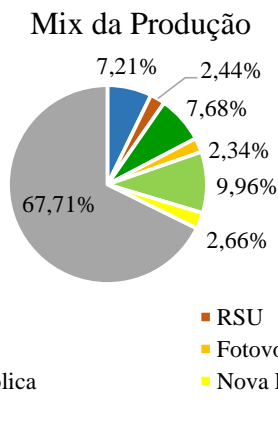
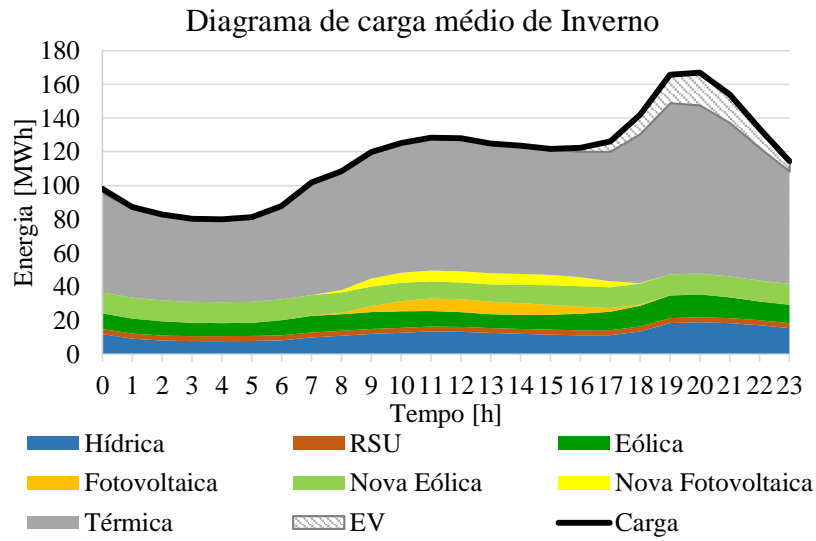
Peso dos EV's no Diagrama de Carga

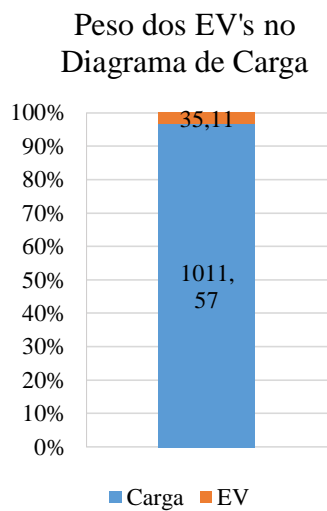
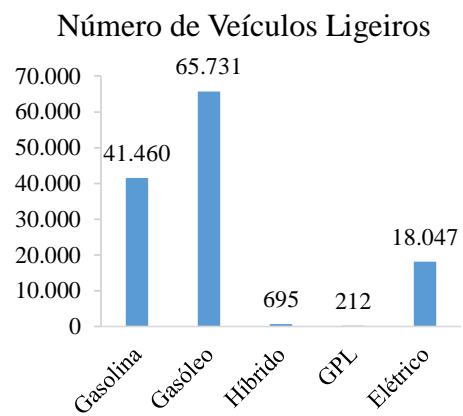
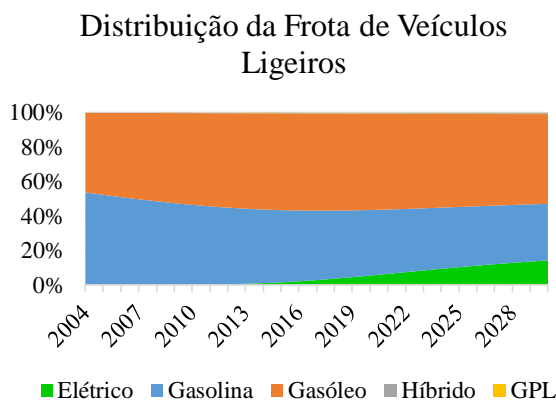
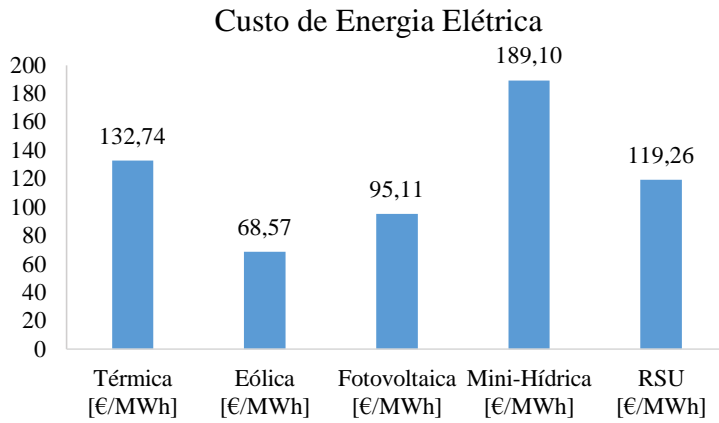


Caso 12:

Cenário de referência para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento não controlado, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2030.

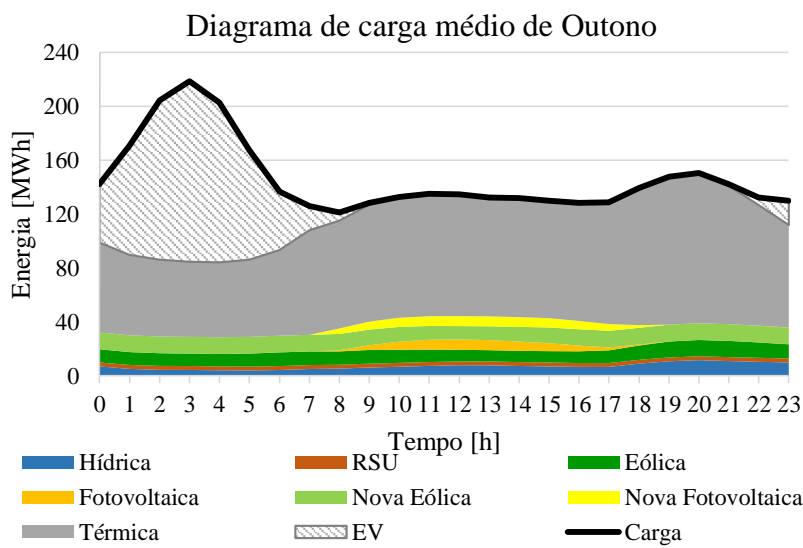
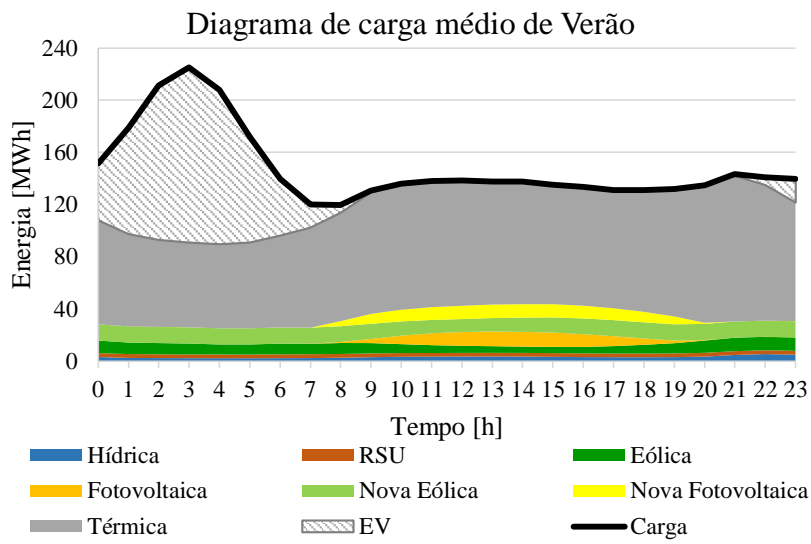
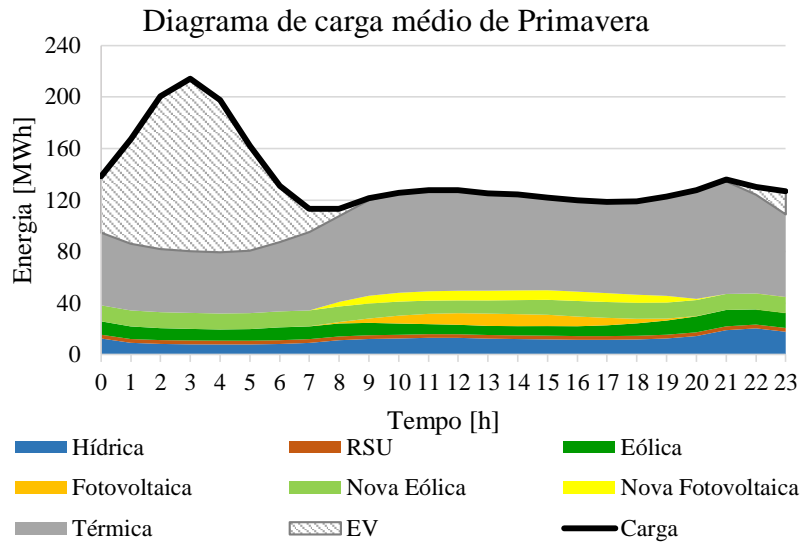


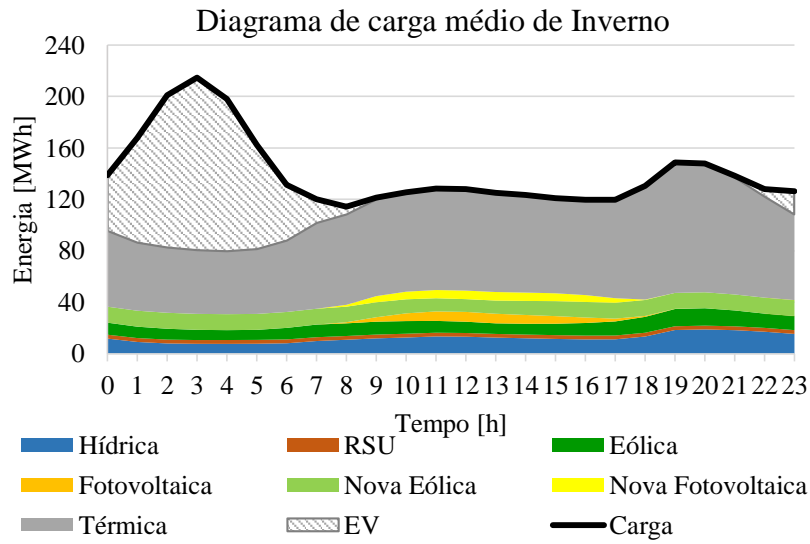




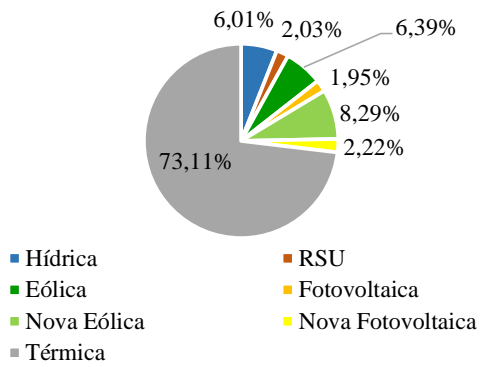
Caso 13:

Cenário de referência para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e 100 % de penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2030.

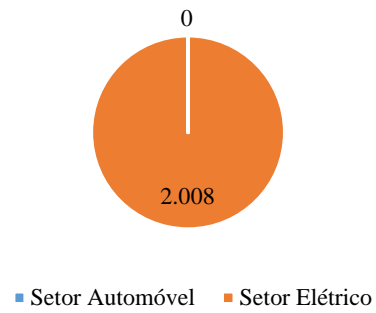




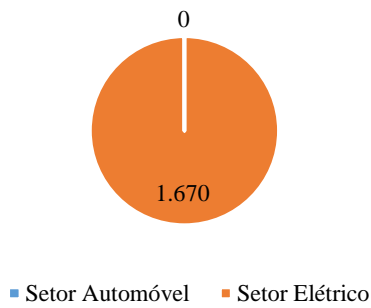
Mix da Produção



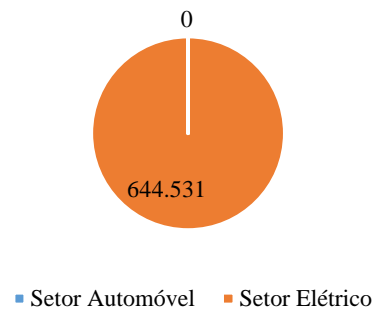
Energia Primária [GWh]

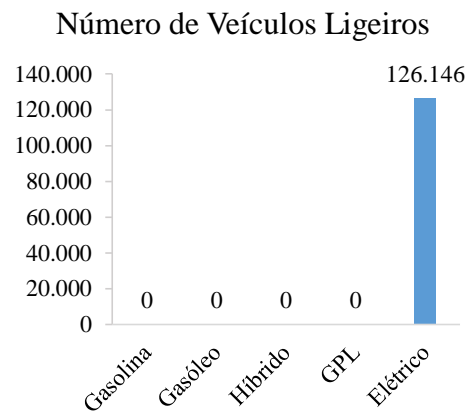
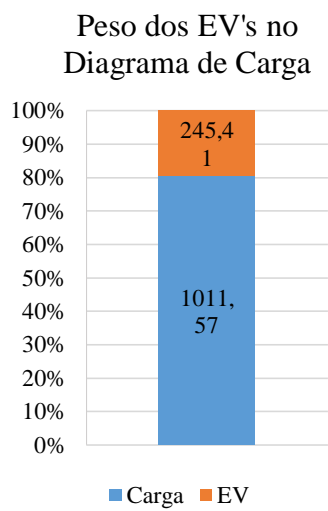
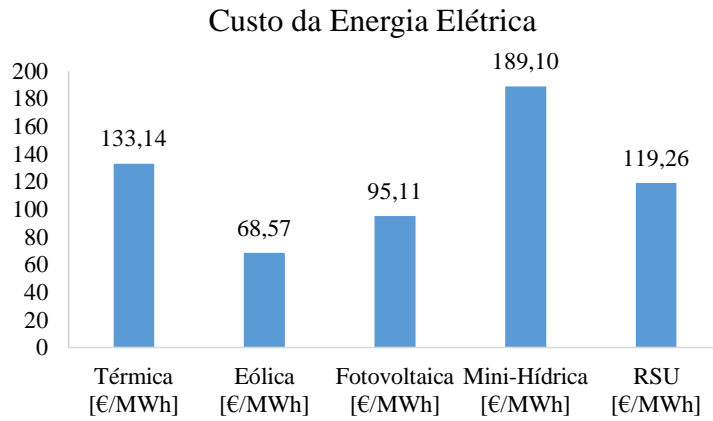


Consumo de Combustíveis [GWh]



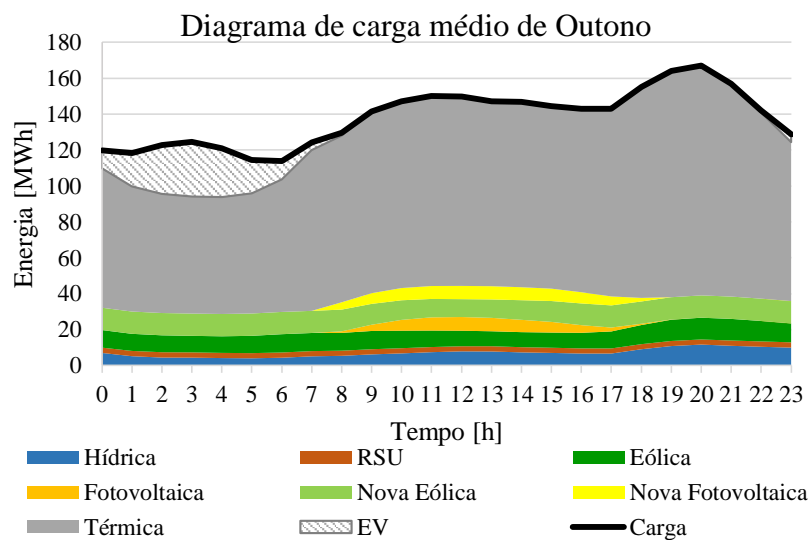
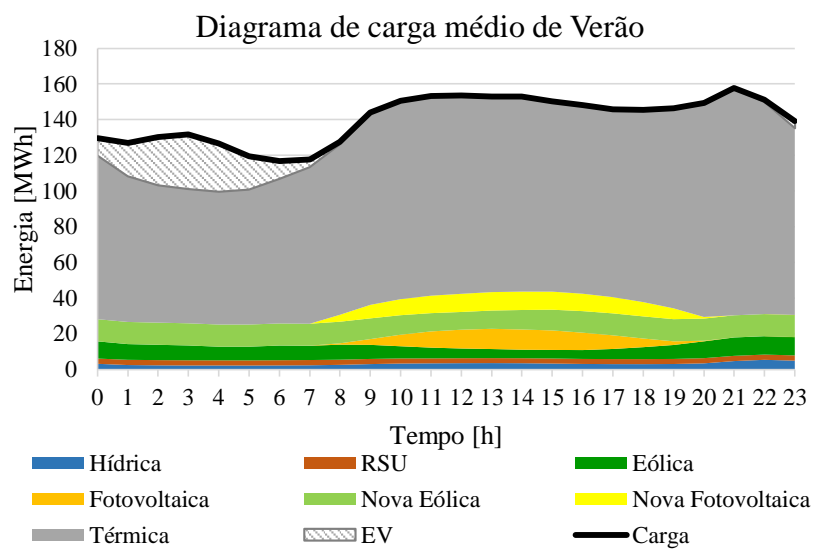
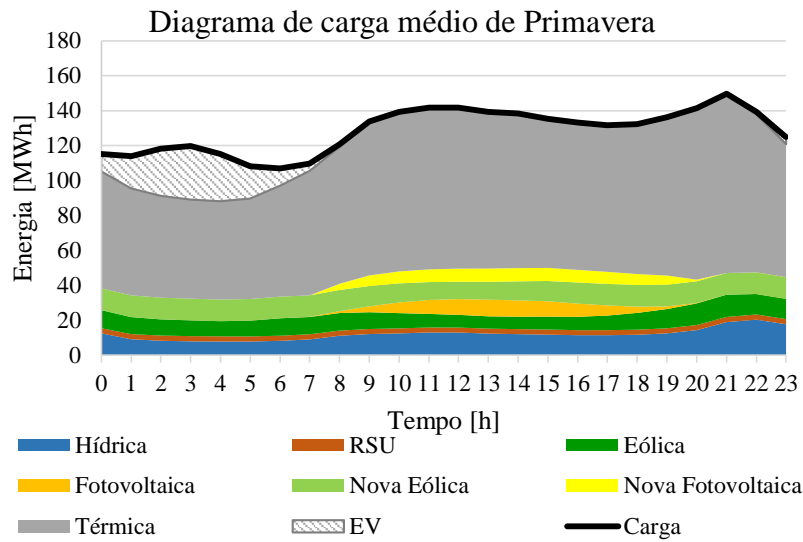
Emissões [ton CO₂]

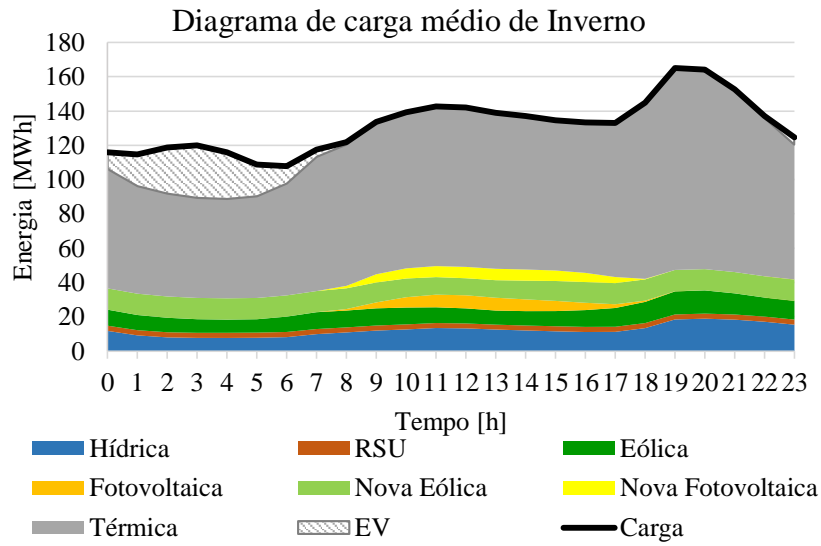




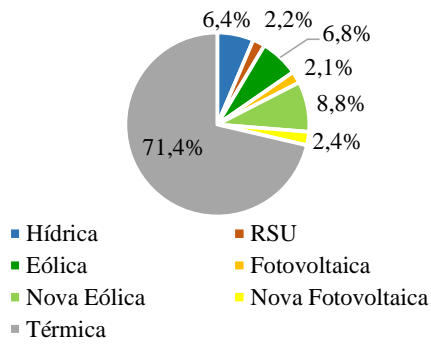
Caso 14:

Cenário otimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2030.

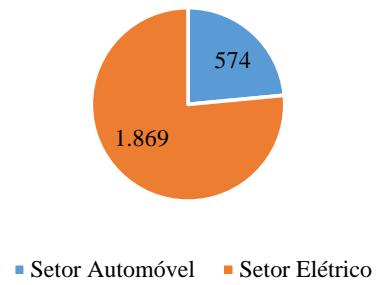




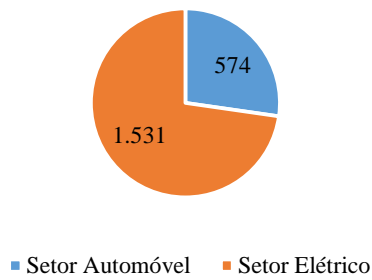
Mix da Produção



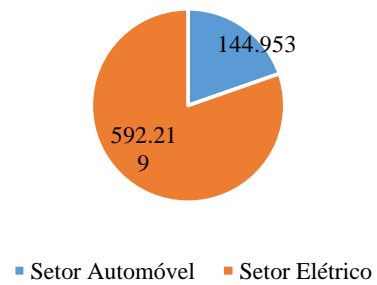
Energia Primária [GWh]



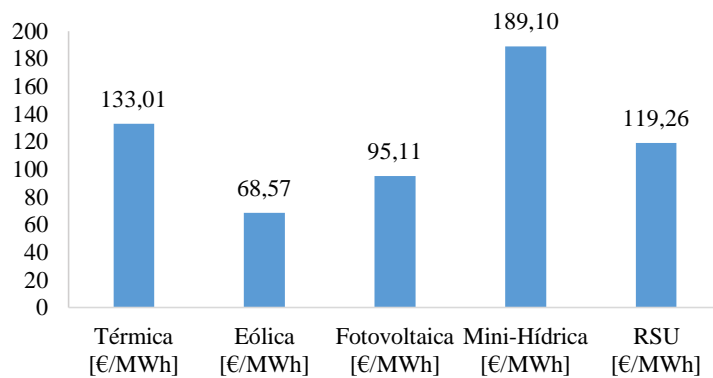
Consumo de Combustíveis [GWh]



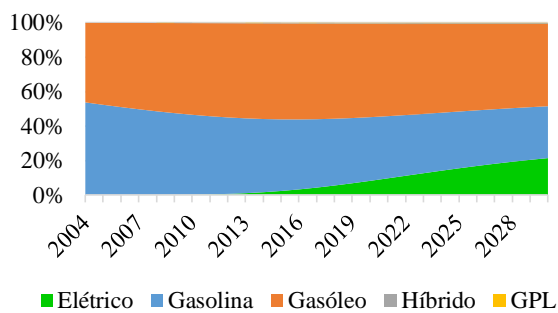
Emissões [ton CO₂]



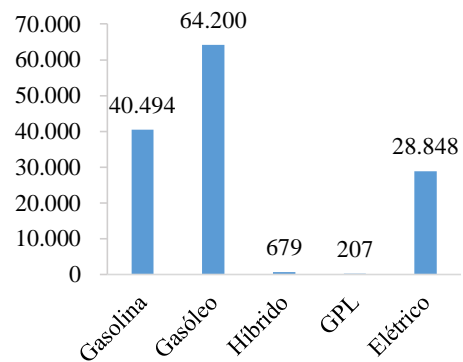
Custo da Energia Elétrica



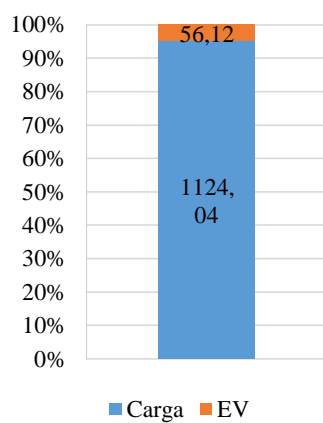
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

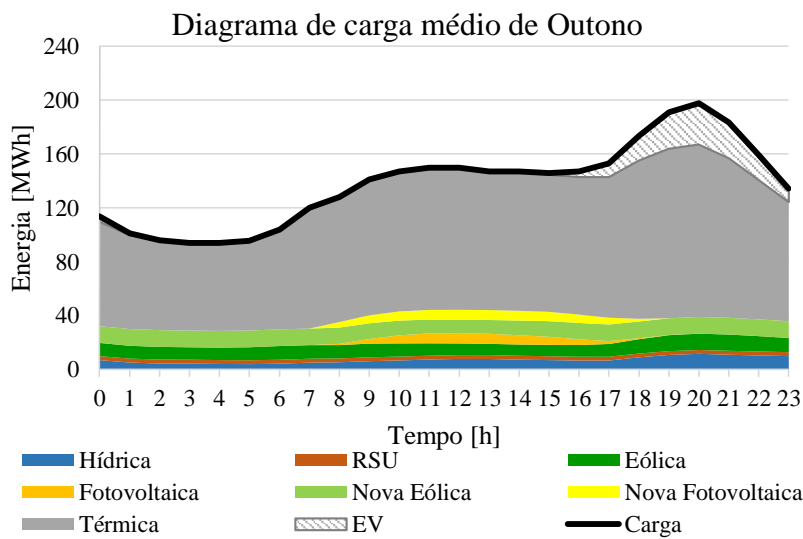
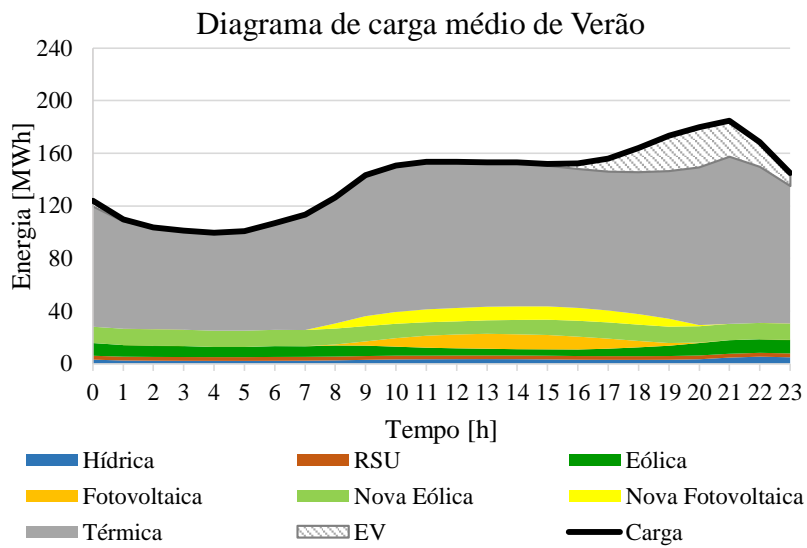
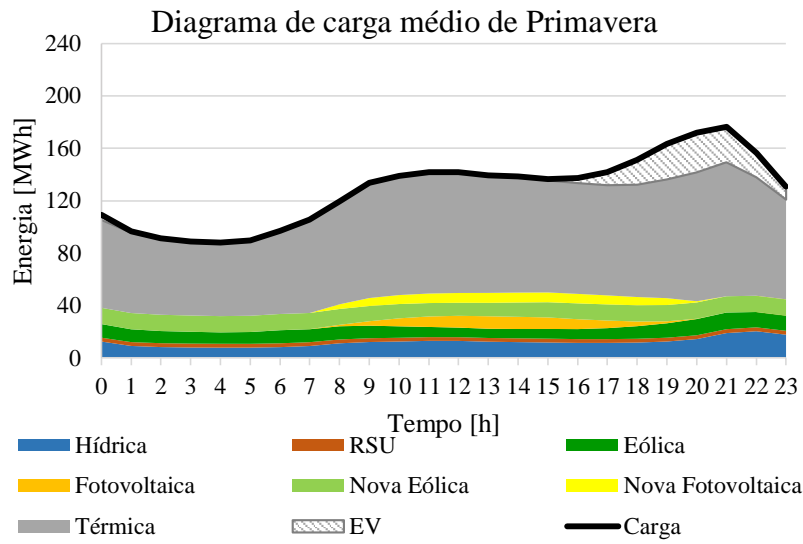


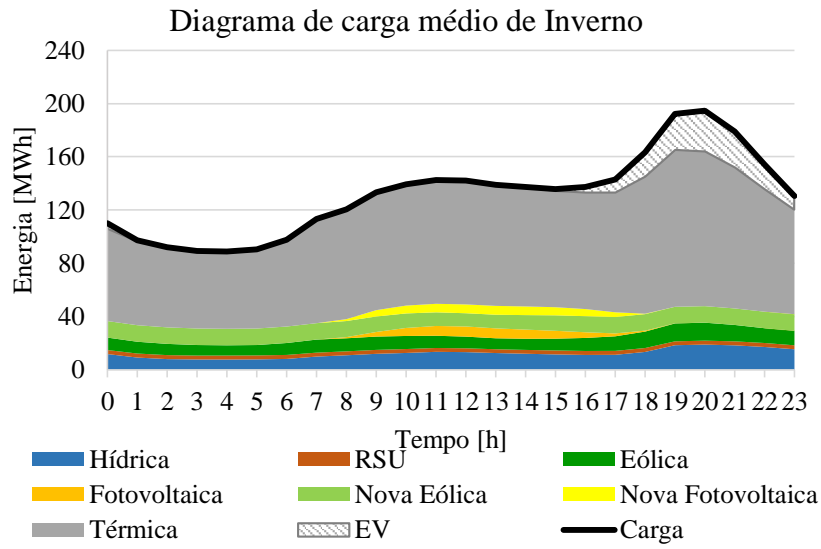
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



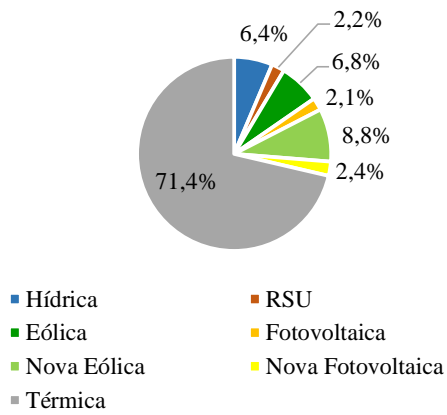
Caso 15:

Cenário otimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento não controlado, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2030.

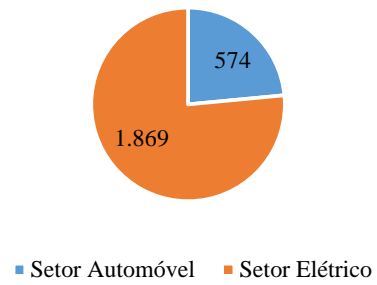




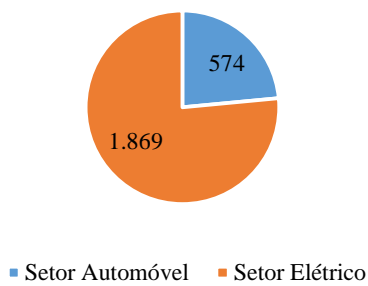
Mix da Produção



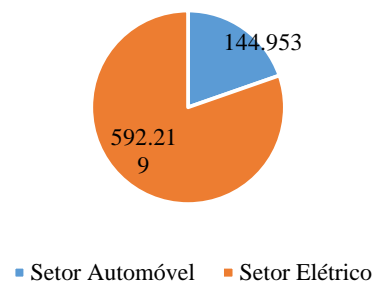
Energia Primária [GWh]



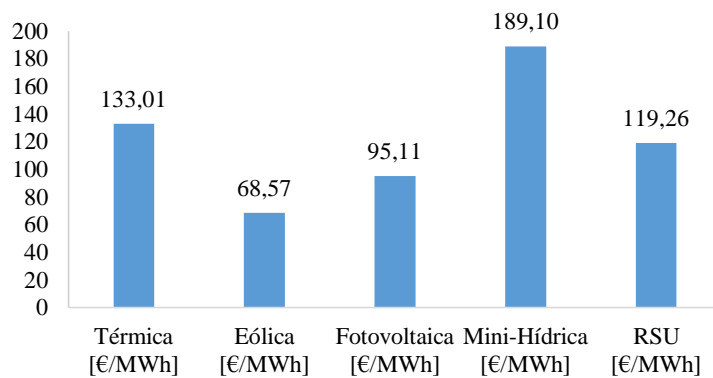
Energia Primária [GWh]



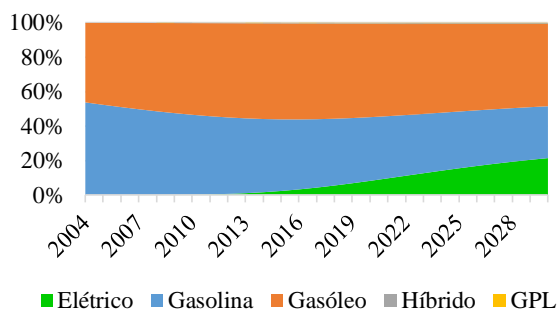
Emissões [ton CO₂]



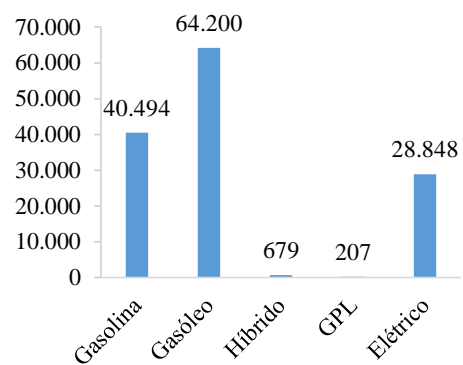
Custo da Energia Elétrica



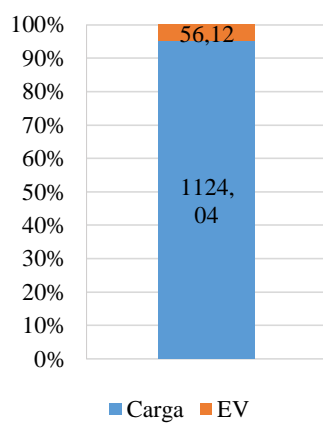
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

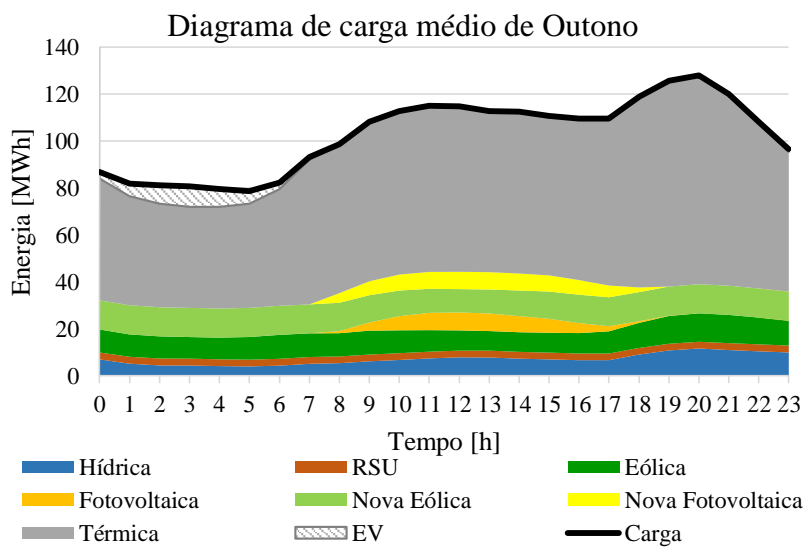
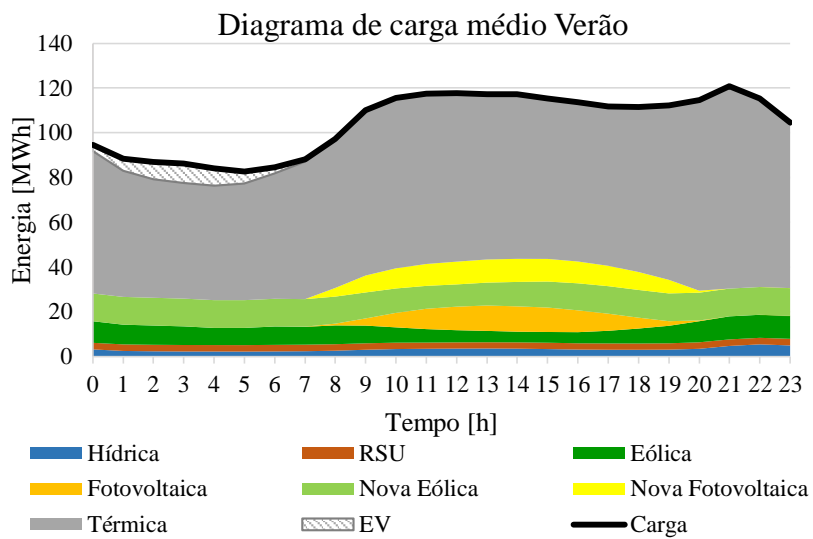
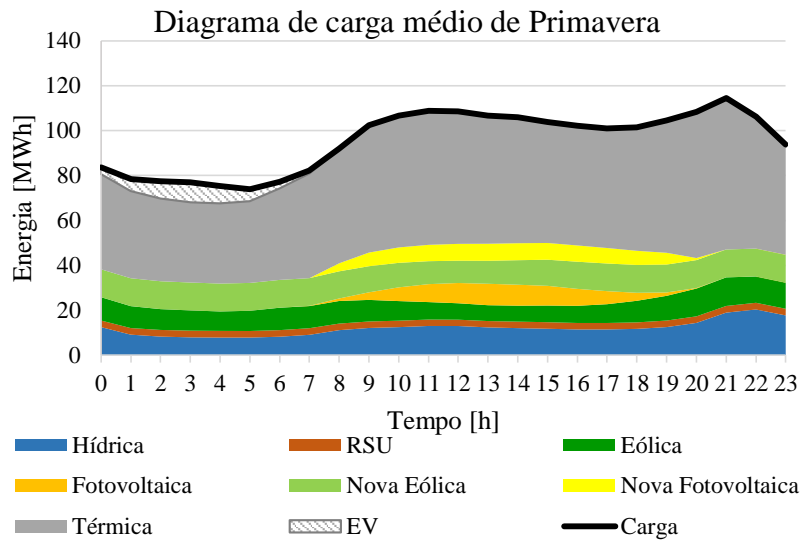


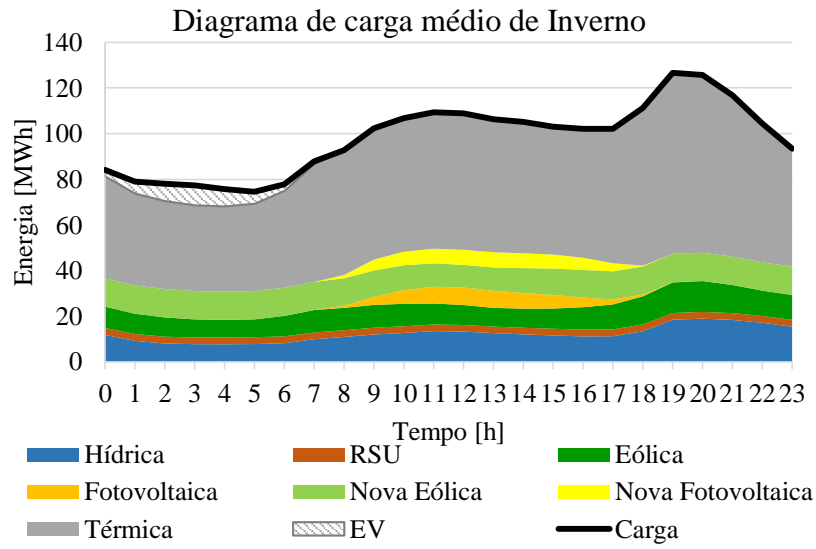
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



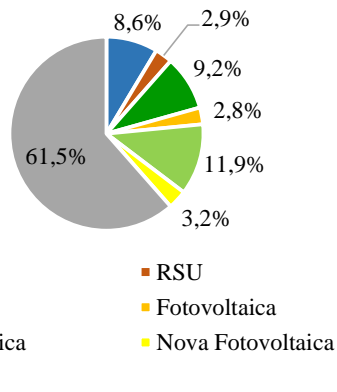
Caso 16:

Cenário pessimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento no vazio, com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2030.

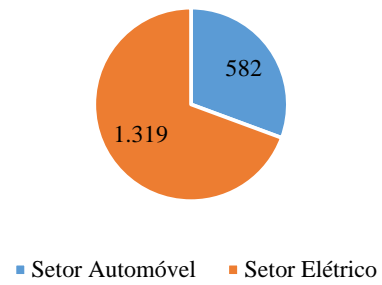




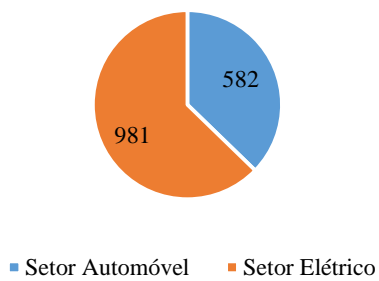
Mix da Produção



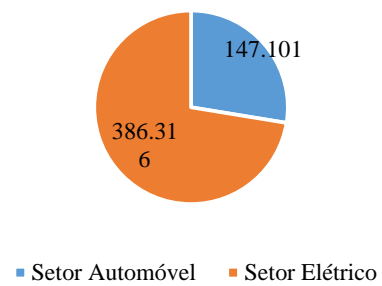
Energia Primária [GWh]



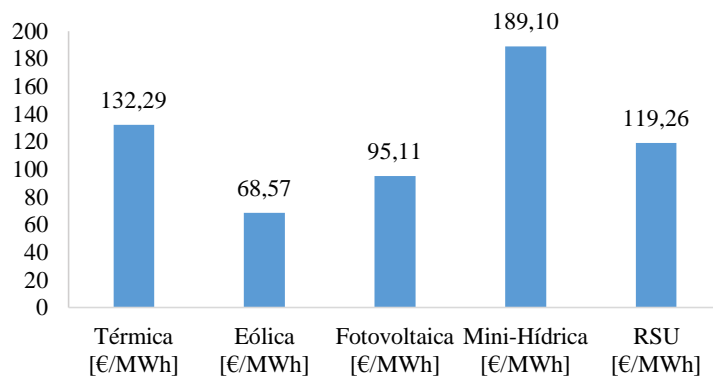
Consumo de Combustíveis [GWh]



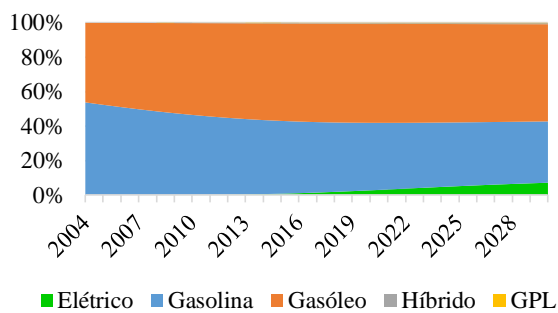
Emissões [ton CO₂]



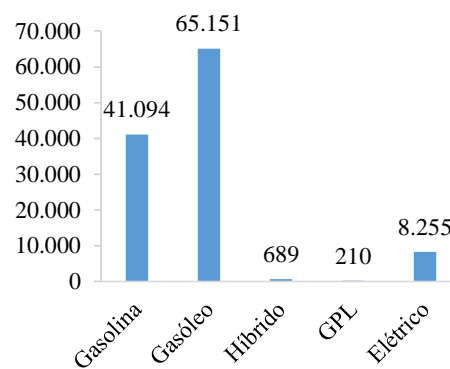
Custo da Energia Elétrica



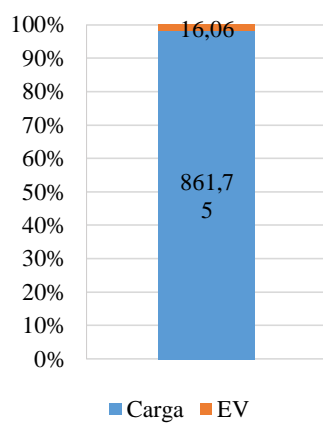
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros

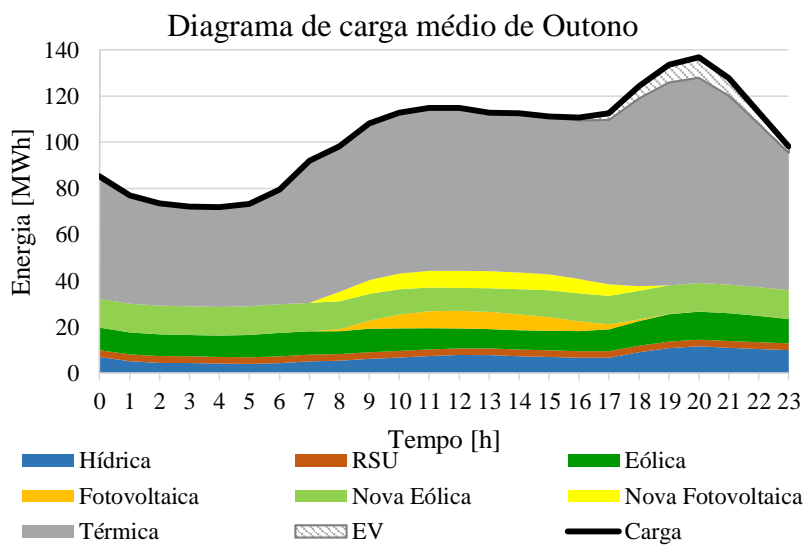
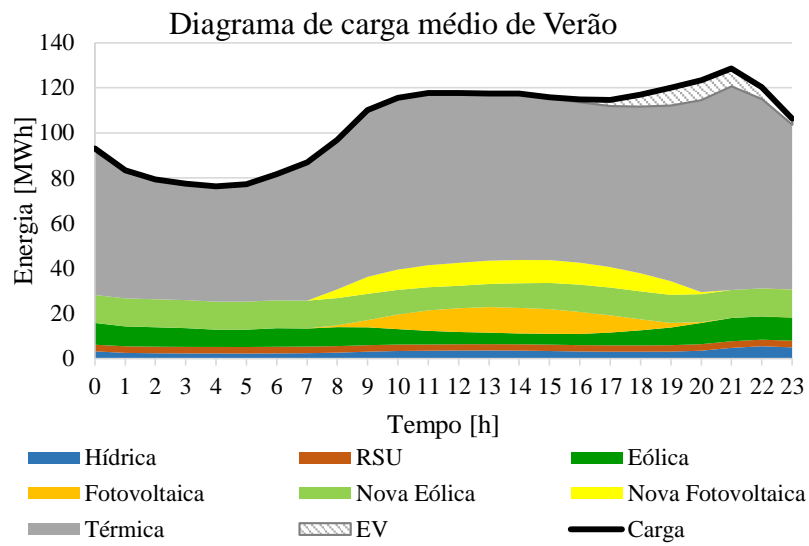
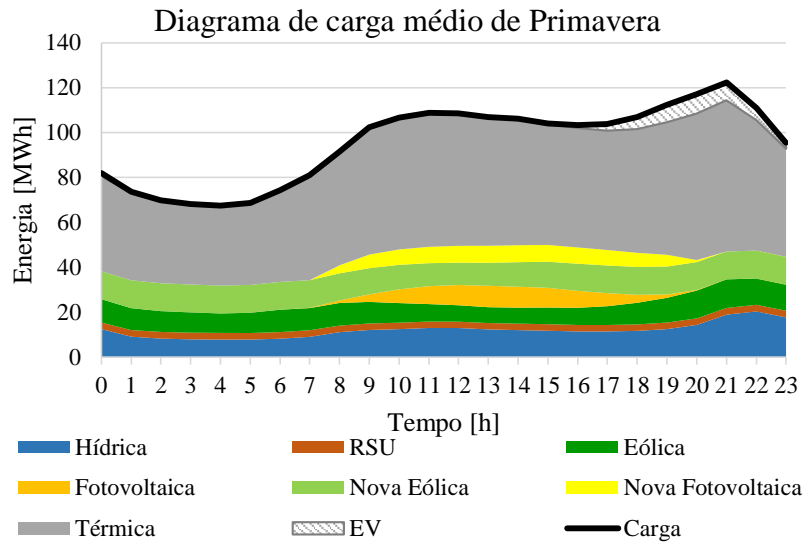


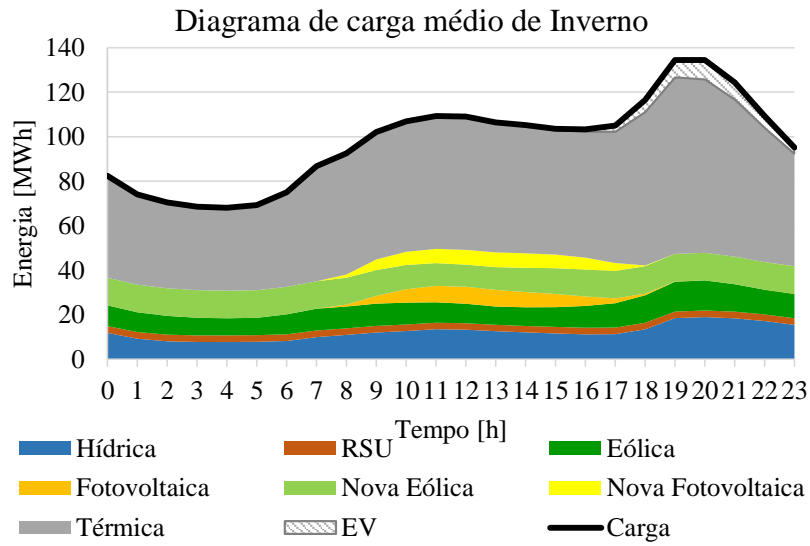
Peso dos EV's no Diagrama de Carga



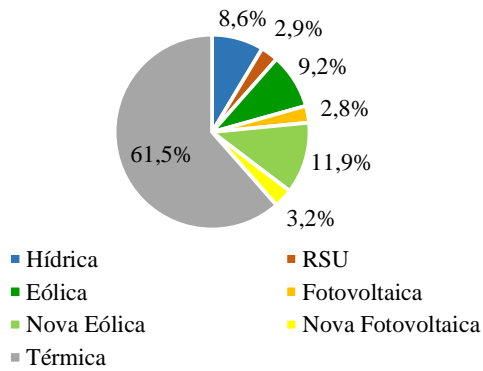
Caso 17:

Cenário pessimista para a evolução do consumo de energia elétrica, evolução do número de veículos ligeiros e penetração de veículos elétricos com perfil de carregamento não controlado com o aumento de 30 MW de eólica e 10 MW de fotovoltaica para 2030.

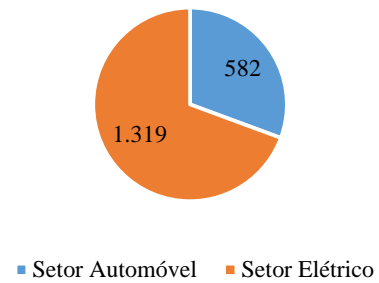




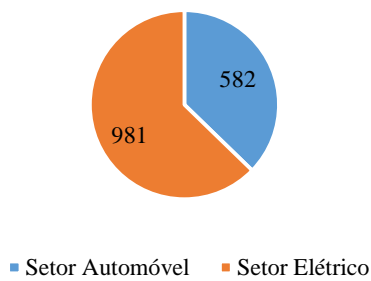
Mix da Produção



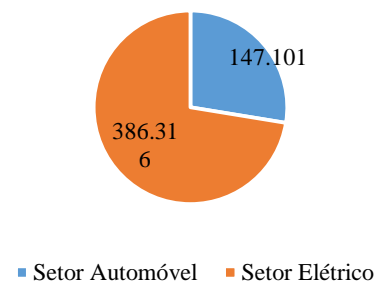
Energia Primária [GWh]



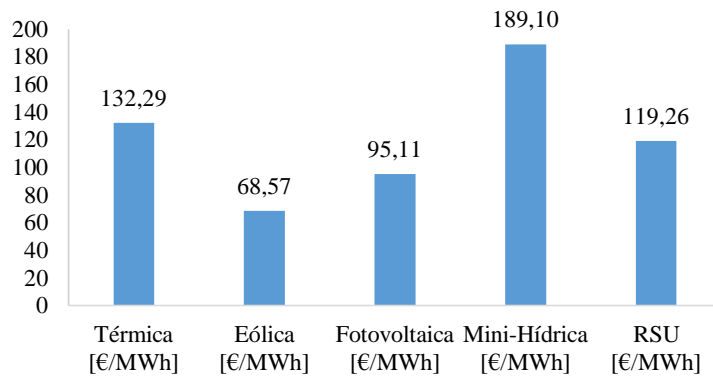
Consumo de Combustíveis [GWh]



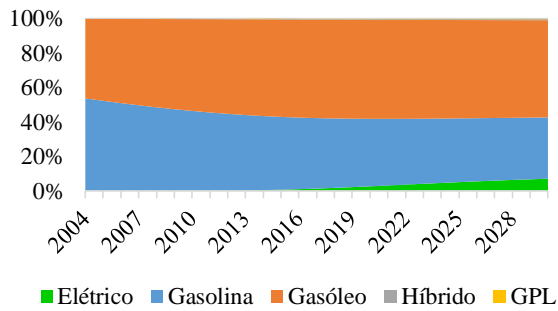
Emissões [ton CO₂]



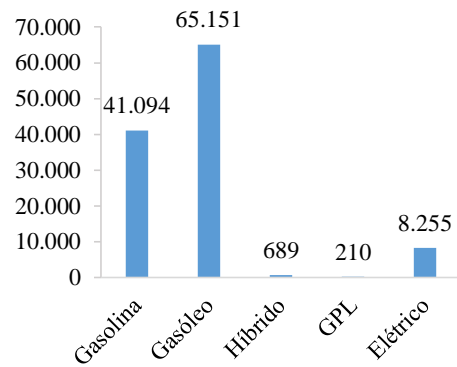
Custo da Energia Elétrica



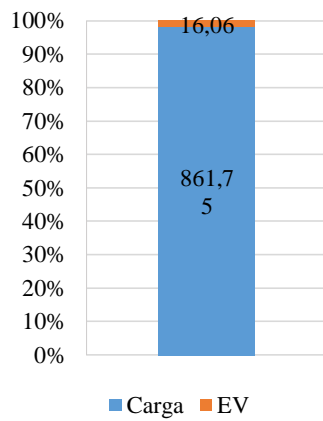
Distribuição da Frota de Veículos Ligeiros



Número de Veículos Ligeiros



Peso dos EV's no Diagrama de Carga



Resumo dos casos de estudo

| | Caso de Estudo | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 |
|----------------|---|--------|---------|--------------------|-----------------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | - | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado |
| | Ano | 2013 | | | |
| Setor Elétrico | Carga [GWh] | 822 | 992 | 1004 | 1004 |
| | Variação da Carga em relação a 2013 | - | 20,65% | 22,20% | 22,20% |
| | Hídrica | 9,19% | 7,62% | 7,52% | 7,52% |
| | RSU | 3,10% | 2,57% | 2,54% | 2,54% |
| | Eólica | 9,78% | 8,10% | 8,00% | 8,00% |
| | Fotovoltaica | 2,98% | 2,47% | 2,44% | 2,44% |
| | Nova Eólica | 0,00% | 5,26% | 5,19% | 5,19% |
| | Nova Fotovoltaica | 0,00% | 1,41% | 1,39% | 1,39% |
| | Térmica | 74,96% | 72,58% | 72,93% | 72,93% |
| | Produção de Origem Renovável | 25,04% | 27,42% | 27,07% | 27,07% |
| | Produção de Origem Térmica | 74,96% | 72,58% | 72,93% | 72,93% |
| | Energia Primária Térmica [GWh] | 1.120 | 1.308 | 1.331 | 1.331 |
| | Variação da Energia Primária Térmica em relação a 2013 | - | 16,8% | 18,9% | 18,9% |
| | Energia Primária renováveis [GWh] | 206 | 272 | 272 | 272 |
| | Variação da Energia Primária das Renováveis em relação a 2013 | - | 32,10% | 32,10% | 32,10% |
| | Energia primária Setor Elétrico [GWh] | 1.326 | 1.580 | 1.603 | 1.603 |
| | Consumo de Combustíveis [ton] | 97.875 | 114.343 | 116.368 | 116.368 |

| Caso de Estudo | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 |
|---|------------|------------|--------------------|-----------------------------|
| Cenário/Tipo de carregamento | - | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado |
| Ano | 2013 | | | |
| Consumo de Combustíveis [GWh] | 1.120 | 1.308 | 1.331 | 1.331 |
| Variação do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | - | 16,83% | 18,89% | 18,89% |
| Custo Combustíveis [€] | 81.856.907 | 74.260.150 | 75.574.855 | 75.574.855 |
| Variação dos Custos Combustível em relação a 2013 | - | -9,28% | -7,67% | -7,67% |
| Emissões [ton] | 438.226 | 508.815 | 517.492 | 517.492 |
| Variação das Emissões em relação a 2013 | - | 16,11% | 18,09% | 18,09% |
| Custo CO ₂ [€] | 3.860.600 | 4.461.643 | 4.537.730 | 4.537.730 |
| Variação dos Custos com CO ₂ em relação a 2013 | - | 15,57% | 17,54% | 17,54% |
| Emissões mix de produção (g/kWh) | 533 | 513 | 515 | 515 |
| Custo Total da Energia Elétrica [€/MWh] | 135,34 | 110,15 | 110,13 | 110,13 |

| | Caso de Estudo | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 |
|-----------------|---|------------|------------|--------------------|-----------------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | - | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado |
| | Ano | 2013 | | | |
| Setor Automóvel | Número Total de Veículos Ligeiros | 108.430 | 119.782 | 119.782 | 119.782 |
| | Energia Setor Automóvel [GWh] | 591 | 652 | 616 | 616 |
| | Variação do Consumo de Energia no Setor Automóvel em relação a 2013 | - | 10,26% | 4,24% | 4,24% |
| | Consumo de Combustíveis [ton] | 48.920 | 54.061 | 51.109 | 51.109 |
| | Consumo de Combustíveis [GWh] | 592 | 653 | 617 | 617 |
| | Variação do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | - | 10,36% | 4,33% | 4,33% |
| | Custo Combustíveis [€] | 94.745.330 | 91.639.789 | 86.611.252 | 86.611.252 |
| | Variação do Custo de Combustíveis em relação a 2013 | - | -3,28% | -8,59% | -8,59% |
| | Emissões [ton] | 149.689 | 165.029 | 155.723 | 155.723 |
| | Variação das Emissões em relação a 2013 | - | 10,25% | 4,03% | 4,03% |
| | Custo CO ₂ [€] | 1.318.700 | 1.447.088 | 1.365.486 | 1.365.486 |

| | Caso de Estudo | Caso 1 | Caso 2 | Caso 3 | Caso 4 |
|------------------|--|-------------|-------------|--------------------|-----------------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | - | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado |
| | Ano | 2013 | | | |
| Setor Energético | Energia Primária [GWh] | 1.917 | 2.232 | 2.219 | 2.219 |
| | Variação da Energia Primária em Relação a 2013 | - | 16,44% | 15,79% | 15,79% |
| | Energia Total [GWh] | 1.413 | 1.643 | 1.621 | 1.621 |
| | Variação da Energia Total em relação a 2013 | - | 16,30% | 14,69% | 14,69% |
| | Consumo de Combustíveis [GWh] | 1.711 | 1.961 | 1.949 | 1.949 |
| | Variação do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | - | 14,59% | 13,86% | 13,86% |
| | Custos com Combustíveis [€] | 176.602.236 | 165.899.939 | 162.186.107 | 162.186.107 |
| | Variação dos Custos de Combustíveis em relação a 2013 | - | -6,06% | -8,16% | -8,16% |
| | Emissões [ton] | 587.914 | 673.844 | 673.215 | 673.215 |
| | Emissões Evitadas em relação ao cenário BAU [ton] | | | 629 | 629 |
| | Variação das Emissões em relação a 2013 | - | 14,62% | 14,51% | 14,51% |
| | Custos com CO ₂ [€] | 5.179.300 | 5.908.732 | 5.903.216 | 5.903.216 |
| | Variação dos Custos de CO ₂ em relação a 2013 | - | 14,08% | 13,98% | 13,98% |

| | Caso de Estudo | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
|----------------|--|----------------------|------------------|---------------------------|--------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Referência / 100% EV | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio |
| | Ano | 2020 | | | |
| Setor Elétrico | Carga [GWh] | 1225 | 1078 | 1078 | 879 |
| | Variação da Carga em relação a 2013 | 48,99% | 31,16% | 31,16% | 6,94% |
| | Hídrica | 6,17% | 7,00% | 7,00% | 8,59% |
| | RSU | 2,08% | 2,37% | 2,37% | 2,90% |
| | Eólica | 6,56% | 7,45% | 7,45% | 9,14% |
| | Fotovoltaica | 2,00% | 2,27% | 2,27% | 2,79% |
| | Nova Eólica | 4,26% | 4,84% | 4,84% | 5,93% |
| | Nova Fotovoltaica | 1,14% | 1,29% | 1,29% | 1,59% |
| | Térmica | 77,80% | 74,78% | 74,78% | 69,06% |
| | Produção de Origem Renovável | 22,20% | 25,22% | 25,22% | 30,94% |
| | Produção de Origem Térmica | 77,80% | 74,78% | 74,78% | 69,06% |
| | Energia Primária Térmica [GWh] | 1.731 | 1.465 | 1.465 | 1.103 |
| | Variação da Energia Primária Térmica em relação a 2013 | 54,6% | 30,9% | 30,9% | -1,5% |
| | Energia Primária Renováveis [GWh] | 272 | 272 | 272 | 272 |
| | Variação da Energia Primária renovável em relação a 2013 | 32,10% | 32,10% | 32,10% | 32,10% |
| | Energia Primária Setor Elétrico [GWh] | 2.003 | 1.737 | 1.737 | 1.375 |
| | Consumo de Combustíveis [ton] | 151.354 | 128.070 | 128.070 | 96.436 |

| Caso de Estudo | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
|--|----------------------|------------------|---------------------------|--------------------|
| Cenário/Tipo de carregamento | Referência / 100% EV | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio |
| Ano | 2020 | | | |
| Consumo de combustíveis [GWh] | 1.731 | 1.465 | 1.465 | 1.103 |
| Varição do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | 54,64% | 30,85% | 30,85% | -1,47% |
| Custo Combustíveis [€] | 98.296.814 | 83.175.149 | 83.175.149 | 62.629.977 |
| Varição dos Custos Combustível em relação a 2013 | 20,08% | 1,61% | 1,61% | -23,49% |
| Emissões [ton] | 668.479 | 567.655 | 567.655 | 432.055 |
| Varição das Emissões em relação a 2013 | 52,54% | 29,53% | 29,53% | -1,41% |
| Custo CO ₂ [€] | 5.861.686 | 4.977.590 | 4.977.590 | 3.788.558 |
| Varição dos Custos com CO ₂ em relação a 2013 | 51,83% | 28,93% | 28,93% | -1,87% |
| Emissões mix de produção (g/kWh) | 546 | 527 | 527 | 492 |
| Custo Total da Energia Elétrica [€/MWh] | 109,90 | 110,04 | 110,04 | 110,34 |

| | Caso de Estudo | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
|-----------------|---|----------------------|------------------|---------------------------|--------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Referência / 100% EV | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio |
| | Ano | 2020 | | | |
| Setor Automóvel | Número Total de Veículos | 119.782 | 123.636 | 123.636 | 113.814 |
| | Energia Setor Automóvel [GWh] | 0 | 618 | 618 | 603 |
| | Variação do Consumo de Energia no Setor Automóvel em relação a 2013 | -100,00% | 4,46% | 4,46% | 1,93% |
| | Consumo de Combustíveis [ton] | 0 | 51.125 | 51.125 | 49.884 |
| | Consumo de Combustíveis [GWh] | 0 | 618 | 618 | 603 |
| | Variação do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | -100,00% | 4,36% | 4,36% | 1,82% |
| | Custo Combustíveis [€] | 0 | 86.633.512 | 86.633.512 | 84.530.919 |
| | Variação do Custo de Combustíveis em relação a 2013 | -100,00% | -8,56% | -8,56% | -10,78% |
| | Emissões [ton] | 0 | 156.056 | 156.056 | 152.269 |
| | Variação das Emissões em relação a 2013 | -100,00% | 4,25% | 4,25% | 1,72% |
| | Custo CO ₂ [€] | 0 | 1.368.410 | 1.368.410 | 1.335.199 |

| | Caso de Estudo | Caso 5 | Caso 6 | Caso 7 | Caso 8 |
|------------------|---|----------------------|------------------|---------------------------|--------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Referência / 100% EV | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio |
| | Ano | 2020 | | | |
| Setor Energético | Energia Primária [GWh] | 2.003 | 2.355 | 2.355 | 1.978 |
| | Varição da Energia Primária em Relação a 2013 | 4,52% | 22,85% | 22,85% | 3,18% |
| | Energia total [GWh] | 1.225 | 1.696 | 1.696 | 1.481 |
| | Varição da Energia Total em relação a 2013 | -13,34% | 19,99% | 19,99% | 4,84% |
| | Consumo de Combustíveis Fósseis [GWh] | 1.731 | 2.083 | 2.083 | 1.706 |
| | Varição do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | 1,17% | 21,69% | 21,69% | -0,33% |
| | Custos com Combustíveis [€] | 98.296.814 | 169.808.661 | 169.808.661 | 147.160.895 |
| | Varição dos Custos de Combustíveis em relação a 2013 | -44,34% | -3,85% | -3,85% | -16,67% |
| | Emissões [ton] | 668.479 | 723.711 | 723.711 | 584.324 |
| | Emissões Evitadas em relação ao cenário BAU [ton] | 5.365 | | | |
| | Varição das Emissões em relação a 2013 | 13,70% | 23,10% | 23,10% | -0,61% |
| | Custos com CO ₂ [€] | 5.861.686 | 6.346.000 | 6.346.000 | 5.123.757 |
| | Varição dos Custos de CO ₂ em relação a 2013 | 13,18% | 22,53% | 22,53% | -1,07% |

| | Caso de Estudo | Caso 9 | Caso 10 | Caso 11 | Caso 12 | Caso 13 |
|-------------------------------|--|-----------------------------|---------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Pessimista / Não Controlado | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado | Referência / 100% EV |
| | Ano | | | | | |
| Setor Elétrico | Carga [GWh] | 879 | 1012 | 1047 | 1047 | 1257 |
| | Variação da Carga em relação a 2013 | 6,94% | 23,10% | 27,35% | 27,35% | 52,94% |
| | Hídrica | 8,59% | 7,46% | 7,21% | 7,21% | 6,01% |
| | RSU | 2,90% | 2,52% | 2,44% | 2,44% | 2,03% |
| | Eólica | 9,14% | 7,94% | 7,68% | 7,68% | 6,39% |
| | Fotovoltaica | 2,79% | 2,42% | 2,34% | 2,34% | 1,95% |
| | Nova Eólica | 5,93% | 10,31% | 9,96% | 9,96% | 8,29% |
| | Nova Fotovoltaica | 1,59% | 2,76% | 2,66% | 2,66% | 2,22% |
| | Térmica | 69,06% | 66,59% | 67,71% | 67,71% | 73,11% |
| | Produção de Origem Renovável | 30,94% | 33,41% | 32,29% | 32,29% | 26,89% |
| | Produção de Origem Térmica | 69,06% | 66,59% | 67,71% | 67,71% | 73,11% |
| | Energia Primária Térmica [GWh] | 1.103 | 1.225 | 1.288 | 1.288 | 1.670 |
| | Variação da Energia Primária Térmica em relação a 2013 | -1,5% | 9,4% | 15,0% | 15,0% | 49,2% |
| | Energia Primária Renováveis [GWh] | 272 | 338 | 338 | 338 | 338 |
| | Variação da Energia Primária Renovável em relação a 2013 | 32,10% | 64,20% | 64,20% | 64,20% | 64,20% |
| | Energia Primária Setor Elétrico [GWh] | 1.375 | 1.563 | 1.626 | 1.626 | 2.008 |
| Consumo de Combustíveis [ton] | 96.436 | 107.048 | 112.594 | 112.594 | 146.005 | |

| Caso de Estudo | Caso 9 | Caso 10 | Caso 11 | Caso 12 | Caso 13 |
|--|-----------------------------|------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| Cenário/Tipo de carregamento | Pessimista / Não Controlado | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado | Referência / 100% EV |
| Ano | | | | | |
| Consumo de Combustíveis [GWh] | 1.103 | 1.225 | 1.288 | 1.288 | 1.670 |
| Varição do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | -1,47% | 9,37% | 15,04% | 15,04% | 49,18% |
| Custo Combustíveis [€] | 62.629.977 | 85.668.293 | 90.106.574 | 90.106.574 | 116.845.011 |
| Varição dos Custos Combustível em relação a 2013 | -23,49% | 4,66% | 10,08% | 10,08% | 42,74% |
| Emissões [ton] | 432.055 | 477.544 | 501.316 | 501.316 | 644.531 |
| Varição das Emissões em relação a 2013 | -1,41% | 8,97% | 14,40% | 14,40% | 47,08% |
| Custo CO ₂ [€] | 3.788.558 | 5.583.258 | 5.861.192 | 5.861.192 | 7.535.603 |
| Varição dos Custos com CO ₂ em relação a 2013 | -1,87% | 44,62% | 51,82% | 51,82% | 95,19% |
| Emissões mix de produção (g/kWh) | 492 | 472 | 479 | 479 | 513 |
| Custo Total Energia Elétrica [€/MWh] | 110,34 | 122,90 | 123,28 | 123,28 | 125,15 |

| | Caso de Estudo | Caso 9 | Caso 10 | Caso 11 | Caso 12 | Caso 13 |
|-----------------|---|-----------------------------|-------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Pessimista / Não Controlado | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado | Referência / 100% EV |
| | Ano | | | | | |
| Setor Automóvel | Número Total de Veículos | 113.814 | 126.146 | 126.146 | 126.146 | 126.146 |
| | Energia Setor Automóvel [GWh] | 603 | 685 | 588 | 588 | 0 |
| | Variação do Consumo de Energia no Setor Automóvel em relação a 2013 | 1,93% | 15,90% | -0,60% | -0,60% | -100,00% |
| | Consumo de Combustíveis [ton] | 49.884 | 71.725.707 | 48.825 | 48.825 | 0 |
| | Consumo de Combustíveis [GWh] | 603 | 687 | 589 | 589 | 0 |
| | Variação do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | 1,82% | 16,14% | -0,40% | -0,40% | -100,00% |
| | Custo Combustíveis [€] | 84.530.919 | 118.296.079 | 101.419.537 | 101.419.537 | 0 |
| | Variação do Custo de Combustíveis em relação a 2013 | -10,78% | 24,86% | 7,04% | 7,04% | -100,00% |
| | Emissões [ton] | 152.269 | 173.581 | 148.411 | 148.411 | 0 |
| | Variação das Emissões em relação a 2013 | 1,72% | 15,96% | -0,85% | -0,85% | -100,00% |
| | Custo CO ₂ [€] | 1.335.199 | 2.029.446 | 1.735.162 | 1.735.162 | 0 |

| | Caso de Estudo | Caso 9 | Caso 10 | Caso 11 | Caso 12 | Caso 13 |
|------------------|---|-----------------------------|-------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Pessimista / Não Controlado | BAU | Referência / Vazio | Referência / Não Controlado | Referência / 100% EV |
| | Ano | | | | | |
| Setor Energético | Energia Primária [GWh] | 1.978 | 2.248 | 2.214 | 2.214 | 2.008 |
| | Varição da Energia Primária em Relação a 2013 | 3,18% | 17,27% | 15,49% | 15,49% | 4,78% |
| | Energia Total [GWh] | 1.481 | 1.697 | 1.634 | 1.634 | 1.257 |
| | Varição da Energia Total em relação a 2013 | 4,84% | 20,09% | 15,66% | 15,66% | -11,04% |
| | Consumo de Combustíveis [GWh] | 1.706 | 1.912 | 1.877 | 1.877 | 1.670 |
| | Varição do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | -0,33% | 11,71% | 9,70% | 9,70% | -2,40% |
| | Custos com Combustíveis [€] | 147.160.895 | 203.964.372 | 191.526.112 | 191.526.112 | 116.845.011 |
| | Varição dos Custos de Combustíveis em relação a 2013 | -16,67% | 15,49% | 8,45% | 8,45% | -33,84% |
| | Emissões [ton] | 584.324 | 651.126 | 649.727 | 649.727 | 644.531 |
| | Emissões Evitadas em relação ao cenário BAU [ton] | | | 1.398 | 1.398 | 6.595 |
| | Varição das Emissões em relação a 2013 | -0,61% | 10,75% | 10,51% | 10,51% | 9,63% |
| | Custos com CO ₂ [€] | 5.123.757 | 7.612.704 | 7.596.354 | 7.596.354 | 7.535.603 |
| | Varição dos Custos de CO ₂ em relação a 2013 | -1,07% | 46,98% | 46,67% | 46,67% | 45,49% |

| | Caso de Estudo | Caso 14 | Caso 15 | Caso 16 | Caso 17 |
|-------------------------------|--|------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio | Pessimista / Não Controlado |
| | Ano | 2030 | | | |
| Setor Elétrico | Carga [GWh] | 1180 | 1180 | 878 | 878 |
| | Variação da Carga em relação a 2013 | 43,59% | 43,59% | 6,80% | 6,80% |
| | Hídrica | 6,40% | 6,40% | 8,60% | 8,60% |
| | RSU | 2,16% | 2,16% | 2,91% | 2,91% |
| | Eólica | 6,81% | 6,81% | 9,15% | 9,15% |
| | Fotovoltaica | 2,07% | 2,07% | 2,79% | 2,79% |
| | Nova Eólica | 8,83% | 8,83% | 11,88% | 11,88% |
| | Nova Fotovoltaica | 2,36% | 2,36% | 3,18% | 3,18% |
| | Térmica | 71,36% | 71,36% | 61,50% | 61,50% |
| | Produção de Origem Renovável | 28,64% | 28,64% | 38,50% | 38,50% |
| | Produção de Origem Térmica | 71,36% | 71,36% | 61,50% | 61,50% |
| | Energia Primária Térmica [GWh] | 1.531 | 1.531 | 981 | 981 |
| | Variação da Energia Primária Térmica em relação a 2013 | 36,7% | 36,7% | -12,4% | -12,4% |
| | Energia Primária Renovável [GWh] | 338 | 338 | 338 | 338 |
| | Variação da Energia Primária Renovável em relação a 2013 | 64,20% | 64,20% | 64,20% | 64,20% |
| | Energia Primária Setor Elétrico [GWh] | 1.869 | 1.869 | 1.319 | 1.319 |
| Consumo de Combustíveis [ton] | 133.801 | 133.801 | 85.765 | 85.765 | |

| Caso de Estudo | Caso 14 | Caso 15 | Caso 16 | Caso 17 |
|--|------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Cenário/Tipo de carregamento | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio | Pessimista / Não Controlado |
| Ano | 2030 | | | |
| Consumo de Combustíveis [GWh] | 1.531 | 1.531 | 981 | 981 |
| Varição do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | 36,71% | 36,71% | -12,37% | -12,37% |
| Custo Combustíveis [€] | 107.078.200 | 107.078.200 | 68.635.853 | 68.635.853 |
| Varição dos Custos Combustível em relação a 2013 | 30,81% | 30,81% | -16,15% | -16,15% |
| Emissões [ton] | 592.219 | 592.219 | 386.316 | 386.316 |
| Varição das Emissões em relação a 2013 | 35,14% | 35,14% | -11,85% | -11,85% |
| Custo CO ₂ [€] | 6.923.987 | 6.923.987 | 4.516.654 | 4.516.654 |
| Varição dos Custos com CO ₂ em relação a 2013 | 79,35% | 79,35% | 16,99% | 16,99% |
| Emissões mix de produção (g/kWh) | 502 | 502 | 440 | 440 |
| Custo Total Energia Elétrica [€/MWh] | 124,54 | 124,54 | 121,18 | 121,18 |

| | Caso de Estudo | Caso 14 | Caso 15 | Caso 16 | Caso 17 |
|-----------------|---|------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio | Pessimista / Não Controlado |
| | Ano | 2030 | | | |
| Setor Automóvel | Número Total de Veículos | 134.428 | 134.428 | 115.399 | 115.399 |
| | Energia Setor Automóvel [GWh] | 574 | 574 | 582 | 582 |
| | Variação do Consumo de Energia no Setor Automóvel em relação a 2013 | -2,92% | -2,92% | -1,48% | -1,48% |
| | Consumo de Combustíveis [ton] | 47.545 | 47.545 | 48.250 | 48.250 |
| | Consumo de combustíveis [GWh] | 574 | 574 | 582 | 582 |
| | Variação do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | -3,01% | -3,01% | -1,58% | -1,58% |
| | Custo Combustíveis [€] | 98.740.073 | 98.740.073 | 100.203.444 | 100.203.444 |
| | Variação do Custo de Combustíveis em relação a 2013 | 4,22% | 4,22% | 5,76% | 5,76% |
| | Emissões [ton] | 144.953 | 144.953 | 147.101 | 147.101 |
| | Variação das Emissões em relação a 2013 | -3,16% | -3,16% | -1,73% | -1,73% |
| | Custo CO ₂ [€] | 1.694.730 | 1.694.730 | 1.719.847 | 1.719.847 |

| | Caso de Estudo | Caso 14 | Caso 15 | Caso 16 | Caso 17 |
|------------------|---|------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | Cenário/Tipo de carregamento | Otimista / Vazio | Otimista / Não Controlado | Pessimista / Vazio | Pessimista / Não Controlado |
| | Ano | 2030 | | | |
| Setor Energético | Energia Primária [GWh] | 2.443 | 2.443 | 1.902 | 1.902 |
| | Varição da Energia Primária em Relação a 2013 | 27,44% | 27,44% | -0,79% | -0,79% |
| | Energia Total [GWh] | 1.754 | 1.754 | 1.460 | 1.460 |
| | Varição da Energia Total em relação a 2013 | 24,13% | 24,13% | 3,34% | 3,34% |
| | Consumo de Combustíveis [GWh] | 2.105 | 2.105 | 1.564 | 1.564 |
| | Varição do Consumo de Combustíveis em relação a 2013 | 22,97% | 22,97% | -8,64% | -8,64% |
| | Custos com Combustíveis [€] | 205.818.273 | 205.818.273 | 168.839.298 | 168.839.298 |
| | Varição dos Custos de Combustíveis em relação a 2013 | 16,54% | 16,54% | -4,40% | -4,40% |
| | Emissões [ton] | 737.171 | 737.171 | 533.417 | 533.417 |
| | Varição das Emissões em relação a 2013 | 25,39% | 25,39% | -9,27% | -9,27% |
| | Custos com CO ₂ [€] | 8.618.717 | 8.618.717 | 6.236.501 | 6.236.501 |
| | Varição dos Custos de CO ₂ em relação a 2013 | 66,41% | 66,41% | 20,41% | 20,41% |

Apêndice 5 - “Renewable Energy in Islands. An Integrated Proposal for Electricity Generation and Transports”



Renewable Energy in Islands. An Integrated Proposal for Electricity Generation and Transports

P. Marques¹, E. Silva¹, C. Camus¹ and E. Eusébio¹

¹ Department of Power Systems Engineering and Automation
 ISEL, Instituto Politécnico de Lisboa

Rua Conselheiro Emídio Navarro n° 1, 1959-007 Lisboa (Portugal)

Phone: +351 218317000, e-mail: 32936@alunos.isel.pt, 33199@alunos.isel.pt, ccamus@deea.isel.ipl.pt, eaeusebio@deea.isel.ipl.pt

Abstract. The purpose of this article is to analyse and evaluate the economical, energetic and environmental impacts of the increasing penetration of renewable energies and electrical vehicles in isolated systems, such as *Terceira Island* in Azores and *Madeira Island*.

Given the fact that the islands are extremely dependent on the importation of fossil fuels - not only for the production of energy, but also for the transportation's sector - it's intended to analyse how it is possible to reduce that dependency and determine the resultant reduction of pollutant gas emissions.

Different settings have been analysed - with and without the penetration of EVs - and one particular setting (quite unreal but also quite useful to evaluate the impacts) with a fleet of 100% EVs. With the penetration of new renewable energy sources in *Terceira Island* and the reinforcement of wind power (already existent on the island) it is possible to reduce the emissions of pollutant gas and the purchase of fossil fuels in 63% by 2030.

In *Madeira*, it is possible to reduce costs and avoid the emissions of 1398 tons of CO₂ using EVs.

Key words

Renewable energy, Electric vehicles, Madeira Island, Terceira Island, Load profile.

1. Introduction

Energy is basic to life, to the citizens' well being and to the social and economical development, that is, without energy there can only be so much quality of life: comfort, property and services. However, besides being an essential resource to the social and economical development, energy is also a strong factor of environment pressure [1].

As far as the energy's production is concerned, most islands depend on the importation of oil and its related products, expensive and highly problematic to the environment.

In most cases it's almost impossible to connect the islands to the energy network in continental Europe, which makes it difficult to execute solutions to reduce the costs to the

environment and, at the same time, increase the security of the supply of electrical energy in order to maintain the quality of life and the islands economical structures and sustainability. Due to the high costs of energy, the islands are proven to be excellent test points for the introduction of new technologies, and some islands are even trying to become, the so called, *renewable islands* in order to satisfy the demand of totally renewable energy, or at least, energies that are mostly originated from renewable and endogenous resources, which rises the security of the supply and employment opportunities, without necessarily rising costs. Islands that have renewable energy sources, such as hydro-electric and geothermic, can easily integrate them in the energy's system [2]. However, the energy provided by renewable sources, like the wind and the sun, aren't constant and are rarely predictable. Those fluctuations in the energy's supply can cause differences in the necessary balance between production and demand. As consequence, important variations on the frequency and tension levels are verified, which may affect the electrical energy's system stability. These problems are serious in small isolated networks, therefore, it's necessary to continuously control the instant power supplied by renewable energies' sources [3].

On the islands, because they're smaller and less busy territories, the incentive to the use of public transportations is very narrow (because private transportations don't face the main two big issues known in cities: the time of travel and the difficulty to park). Given this fact, it's imperative to turn the private fleets electrical, more than implement intensive measures to promote public transportations [4].

2. Isolated System Analysis

The integration of renewable energies on the islands' energy system presents several advantages, including on the economical level: the technological high cost is compensated by the high cost of the conventional energy sources due to the small dimension of the systems and the

supply security. In order to obtain a sustainable development, the integration of renewable energy sources to produce electricity as well as the policies and appropriate regulations about the rational use of energy are very important.

The conventional technologies to produce electricity are rarely adapted to the conditions of isolated areas and may seriously damage the vulnerable ecosystems and natural habitats. There is the need to develop an infrastructure to supply energy which considers the seasonal variations caused by the tourism, without destroying the local environment or produce unnecessary emissions [5].

A. Canary Islands (Spain)

The political and environmental concerns result in a special energetic strategy in *Canary Islands*, which shows the importance of improving the endogenous energetic resources and the renewable energies, in order to provide energy for a constant and stable supply, low cost and environmental compatible. Here, the wind and solar energy have been reinforced and the solar panels and photovoltaic systems expanded. Previous studies show that an isolated system of energy storage is extremely important for the use of a huge potential of wind energy on the islands [6].

B. Ærø Island (Denmark)

The solar energy is used for urban heating, being this the main energy source in *Aero Island*.

Nowadays, the thermal solar panels installed are 39,83 square feet (3,7m²) per inhabitant in a total of 288 472,79 square feet (26 800 m²); there are three power plants of urban heating on the island, which result in the most developed penetration of renewable energy in a specific area.

In 2001 it was estimated that 20.5 GWh, illustrating 57% of the total electricity consumption in Aero was supported by 7.2 MW of wind energy.

It was decided, in *Aero*, to work continuously to cover the energy's consumption on the islands with 80 to 100% of renewable energy during the period of 10 years (1998-2008). In 2000, *Aero Island* was the winner of "Danish Solar City". [6] [7].

C. Greek Islands

Several types of renewable energies are used on the *Greek Islands*. By 2005, 50 wind parks were installed with the total of 120 MW and 300 KWp of photovoltaic energy yet to finalize its installation. Besides, a small hydroelectric unit (300kW) and a unit of gas flaring (166 kW) are situated in Crete. On *Ikaria Island* an hybrid energy system includes a regular hydroelectric unit – connected to two pumping-and-storing plants of 3.8 MW – and a wind park of 2.4 MW. In 2003, the electrical system produced 23 GWh of energy, 6.23 GWh (27.1%) of which was wind energy, 7.96 GWh (34.6%) and 8.80 GWh (38.3%) were supplied by fossil fuels and hydroelectric prospectively [6].

D. Corvo Island (Azores)

Corvo is the smallest island of Azores archipelago and the supply of electrical energy for such small and isolated island is extremely limited. There is also a huge concern about environment issues related to the fossil fuel, for example, the contamination and pollution of the water and soil by oil related products, that happen through the leaking of such materials during the transportation and storage. The fuel costs for *Corvo Island* is the highest of the entire archipelago – almost five times over the average of other islands.

Here, the security of the supply is a real and permanent concern because, due to the unstable weather conditions, it's common for oil to lack. To reduce *Corvos's* dependency and facilitate a secure supply, the implementation of an energy system that combines renewable energy systems and oil supply is the best solution.

The most important endogenous resource in *Corvo* is the wind, although there is also some hydropower potential; both of them being deficient during the summer.

The water supply system is well prepared to integrate with the energy supply system's storage like the reversible hydroelectric. The same reservoir may be used for both, which increases the viability of such system, as well as the energy's penetration.

Because of the physical and weather characteristics of *Corvo* there is potential to install the storage of pumped water to produce hydroelectric energy later in time. The installation of turbines offers benefits of about 70%; this is possible because the water from the top reservoir can be used to produce electricity, which will be supplied to the network and, then, fill the low reservoir.

Without storage, the penetration of renewable energy from the wind reaches 25%; considering a wind-hydropower setting it's possible to supply up to 70% of energy from renewable sources, highly increasing security supply [8].

E. Porto Santo Island (Madeira)

An essay has been made about the increase of RE in Porto Santo. Since the island doesn't have hydro resources available, the endogenous resources are the sun and the wind. In order to increase the RE, it's necessary to resort to storage and that can be made by using hydrogen through electrolysis, kept in a fuel cell and used when necessary to supply the network with energy [9].

3. Grid Characterization

In order to elaborate this article it was necessary to characterize the electricity's systems of the islands in analysis.

A. Terceira Island (Azores)

The electricity system of *Terceira* includes six power-stations, as it shows on Table I.

Table I – Power-stations in 2012

| Designation | Primary source | Installed Power(kW) |
|-------------------------------|----------------|---------------------|
| Belo Jardim Thermal Unit | Fueloil | 61116 |
| City's Hydric Unit | Hydro | 264 |
| Nasce D'Água Hydro Unit | | 720 |
| São João Hydro Unit | | 448 |
| Serra do Cume Wind Farm | Wind | 9 000 |
| Serra do Cume North Wind farm | | 3 600 |
| Total | - | 75 148 |

Between 1991 and 2010 it was confirmed a substantial increase of electrical energy (Fig. 1). It is also worthy of notice that when the wind farm of *Serra do Cume* began its activity, in 2008, the thermal power plant decreased its production because of the energy produced by the wind.

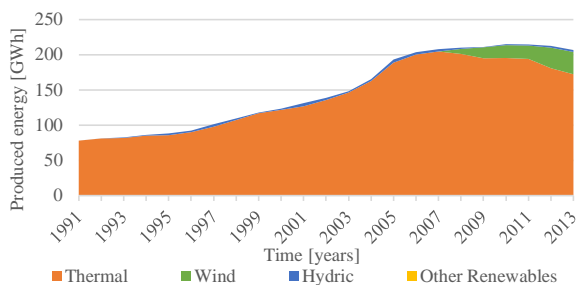


Fig. 1. The evolution in electrical energy according to the type

In 1991 all the electrical energy produced in *Terceira* was from fossil fuels. In 2013 there was a production of 17% originated on RE, 15% of which was wind energy (Fig. 2).

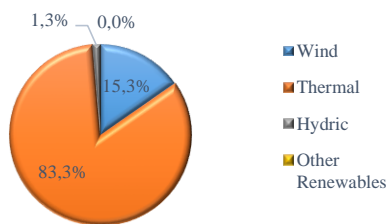


Fig. 2. Production of electrical energy in 2013

Fig.3 represents the load diagram of a typical spring day.

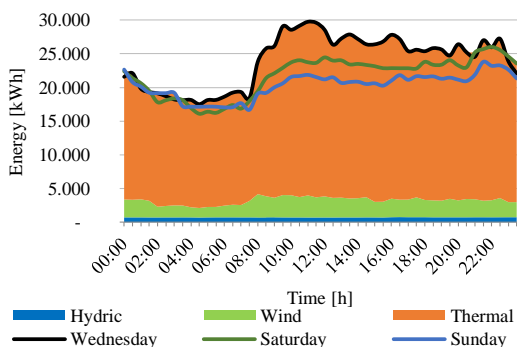


Fig. 3. Typical load profile on a spring day 2013

B. Madeira Island

The electricity generation system in *Madeira Island* includes two thermal power plants operating on fuel oil, ten hydroelectric stations, nine wind parks, one station of treatment of municipal solid waste (MSW) and seven hundred and nine photovoltaic panels. According to the data on Table II, we can analyse the installed power of each technology.

Table II – Electricity producing system in Madeira, 2013

| Eletroprodutor System of <i>Empresa de Eletricidade da Madeira (EEM)</i> | |
|--|----------------------|
| Technology | Installed Power [MW] |
| Thermal | 182,70 |
| Hydro | 49,97 |
| Eletrogeneration System of Private Companies | |
| Technology | Installed Power [MW] |
| Thermal | 36 |
| Hydro | 0,7 |
| Wind | 45,11 |
| Photovoltaic | 17,96 |
| MSW | 8 |
| Total | 340,44 |

The production of electrical energy in *Madeira's* network increased until 2008; after that year, the energy from thermal sources has decreased. On the contrary, the energies originated from renewable sources have increased (Fig. 4).

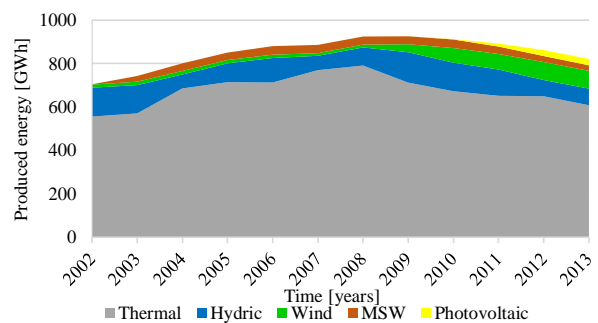


Fig. 4. Evolution on the production of electrical energy according to each type of technology

Fig. 5, represents the contribution of each technology for the electrical network in 2013.

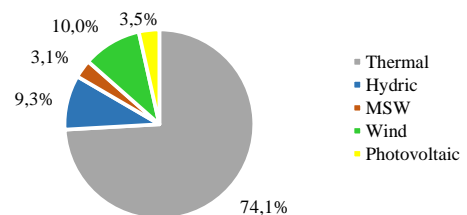


Fig. 5. Contribution of energy per source in 2013

Fig. 6 shows a diagram of average load in spring for the same year.

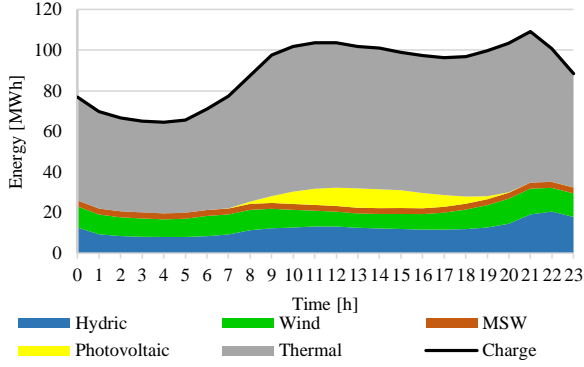


Fig. 6. Average load profile for spring 2013

4. Methodology

4.1. Automotive sector

In order to understand the evolution of the fleet of cars on the islands, firstly it was calculated the density of vehicles (number of vehicles per 1000 inhabitants), using the numbers of vehicles and the numbers of inhabitants of each island.

$$f_t = \frac{N_{ct} \times 1000}{H_{xt}} \quad (1)$$

With:

f_t – Number of vehicles per 1000 inhabitants with real figures for year t ;

N_{ct} – Number of passenger's vehicles for year t ;

H_{xt} – Number of inhabitants for location x for year t , with x equal to *Terceira* or *Madeira Island*.

The equation used to estimate de vehicles' density was Gompertz function, which formula is expressed in (2) [10].

$$VD_t = c + (S - c) \cdot e^{-e^{-b(t-a)}} \quad (2)$$

Considering:

VD_t – Density of vehicles for year t ;

S – Saturation point;

a – Inflexion point of the time axis' curve;

b – Parameter of scale;

c – Translation on axis' curve of y ;

t – Time in years.

In order for the density curve of the vehicles to be well adjusted to the real figures, it was used the method of minimum squares with the following expression:

$$\begin{aligned} \min \sum (f_t - VD_t)^2 \\ \text{s. a. } a \geq 0 \\ b \geq 0 \\ c \geq 0 \\ S \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

To verify if the Gompertz formula is well adjusted to the density of the existent vehicles the determination coefficient (R^2) was calculated:

$$R^2 = \left(\frac{\sum ((f_t - \bar{f}) \cdot (VD_t - \overline{VD}))}{\sqrt{(\sum (f_t - \bar{f})^2) \cdot (\sum (VD_t - \overline{VD})^2)}} \right)^2 \quad (4)$$

With:

R^2 – Determination coefficient;

\bar{f} – Number of passenger's vehicles per 1000 inhabitants according to average real figures;

\overline{VD} – Average vehicle density.

Three different settings of EV's penetration on the two islands were considered, as we can see in Fig. 7, but this paper has only analysed the reference scenarios.

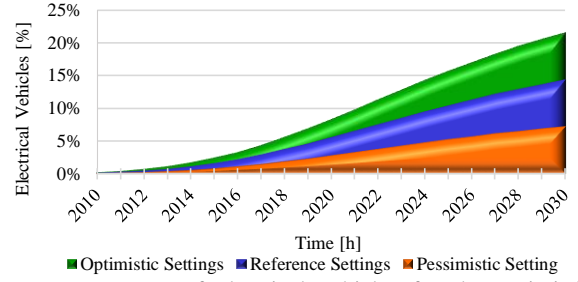


Fig. 7. Percentage of electrical vehicles for the optimistic, reference and pessimistic scenarios

The charging profiles of EVs considered were presented in Fig. 7, 8, 9 and 10. The off-peak charging for *Madeira Island* and the following two (with controlled charging) to *Terceira* with 14% and 100% EVs.

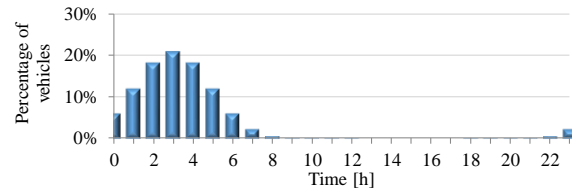


Fig. 8. Charging profile in off-peak

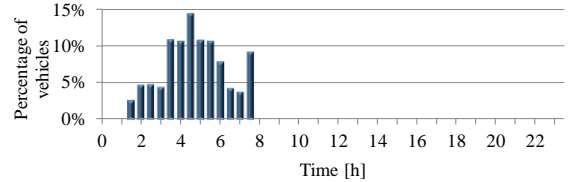


Fig. 9. Profile of charging controlled with 14% EV in spring

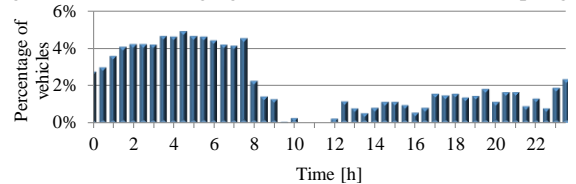


Fig. 10. Profile of charging controlled with 100% EV in spring

4.2. Electrical sector

To determine the evolution of electrical energy's consumption, it was used the same approach of calculus used in the evolution prediction in automobile sector, the

Gompertz function, since the electrical energy's consumption presents a sigmoidal shape. This time, it was calculated the Consumption of Energy *per capita* (DC, *Consumption Density*, energy's consumption per each inhabitant resident in a certain country).

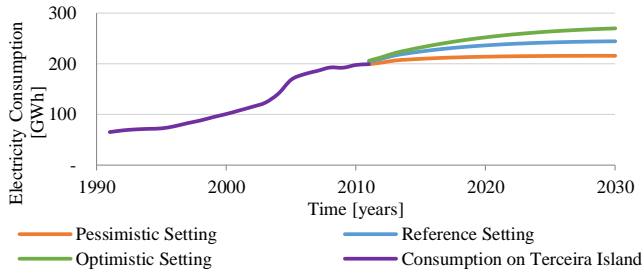


Fig. 11. Evolution and propensity of electricity's consumption in Terceira Island

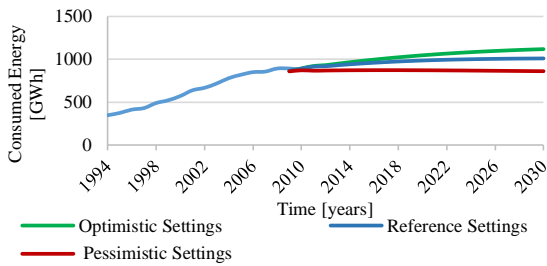


Fig. 12. Evolution and propensity of electricity's consumption in Madeira Island

5. Case Study

A. Terceira Island (Azores)

After analysing the data on Table III (increase of capacity to install) and the 14% of EV's penetration with charging profile (Fig. 9), it was possible to obtain the graphic for 2030 (Fig. 13).

Table III – Increase of power to install

| Wind | Geothermal | Photovoltaic | Biomass |
|---------|------------|--------------|---------|
| 16,2 MW | 12 MW | 4,2 MW | 3,07 MW |

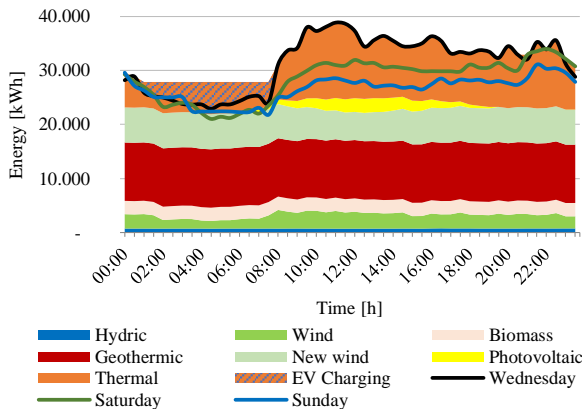


Fig. 13. Graphic of charge for 2030 with 14% of EVs

Comparing the previous data with the situation in 2030 it's quite clear, the thermal energy and that originated in fossil sources decrease considerably. The energy originated in

renewable sources will increase from 17% in 2013 to 74% in 2030; this makes it possible to reduce the importation of fossil fuels in 44% and the emission of pollutant gases in 45%. In conclusion, the use of renewable energy according to these figures allows the reduction of costs in the electrical sector by 11%.

Considering a very unreal setting (using 100% EV) there must be an increase of electrical energy production in 17.4%. Although that increase is almost all from the thermal power plant, it isn't necessary to import any other kind of fossil fuel (for vehicles), which results in a reduction of 4.7% in fossil importations and 0.1% in emissions compared to the previous setting.

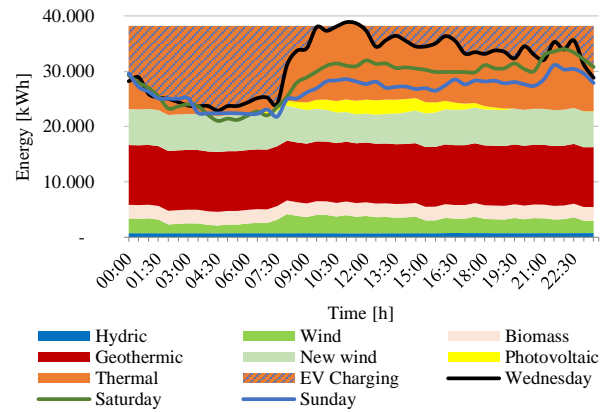


Fig. 14. Graphic of charge typical of spring for 2030 with 100% EV

B. Madeira Island

The data on diagram for 2030 (Fig. 15) is the result of the data from Fig. 12 (which represents the setting of reference in the increase of charge), Table IV (which represents the increase of power to install) and Fig. 8 (which represents the penetration of 14% EV with charging profile).

Table IV – Increase of power to install

| Wind | Photovoltaic |
|-------|--------------|
| 60 MW | 20 MW |

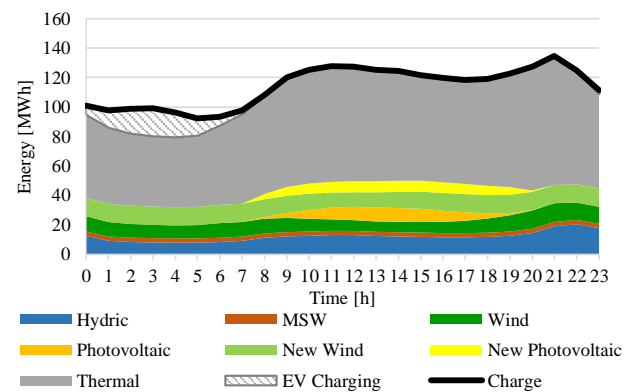


Fig. 15. Diagram of average charge for spring 2030 with 14% EVs

In 2013, *Madeira Island* was provided with 25.9% of renewable energy sources. Reinforcing the power of the

wind and photovoltaic energy in 2030, it will be possible to have 32.3% of energy from renewable sources. Even with these efforts, the importation of fossil fuels will increase in 9.7% and the emissions in 10.5%; these figures would be even higher without the penetration of EVs, it's estimated 11.7% for importations and 10.8% for emissions.

Considering the scenario of 100% EVs, the production of electrical energy must increase in 20%. Even though that increase is completely originated in the thermal power plant, there is a reduction of 11% in importation of fossils and 0.8% in emissions compared to the BAU scenario.

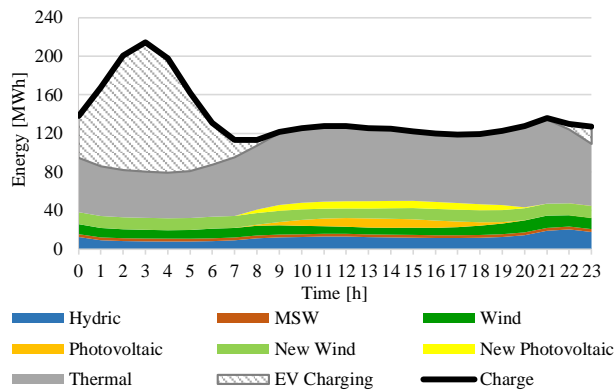


Fig. 16. Diagram of average charge for spring 2030 with 100% EVs

6. Conclusions

By analysing and comparing the islands in this study we can conclude that having a geothermal source of energy is extremely useful specially because it's constant and with a high load factor so that can provide the base load consumption

As far as energy, economy and environment are concerned it's been verified that the more significant the penetration of EVs in the islands, the higher the benefits. In fact emissions associated to EVs are highly dependent on the electricity generation mix of the Islands and its emissions' factor.

In these case studies it's perfectly understood that the transportation sector is an extremely significant consumer of energy, in such way that if the fleet was 100% electrical, the impacts to the network would cause difficulties to the operation system, and in a situation like that the best solution would be for the system's operator to have some control as far as the charge of the vehicles is concerned (case study of *Terceira Island*).

Acknowledgement

We would like to thank Engineer Alexandre Pereira, *EDA (Azores Electricity)* and Engineer Aires Henriques, *EEM (Madeira network)* for kindly making available all the data required to elaborate this article and, also, for the time they've spared in helping clarify all our questions.

References

- [1] C. Furtado e T. Braga, "Energias Renováveis nos Açores," ARENA - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma dos Açores, 2007.
- [2] N. Duic, M. Lerer e M. G. Carvalho, "INCREASING THE SUPPLY OF RENEWABLE ENERGY," *International Journal of Sustainable*, pp. 177-186, 4 12 2003.
- [3] J. Merino, C. Veganzones, J. A. Sanchez, S. Martinez e C. A. Platero, "Power System Stability of a Small Sized Isolated Network Supplied by a Combined Wind-Pumped Storage Generation System: A Case Study in the Canary Islands," *energies*, pp. 2351-2369, 5 2012.
- [4] Azorina, "Plano de ação para a energia sustentável - Arquipélago dos Açores," Março de 2012.
- [5] R. Segurado, G. Krajacic, N. Duic e L. Alves, "Increasing the penetration of renewable energy resources in S. Vicente, Cape Verde," *ELSEVIER*, pp. 466-472, 6 7 2010.
- [6] F. Chen, N. Duic, L. M. Alves e M. d. G. Carvalho, "Renewislands—Renewable energy solutions for islands," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1888-1902, 2007.
- [7] T. L. Jensen e Forum for Energy and Development, *Renewable Energy on Small Islands*. 2nd, 2000.
- [8] N. Duic, G. Krajacic e M. d. G. Carvalho, "Renewislands methodology for sustainable energy and resource planning for islands," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, p. 1032-1062, 13 10 2006.
- [9] N. Duic e M. d. G. Carvalho, "Increasing renewable energy sources in island energy supply: case study Porto Santo," *ELSEVIER*, pp. 383-399, 2004.
- [10] C. Camus e T. Farias, "The electric vehicles as a mean to reduce CO2 emissions and energy costs in isolated regions. The São Miguel (Azores) case study," *Energy Policy* 43, pp. 153 - 165, 2012.