

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Impacto dos perfis de mobilidade elétrica na
adequação da reserva operacional**

Diogo Manuel Santos Silva

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Manuel António Cerqueira da Costa Matos

31/07/2012

Resumo

A presente dissertação, desenvolvida ao longo de 5 meses, tem como objetivo avaliar o impacto que diferentes perfis de consumo de veículos elétricos, também denominados por perfis de mobilidade elétrica, têm na segurança de abastecimento e na adequação da reserva operacional. A análise foi feita em termos de índices de fiabilidade, os quais foram obtidos de um programa de simulação já existente.

Para se perceber como o consumo de veículos elétricos comporta-se ao longo do dia, e como ele poderá afetar o sistema produtor de eletricidade, cada uma das seguintes etapas foi realizada cronologicamente no tempo:

- Compreensão da metodologia implementada no programa de simulação, e também a modelização do consumo de veículos eléctricos introduzida neste programa.
- Levantamento, interpretação e harmonização dos perfis de mobilidade.
- Elaboração dos perfis diários de consumo de veículos eléctricos, combinando os perfis de mobilidade com cada uma das estratégias de carregamento.
- Introdução dos diferentes perfis de consumo no programa de simulação, e posterior análise aos resultados obtidos.
- Análise da redução do desperdício de renovável, considerando o consumo de veículos eléctricos nas horas de vazio.

Tendo em conta cada uma das etapas mencionadas anteriormente, e os objetivos traçados, a realização das diversas atividades permitiu adquirir um conhecimento mais aprofundado de assuntos que foram muito pouco abordados durante o percurso curricular, não só sobre metodologias utilizadas em estudos de fiabilidade, concretamente a avaliação da segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional, mas também sobre o estado de arte de veículos eléctricos.

Abstract

The present work, developed over five months, aims to assess the impact that different electric vehicles consumption profiles, also known by electric mobility profiles, have in the security of supply and the adequacy of operating reserve. The assessment was done in terms of reliability indices, which were obtained from an existing simulation program.

To understand how the electric vehicle consumption behaves throughout the day, and how it could affect the generating power system, each of the following steps were performed chronologically in time:

- Understanding of the methodology implemented in the simulation program, and also the modeling of electric vehicles consumption introduced in this program.*
- Achievement, interpretation and harmonization of mobility patterns.*
- Achievement of the electric vehicles daily consumption profiles, combining the mobility patterns to each of the charging strategy.*
- Introduction of the different consumption profiles in the simulation program, and subsequent analysis of the obtained results.*
- Analysis of the renewable waste reduction, considering the off-peak consumption of electric vehicles.*

Having regard each of the steps mentioned above, and the objectives outlined, the execution of the various activities permitted to acquire a deeper knowledge of issues were hardly addressed during the academic, not only on methodologies used in reliability studies, namely the assessment of security of supply and the adequacy of operating reserve, but also the state of art of electric vehicles.

Agradecimentos

Para a elaboração desta dissertação, existem várias pessoas que me ajudaram muito, e que passo a citar de seguida.

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, o professor Manuel Matos, pela sua dedicação, disponibilidade e apoio manifestadas ao longo desta dissertação, procurando sempre orientar no sentido de melhorar a elaboração do trabalho.

Em segundo lugar quero agradecer aos meus amigos, especialmente à minha namorada, que sempre me incentivaram a nunca desistir dos meus objetivos. Quero agradecer em particular ao Leonardo Bremermann, que me ajudou sempre muito, tanto no fornecimento de material e ferramentas de apoio para elaboração dos resultados contidos nesta dissertação, como na disponibilidade para tirar dúvidas que foram surgindo ao longo do tempo.

Em terceiro lugar gostava de agradecer à minha família, sem a qual este trabalho não seria possível de realizar.

Índice

Capítulo 1.....	1
Introdução.....	1
1.1 - Contexto e motivação.....	1
1.2 - Objetivos	2
1.3 - Estrutura da dissertação.....	3
Capítulo 2.....	6
EV e influência na reserva operacional.....	6
2.1 - Veículos elétricos EV	6
2.1.1 - História dos EV	6
2.1.2 - Atualidade e futuro dos EV.....	7
2.1.3 - Vantagens e desvantagens dos EV.....	7
2.2 - Veículos híbridos HEV	8
2.2.1 - História dos HEV.....	8
2.2.2 - Modelos híbridos de recarregamento pela rede PHEV	9
2.2.3 - Atualidade e futuro dos PHEV	9
2.2.4 - Vantagens e desvantagens dos PHEV	9
2.3 - Baterias.....	10
2.3.1- Tipos de baterias, principais características e desenvolvimentos	10
2.3.2- Diferentes modos de condução.....	12
2.4- V2G	13
2.5- Metodologias utilizadas em estudos de fiabilidade	15
2.6- Avaliação da segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional, incorporando EV no sistema	16
2.7- Processo de contagem de Poisson.....	17
2.8- Principais impactos dos EV e PHEV no SEE	19

Capítulo 3	22
Perfis de mobilidade elétrica.....	22
3.1 - Introdução	22
3.2 - Características gerais dos perfis de mobilidade	23
3.3 - Perfis de mobilidade.....	25
3.3.1 - Perfil 1	25
3.3.2 - Perfil 2	27
3.3.3 - Perfis 3 e 4	29
3.3.4 - Perfis 5 e 6	32
3.3.5 - Perfil 7	36
3.3.6 - Perfil 8	38
3.3.7 - Perfis 9 a 12	40
3.3.8 - Perfil 13 a 16.....	48
3.3.9 - Nomeação dos perfis de mobilidade	50
3.4 - Perfis de consumo de EV	51
3.4.1 - Estratégias de carregamento.....	51
3.4.2 - Previsão do parque automóvel.....	53
3.4.3 - Perfis diários de consumo de EV	54
Capítulo 4	63
Resultados das simulações	63
4.1- Introdução e caracterização do SEE considerado	63
4.2- Análise aos resultados das simulações	65
4.2.1 - Resultados da simulação sem considerar EV	65
4.2.2 - Resultados das simulações da segurança de abastecimento, considerando EV .	66
4.2.3 - Resultados das simulações da adequação da reserva operacional, considerando EV	68
Capítulo 5	72
Estudo do desperdício de renovável	72
5.1- Princípios básicos do problema.....	72
5.2- Introdução de dados no software utilizado	74
5.3- Resultados das simulações	74
Capítulo 6	77
Conclusões e trabalhos futuros	77
6.1- Principais conclusões do trabalho.....	77
6.2- Sugestões para trabalhos futuros	78
Referências	79
Anexos	83

Lista de figuras

Figura 2.1 - Desempenho das diferentes baterias comerciais [17].	11
Figura 2.2 - Crescimento exponencial da densidade de energia (gráfico superior) e da energia específica (gráfico inferior) ao longo dos anos [17].	11
Figura 2.3 - Modos de operação de EV, PHEV e HEV [15].	13
Figura 2.4 - Representação dos EV na avaliação da adequação da reserva operacional.	17
Figura 2.5 - Distribuição das chegadas às 13:00.	19
Figura 2.6 - Impactos e intercomunicações dos EV no SEE [12].	20
Figura 3.1 - Diagrama de estabelecimento dos perfis de consumo de EV a partir dos diferentes perfis de mobilidade e estratégias de carregamento.	23
Figura 3.2 - Perfil 1: Histograma diário das chegadas de automóveis a um dos destinos mencionados, com a exceção da escola, durante um dia da semana [33].	27
Figura 3.3 - Distribuição diária das partidas ao fim-de-semana segundo os diferentes modos de transporte [49].	28
Figura 3.4 - Gráfico com tempos médios de duração das deslocações para o automóvel [44].	28
Figura 3.5 - Perfil 2: Histograma diário das chegadas de automóveis a um dos destinos mencionados, durante um dia de fim-de-semana.	29
Figura 3.6 - Gráfico com percentagens diárias de ocorrência de eventos de estacionamento de veículos ligeiros [50].	30
Figura 3.7 - Perfil 3: Histograma diário dos estacionamentos de EV aos vários locais possíveis, num dia da semana.	31
Figura 3.8 - Perfil 4: Histograma diário dos estacionamentos de EV nos vários locais possíveis, num dia de fim-de-semana.	32
Figura 3.9 - Percentagem face ao total de EV estacionados ao longo de 24h, para os dias da semana (<i>Workday</i>), Sábado e Domingo [51].	33
Figura 3.10 - Histograma diário do total de EV que estão a estacionar.	35
Figura 3.11 - Perfil 5: Histograma diário de estacionamentos de veículos ligeiros, num dia da semana.	35

Figura 3.12 - Perfil 6: Histograma diário de estacionamento de veículos ligeiros, num dia de fim-de-semana.....	36
Figura 3.13 - Histograma diário das viagens h2h-trip [52].....	37
Figura 3.14 - Perfil 7: Histograma diário das chegadas de automóveis a casa, durante um dia da semana.	38
Figura 3.15 - Distribuição diária das partidas ao fim-de-semana segundo os diferentes motivos [49].	39
Figura 3.16 - Perfil 8: Histograma diário das chegadas de automóveis a casa, durante um dia de fim-de-semana.....	39
Figura 3.17 - Resultados das percentagens das viagens segundo os diferentes modos de transporte.	41
Figura 3.18 - Resultados sobre percentagens de realização de viagens segundo os diferentes motivos.....	42
Figura 3.19 - Resultados sobre percentagens de nº de viagens diariamente feitas devido ao seu principal motivo.	42
Figura 3.20 - Distribuições das percentagens referentes às 4 situações mencionadas.	43
Figura 3.21 - Histograma diário das chegadas de automóvel a casa, durante um dia da semana, com as respetivas linearizações consideradas.	44
Figura 3.22 - Histogramas diários com as hipóteses 1 e 3.	45
Figura 3.23 - Perfil 9: Histograma diário das chegadas de automóvel a casa, durante um dia da semana.	46
Figura 3.24 - Perfil 10: Histograma diário das chegadas de automóvel a casa, durante um dia de fim-de-semana.	46
Figura 3.25 - Perfil 11: Histograma diário das chegadas de automóvel a um dos destinos mencionados exceto a escola, durante um dia da semana.	47
Figura 3.26 - Perfil 12: Histograma diário das chegadas de automóvel a um dos destinos mencionados exceto a escola, durante um dia de fim-de-semana.	47
Figura 3.27 - Perfil 13: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.	48
Figura 3.28 - Perfil 14: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.	49
Figura 3.29 - Perfil 15: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.	49
Figura 3.30 - Perfil 16: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.	50
Figura 3.31 - Histograma de chegadas do perfil “Leonardo” entre as 16h e 22h, com os perfis de consumo de EV.....	57
Figura 3.32 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 1, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.	58
Figura 3.33 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 13, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.	59

Figura 3.34 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 14, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.	59
Figura 3.35 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 15, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.	60
Figura 3.36 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 16, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.	61
Figura 4.1 - Índice LOLF na avaliação da segurança de abastecimento, para carregamentos não controlados.	66
Figura 4.2 - Índice LOLF na avaliação da segurança de abastecimento, considerando diferentes percentagens de EV a carregarem nas horas de vazio.	66
Figura 4.3 - Índice LOLE na avaliação da segurança de abastecimento, para carregamentos não controlados.	67
Figura 4.4 - Índice LOLE na avaliação da segurança de abastecimento, considerando diferentes percentagens de EV a carregarem nas horas de vazio.	67
Figura 4.5 - Índice LOLF na avaliação da adequação da reserva operacional, para carregamentos não controlados.	68
Figura 4.6 - Índice LOLF na avaliação da adequação da reserva operacional, para carregamentos controlados.	69
Figura 4.7 - Índice LOLE na avaliação da adequação da reserva operacional para carregamentos direto e nas horas de vazio para ambos os períodos de carregamento.	69
Figura 4.8 - Índice LOLD na avaliação da adequação da reserva operacional para carregamentos não controlados.	70
Figura 4.9 - Índice LOLE na avaliação da adequação da reserva operacional para carregamentos controlados.	70
Figura 5.1 - Esquema do escalonamento da geração em função da carga.	73
Figura 5.2 - Esquema das duas situações consideradas, com hídrica prioritária à eólica (esquerda), e eólica prioritária à hídrica (direita).	73
Figura 5.3 - Resultados das simulações, sem considerar EV, considerando hídrica prioritária.	75
Figura 5.4 - Resultados das simulações, sem considerar EV, considerando eólica prioritária.	75

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Nº de EV que chegam, e também dos que carregam, considerando o perfil de mobilidade “Leonardo” e a estratégia de carregamento direto.	55
Tabela 3.2 - Nº de EV que chegam, e também dos que carregam, considerando o perfil de mobilidade “Leonardo” e a estratégia de carregamento nas horas de vazio, considerando o período das 22h às 8h.	56
Tabela 3.3 - Nº de EV que chegam, e também dos que carregam, considerando o perfil de mobilidade “Leonardo” e a estratégia de carregamento controlado, com capacidade de controlar 60% dos EV no período das 22h às 8h.	57
Tabela 4.1 Parâmetros do programa de simulação.	64
Tabela 4.2 Parâmetros das diferentes classes de veículos considerados no programa de simulação.	64
Tabela 4.3 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação das reservas estática e operacional, sem considerar EV incorporados no SEE.	65
Tabela 7.1 - Lista dos atuais EV no mercado.	83
Tabela 7.2 - Valores percentuais dos histogramas, λ , relativos aos primeiros 12 perfis de mobilidade.	84
Tabela 7.3 - Valores percentuais dos histogramas, λ , relativos aos perfis de mobilidade 13 a 16.	85
Tabela 7.4 - Declives das retas m entre os intervalos de 2 horas considerados, para construção dos perfis 9 ao 12.	85
Tabela 7.5 - Ordenadas na origem b das retas entre os intervalos de 2 horas considerados, para construção dos perfis 9 ao 12.	86
Tabela 7.6 - Consumo diário hora a hora, em MW, da carga convencional, considerando o dia em que ocorre a ponta do diagrama de cargas prevista para 2020.	86
Tabela 7.7 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento direto.	87
Tabela 7.8 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.	88

Tabela 7.9 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.	89
Tabela 7.10 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento controlado.	90
Tabela 7.11 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento direto.	91
Tabela 7.12 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.	92
Tabela 7.13 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.	93
Tabela 7.14 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento controlado.	94
Tabela 7.15 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento direto.	94
Tabela 7.16 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.	95
Tabela 7.17 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.	95
Tabela 7.18 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 22h às 8h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.	95
Tabela 7.19 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 20% dos EV com capacidade de controlo.	96
Tabela 7.20 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 50% dos EV com capacidade de controlo.	96
Tabela 7.21 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.	96
Tabela 7.22 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento direto.	97
Tabela 7.23 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.	97
Tabela 7.24 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.	97
Tabela 7.25 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 22h às 8h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.	98
Tabela 7.26 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 20% dos EV com capacidade de controlo.	98

Tabela 7.27 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 50% dos EV com capacidade de controlo.....	98
Tabela 7.28 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.....	99
Tabela 7.29 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 500 MW, sem considerar EV.	99
Tabela 7.30 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 1005 MW, sem considerar EV.....	99
Tabela 7.31 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 500 MW, considerando.	99
Tabela 7.32 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 1005 MW, considerando.	100
Tabela 7.33 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 500 MW, sem considerar EV.	100
Tabela 7.34 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 1005 MW, sem considerar EV.....	100
Tabela 7.35 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 500 MW, considerando.	100
Tabela 7.36 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 1005 MW, considerando.	100

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

BEV	<i>Battery Electric Vehicle</i>
CARB	<i>California Air Resources Board</i>
CD	<i>Charge Depleting</i>
CEE	Comunidade Económica Europeia
CP	<i>Charging Point</i>
CS	<i>Charge Sustaining</i>
DOD	<i>Depth of Discharge</i>
EENS	<i>Expected Energy not Supplied</i>
EPNS	<i>Expected Power not Supplied</i>
EV	<i>Electric Vehicle</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GPS	<i>Global Positioning System</i>
H2H-Trip	<i>Home to Home Trip</i>
HEV	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
HWFET	<i>Highway Fuel Economy Test</i>
ICE	<i>Internal Combustion Engine</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IMTT	Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres
LOLC	<i>Loss of Load Cost</i>
LOLD	<i>Loss of Load Duration</i>
LOLF	<i>Loss of Load Frequency</i>
LOLE	<i>Loss of Load Expected</i>
LOLP	<i>Loss of Load Probability</i>
MCS	<i>Monte Carlo Sequential</i>
MERGE	<i>Mobile Energy Resources in Grids of Electricity</i>
NUTS	Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
OS	Operador do Sistema
PEV	<i>Plug-in Electric Vehicle</i>

PHEV	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
SEE	Sistema Elétrico de Energia
SOC	<i>State of Charge</i>
UC	<i>Unit Commitment</i>
UDDS	<i>Urban Dynamometer Driving Schedule</i>
V2G	<i>Vehicle-to-Grid</i>
WRE	<i>Wasted Renewable Energy</i>
ZEV	<i>Zero Emission Vehicle</i>

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Contexto e motivação

Desde há muitas décadas que o veículo tem sido essencial na vida quotidiana da população. Sem ele todos os setores da economia não atingiam tal desenvolvimento como na atualidade. Os transportes rodoviários ligeiros, de passageiros e de mercadorias, têm sido dos transportes que mais têm contribuído para esse desenvolvimento, sendo eles também um dos principais emissores de gases de efeito de estufa, a par das centrais elétricas convencionais [1]. O principal gás emitido é o dióxido de carbono (CO_2), representando cerca de 83 %, não sendo desprezar o metano CH_4 com 8,2 %, óxidos e outros gases representando 8,8 %.

Nos últimos anos tem-se verificado uma crescente preocupação por parte dos governos, já antes do Protocolo de Quioto, a problemas como o aquecimento global e às mudanças climáticas, que colocam em risco o desenvolvimento sustentável das gerações futuras e as reservas naturais de que o planeta ainda dispõe. Todos os dias, principalmente nos setores de produção de energia elétrica e transportes, são emitidas grandes quantidades de gases de efeito de estufa. Há estudos que visam quantificar essas medidas, como em [2], e que pretendem sensibilizar as diversas entidades sobre os impactos ambientais relativos às suas atividades. Na Figura 1.1 mostram-se as principais atividades responsáveis das emissões, sendo a queima de combustíveis (onde se inserem os transportes e as centrais convencionais) a principal, com cerca de 79%.

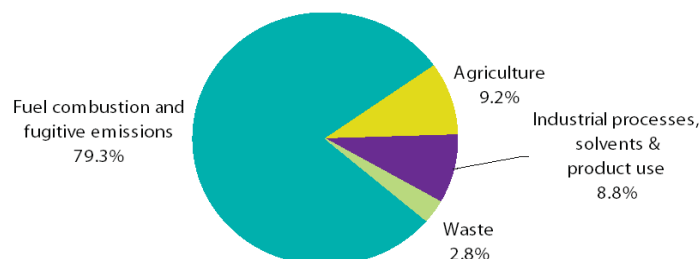


Figura 1.1 - Percentagem face ao total da EU-27, em 2007, de cada uma das principais atividade de emissão de gases de efeito de estufa [1].

É sabido que o setor dos transportes tem um grande peso nas emissões, principalmente os transportes rodoviários ligeiros. Segundo [1] este tipo de veículos representa cerca de 93,7% das emissões originadas dos transportes, sendo que no total de emissões são responsáveis em cerca de 20%. Tendo em conta o crescimento do parque automóvel para os próximos anos [3], o consumo de energia primária e as emissões dos transportes vão aumentar consideravelmente nos próximos anos, colocando sérios riscos na qualidade de vida das gerações futuras.

Têm vindo, por isso a ser adotadas medidas políticas neste setor, de maneira a que o seu desenvolvimento nos próximos anos seja sustentável. Uma dessas medidas é limitar os níveis de emissão dos atuais veículos com motor de combustão interna, aos quais se designará por *Internal Combustion Engine* (ICE), diminuindo o atual consumo unitário para 130 g de CO₂/km [4]. Uma outra medida, esta numa perspetiva mais futura, é a Mobilidade Elétrica, a qual visa promover a mobilidade pessoal elétrica num dado país, incentivando à compra e uso de veículos elétricos (EV), levando assim a uma substituição progressiva dos atuais ICE, e também à construção de uma infraestrutura para poder carregar esses veículos. Em Portugal está planeada a construção de uma rede de carregamento, fruto do projecto de Mobilidade Elétrica (MOBI-E) [5]. Em [6] perspetiva-se que até 2015, em Portugal, sejam vendidos cerca de 50000 VE.

Existindo incentivos que levem à substituição periódica dos ICE, há estudos que demonstram que a longo prazo esta medida pode conduzir a reduções consideráveis nas emissões de CO₂. Em [7] mostra-se que o investimento nestas tecnologias permite reduzir as emissões cerca de 25% em 2025, apesar de que é necessário algum tempo, normalmente décadas, para os fabricantes se adaptarem a estas novas tecnologias.

Juntamente com a variabilidade da produção renovável, em grande parte proveniente dos parques eólicos e fotovoltaicos, a integração de EV, a qual é interpretada como uma carga adicional que vai-se sobrepor à carga convencional, constitui um importante desafio ao operador do sistema (OS) em garantir, através de estudos de fiabilidade a curto e longo prazo, o fornecimento de energia elétrica de forma segura e com qualidade aos consumidores finais, e também níveis adequados de reserva.

Contudo, os EV também poderão ser explorados como fornecedores de serviços do sistema, tais como regulação de frequência, regulação de tensão, fornecimento de energia reativa, e especialmente reserva, de forma a melhorar a qualidade de serviço do sistema elétrico de energia (SEE). A essa disponibilidade de fornecimento desses serviços por parte dos EV está associado o conceito *Vehicle-to-Grid* (V2G), e que será discutido no Capítulo 2 desta dissertação.

1.2 - Objetivos

Com o título “*Impacto dos perfis de mobilidade elétrica na adequação da reserva operacional*”, tem-se como objetivo efetuar um estudo de avaliação do impacto que diferentes perfis de consumo de EV, ou perfis de mobilidade elétrica, têm no sistema de produção de energia elétrica, concretamente na segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional. A elaboração

destes perfis é baseada em informação estatística sobre mobilidade de veículos automóveis, combinando-os com diferentes estratégias de carregamento. Desta forma é possível incluir o consumo de EV na metodologia de avaliação da segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional.

Nesta dissertação, a mobilidade será representada por histogramas diários de chegadas ou paragens de EV, também chamados de perfis de mobilidade. Os perfis considerados constituem comportamentos diários baseados em dados reais, obtidos a partir de inquéritos dirigidos à população, ou comportamentos não realistas que criam situações muito severas ao sistema de produção, de modo a que seja possível analisar as situações mais desfavoráveis. As estratégias de carregamento definirão a forma como os EV vão carregar (a qualquer hora do dia, dentro de um determinado período de tempo, com capacidade de controlo).

Complementarmente ao principal objetivo da dissertação, é avaliar o desperdício de energia renovável, nomeadamente eólica e hídrica. Considera-se um primeiro estudo em que a hídrica é prioritária à eólica, e um segundo estudo em que a eólica é prioritária à hídrica. Em ambos os estudos faz-se uma análise comparativa do desperdício da fonte respetiva, primeiro não considerando o consumo de EV, e depois considerando o consumo de EV, de acordo com a mobilidade antes caracterizada.

1.3 - Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos, referências bibliográficas e anexos. Será explicado sinteticamente o que se fala em cada uma destas divisões.

No Capítulo 1, o presente capítulo, é feita uma introdução ao tema, em que contexto se insere o tema da dissertação que se está a estudar, quais as motivações para o fazer e também quais os principais objetivos pretendidos para esta dissertação.

No Capítulo 2 descrevem-se os veículos que visam substituir progressivamente os atuais ICE nos próximos anos, nomeadamente os veículos elétricos, *Electric Vehicle* (EV) e veículos híbridos de recarregamento pela rede elétrica, *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV). Para cada um deste tipo de veículos será feito um estado de arte até à atualidade, referindo as vantagens e desvantagens, e ainda as perspetivas de desenvolvimento futuro. Posteriormente serão abordados os diferentes tipos de baterias existentes no mercado, as suas principais características, e também desenvolvimentos para os próximos anos. Seguidamente vai-se abordar muito genericamente em que consiste o V2G e também quais as suas vantagens e desvantagens da sua aplicação. De seguida serão mencionadas algumas metodologias utilizadas nos estudos de fiabilidade em sistemas de produção de eletricidade, particularizando na que foi utilizada nesta dissertação, o método *Monte Carlo Sequencial* (MCS) [8] juntamente com uma técnica de modelização de EV chamada de processo de contagem de *Poisson*. No final do capítulo serão referidos os principais impactos verificados em outros estudos sobre a integração de EV no SEE.

No Capítulo 3 procede-se à caracterização pormenorizada dos diferentes perfis de mobilidade. Será descrito todo o procedimento efetuado e necessário para a construção de cada um destes perfis, referindo também os pressupostos tidos em consideração. Serão descritas as diferentes estratégias de carregamento encontradas, tanto as que foram implementadas como as que não foram, explicando em que consiste cada uma e a razão de serem consideradas. Na parte final serão descritos os perfis de consumo obtidos a partir dos perfis de mobilidade e das estratégias de carregamento, efetuando comparações que se acharam relevantes.

No Capítulo 4 será descrito o programa já existente para avaliação da adequação da reserva operacional, sendo feita uma caracterização do sistema produtor e dos parâmetros necessários para efetuar as simulações. Posteriormente serão analisados os resultados obtidos nas várias simulações realizadas.

No Capítulo 5 serão discutidos os resultados obtidos do estudo complementar desta dissertação, nomeadamente o desperdício de energia renovável, analisando a redução do desperdício de renovável com a integração de EV.

No Capítulo 6 serão apresentadas as conclusões finais obtidas do trabalho desenvolvido ao longo da dissertação, bem como sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

EV e influência na reserva operacional

2.1 - Veículos elétricos EV

2.1.1 - História dos EV

Há mais de 100 anos que os atuais veículos com motor de combustão interna ICE existem. Ao longo desse tempo a tecnologia amadureceu, e esse tipo de veículos tornou-se muito atrativo devido à sua comodidade, rapidez e capacidade de efetuarem longas viagens sem necessidade de abastecerem muitas vezes, apesar da eficiência do motor ser baixa, cerca de 30% [9].

Devido ao crescimento da população mundial e ao desenvolvimento tecnológico dos ICE, verifica-se que a tendência é aumentar o nº de ICE em circulação, aumentando também as emissões de gases de efeito de estufa. Isso tem levado as agências governamentais a procurarem alternativas fiáveis tanto a nível ambiental como económico, de maneira que o setor dos transportes se desenvolva de forma sustentável. Surge assim a aposta nos EV. Ao longo da dissertação, o termo EV, também muitas vezes designado por *Battery Electric Vehicle* (BEV), refere-se a qualquer veículo que utiliza somente um motor elétrico como fonte de propulsão do veículo, sendo este alimentado por um sistema de armazenamento de energia (baterias, supercondensadores, volantes de inércia), que pode ser carregado ligando o veículo a um ponto de carregamento, *Charging Point* (CP) de uma rede elétrica própria.

Durante o século XIX, a partir de 1834, surgem os primeiros EV na América, Inglaterra e França. Devido às limitações técnicas dos sistemas de armazenamento, juntamente com o progresso tecnológico significativo dos ICE da época, o desenvolvimento dos EV estagnou até se abandonarem por completo, por volta de 1920.

Anos depois, por volta de 1970, fruto da crise energética e das preocupações ambientais crescentes, o interesse neste tipo de veículos voltou a surgir, mas as limitações técnicas permaneceram. Em 1990, foi emitido um mandato na Califórnia, o CARB (*California Air Resources Board*), no qual exigia-se a inclusão no mercado automóvel de 2% em 1998 de veículos de baixa emissão, os chamados *Zero Emission Vehicles* (ZEV), 5% em 2001 e 10% em 2003. Contudo o descontentamento dos fabricantes de veículos e a pressão da indústria petrolífera levou ao

abandono destes veículos.

Atualmente a maioria dos EV tem tamanhos reduzidos e apenas podem realizar viagens curtas [10], apesar de já existirem alguns com dimensões grandes e autonomia que lhes permite realizar viagens longas sem necessidade de carregar muitas vezes. No futuro muitas das limitações tecnológicas existentes poderão ser resolvidas ou contornadas, estando a ser desenvolvidas algumas soluções que visam incentivar à compra de EV, por exemplo um sistema de troca de baterias numa estação de serviço.

2.1.2 - Atualidade e futuro dos EV

A filosofia da engenharia dos EV baseia-se essencialmente no casamento entre as engenharias automóvel e elétrica. É necessário que existam não só desenvolvimentos nos vários componentes que constituem o veículo (motor, conversores de potência, controladores, sistemas de armazenamento e gestão de energia), mas também na própria rede elétrica, de modo a maximizar a eficiência energética dos EV e a integração destes na rede, minimizando as emissões de gases de efeito de estufa. Com esta filosofia será possível aumentar as vendas de EV nos próximos anos, podendo até ultrapassar as dos ICE e baixar consideravelmente o seu preço, sendo contudo necessário sensibilizar a população sobre os benefícios da sua compra.

Atualmente estão em grande discussão dois desafios importantes para o desenvolvimento dos EV e das próprias *smart grids*, a possibilidade dos EV carregarem a partir de fontes de energia renovável, o que pode permitir uma maior integração destas fontes [11], e também a possibilidade de utilizar as baterias dos veículos como fornecedores de reserva quando esta for necessária. Estes desafios ajudarão, no âmbito do desenvolvimento das *smart grids*, a maximizar os benefícios da utilização destes veículos, sendo também necessário definir nova standardização em muitas áreas de exploração, não só no setor dos transportes, um dos setores com consumo de energia primária mais heterogéneo, mas também no próprio sistema produtor, nomeadamente na gestão da produção elétrica, do armazenamento e das interações com as redes de transporte e distribuição [12].

Nos anexos, na Tabela 6.1, encontra-se uma tabela com os atuais EV existentes no mercado retirada de [13], bem como os preços definidos pelos fabricantes, sendo que alguns não estão definidos.

2.1.3 - Vantagens e desvantagens dos EV

Apesar das barreiras tecnológicas ainda existentes deste tipo de veículos, existem algumas vantagens face aos ICE, tanto a nível construtivo como quando integrados na rede elétrica. São de destacar a possibilidade, no futuro, dos VE serem utilizados como fornecedores de reserva quando esta for necessário, com tempos de resposta menores que inferiores às das centrais hídricas de albufeira, contribuindo para uma maior fiabilidade do sistema, a redução nas emissões de CO₂, são mais silenciosos que os ICE (o que poderá também ser uma desvantagem por exemplo para os cegos, quando estes atravessam as ruas), têm uma construção mais simples e que requer menos

manutenção. Em [14] mostra-se que 92% dos portugueses estão de acordo que o EV poderá ser uma alternativa ecológica ao ICE, opiniões muito semelhantes aos russos e turcos.

Como principais desvantagens destacam-se a pouca autonomia, permitindo aos veículos realizarem viagens curtas, o peso e volume das baterias permitem construir veículos pequenos, e também o seu preço ainda ser elevado, dada também a fraca popularidade que ainda têm, estando muito dependentes do desenvolvimento tecnológico das baterias, apesar de grande parte da população estar ciente dos benefícios que o VE pode trazer.

2.2 - Veículos híbridos HEV

2.2.1 - História dos HEV

Um dos primeiros veículos híbridos HEV surgiu no início do século XX, tendo sido a *Porsche* a marca progenitora desse veículo. Utilizava um motor de combustão interna para acionar um gerador elétrico que alimentava motores acoplados em cada roda. Apenas em modo elétrico esse veículo conseguia percorrer cerca de 65 km.

Mais tarde, em 1903 a companhia *Krieger* utilizou um motor a gasolina que passou a ser um suplemento para as baterias, e a indústria belga *Pieper* acoplou diretamente cada motor de gasolina a um motor elétrico debaixo do assento [10].

Em 1904 *Henry Ford*, com a fundação da *Ford Motor Company*, começou a produzir automóveis com tecnologia a gasolina em grande quantidade e a baixo custo, baixando os preços dos ICE e levando assim ao declínio dos híbridos, tal como aconteceu com os EV, por volta de 1920.

Com a crise energética e as preocupações ambientais, juntamente com o desenvolvimento da eletrônica no automóvel, os híbridos voltaram a surgir no mercado, chegando mesmo a ter maior popularidade que os EV devido ao facto deles não conseguirem ser uma alternativa energética sustentável. Para além da maior eficiência face aos ICE, devido à possibilidade de serem conduzidos pelo motor de combustão interna ou pelo motor elétrico, os novos híbridos passaram a ter também uma redução no consumo de combustível comparada com os antigos. Essa redução, fruto do desenvolvimento da eletrônica de potência, deve-se à capacidade do veículo recarregar a bateria durante a travagem, a chamada travagem regenerativa, e em algumas topologias também pelo excesso de energia produzido pelo motor de combustão interna.

Ao longo dos últimos 20 anos mais de 20 modelos foram introduzidos no mercado, destacando-se em particular o *Toyota Prius*, *Honda Insight*, *Ford Escape*, *Saturn Vue*, *Honda FCX*. Mais informações sobre estes veículos estão em [10], assim como as diferentes arquiteturas de construção, modelos série e modelos paralelo [10] [15] [16].

2.2.2 - Modelos híbridos de recarregamento pela rede PHEV

Existem dois tipos de veículos híbridos à venda no mercado, de acordo com o seu tipo de abastecimento [16]. São eles:

- Abastecimento apenas de combustível fóssil numa estação de serviço. São os convencionais HEV.
- Abastecimento tanto de combustível fóssil numa estação de serviço como de eletricidade num CP, sendo que o 2º tipo pode ser feito ligando o veículos à rede elétrica. A este tipo de veículos dá-se o nome de veículos de recarregamento pela rede, PHEV.

Relativamente aos PHEV, devido à importância que tiveram no desenvolvimento da indústria automóvel, também foram abordados nesta dissertação, apesar do foco estar direccionado para os EV. Os PHEV são vistos como uma solução intermédia entre os ICE e os EV, procurando retirar as desvantagens individuais para reforçar as vantagens.

Segundo [15], um PHEV necessita de cumprir 3 requisitos essenciais, sendo eles:

- A bateria deve ter uma capacidade mínima de 4 kWh.
- A bateria deve ter a capacidade de carregar, não só por travagem regenerativa, mas também por uma fonte elétrica exterior.
- O veículo deve ser capaz de percorrer no mínimo 16 km, apenas em modo elétrico, isto é sem qualquer consumo de combustível fóssil.

2.2.3 - Atualidade e futuro dos PHEV

Na atualidade os PHEV têm vindo a ganhar popularidade devido à economia de consumo de combustível face aos ICE, e à sua performance de condução melhorada. Um fator crucial que está na base da filosofia inerente à engenharia dos veículos híbridos é o desenvolvimento dos algoritmos de controlo e o dos sistemas de gestão de energia [10].

No futuro, com o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos sistemas de armazenamento de energia, bem como dos algoritmos de controlo e dos sistemas de gestão de energia, os PHEV ganharão ainda mais popularidade, mas a tecnologia será posteriormente expandida aos EV, ganhando-se em simplicidade e em custo [16].

2.2.4 - Vantagens e desvantagens dos PHEV

O aparecimento dos PHEV no mercado veio como uma solução promissora e sustentável quando comparado com os ICE, pois permitiram deslocar parte do consumo de combustível fóssil em

consumo de energia elétrica, além de terem contribuído para a redução dos níveis de emissão, ruído e manutenção. O carregamento pode ser efetuado durante a noite, onde o preço da energia elétrica é mais barato, mas também pode ser efetuado nas horas fora de vazio, podendo até nestas horas os veículos terem disponibilidade de fornecer reserva em horas em que esta pode ser necessária, incluindo os períodos onde o preço da energia é maior.

No entanto, devido do peso acrescido do motor elétrico e ao equipamento necessário para controlo e gestão de energia, resulta num maior custo dos PHEV. Além disso, a sua integração na rede elétrica em grande escala pode vir a provocar impactos que podem afetá-la seriamente, sendo necessário prever esses efeitos a longo prazo [15].

2.3 - Baterias

2.3.1 - Tipos de baterias, principais características e desenvolvimentos

Existem essencialmente 4 tipos de baterias comerciais [10]. São elas de ácido-chumbo, níquel-cádmio (NiCd), hidretos metálicos de níquel (NiMH) e íões de lítio (Li-Ion). Na Tabela 2.1 estão ilustradas as principais características tidas em consideração por parte dos fabricantes no desenvolvimento tecnológico destes 4 tipos de baterias.

A energia específica (Wh/kg) e a densidade de energia (Wh/l) são duas características importantes de analisar, as quais são cruciais aos fabricantes em poder adquirir maior capacidade de armazenamento com pouco acréscimo de massa e volume de material. Conforme se pode ver na Tabela 2.1 e na Figura 2.1 [17], as baterias de Li-Ion são as que têm maior energia específica e densidade de energia, e por isso têm maior capacidade de armazenamento com menores dimensões e menor peso, os que as torna atrativas para os fabricantes, especialmente em EV e PHEV, onde a autonomia é fulcral à performance do veículo. Na Figura 2.2 mostra-se o crescimento exponencial destas duas características ao longo dos anos, notando-se um maior crescimento a partir de 1990, quando começaram a ser criadas as baterias de NiMH.

Tabela 2.1 - Principais características das diferentes baterias disponíveis no mercado [9].

	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

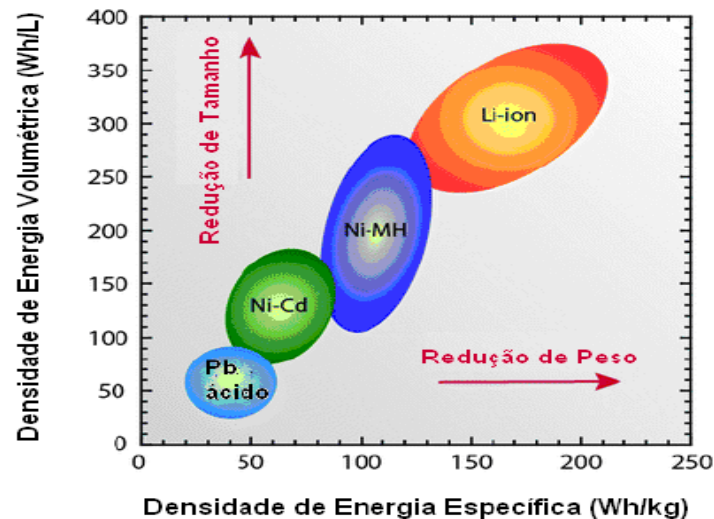


Figura 2.1 - Desempenho das diferentes baterias comerciais [17].

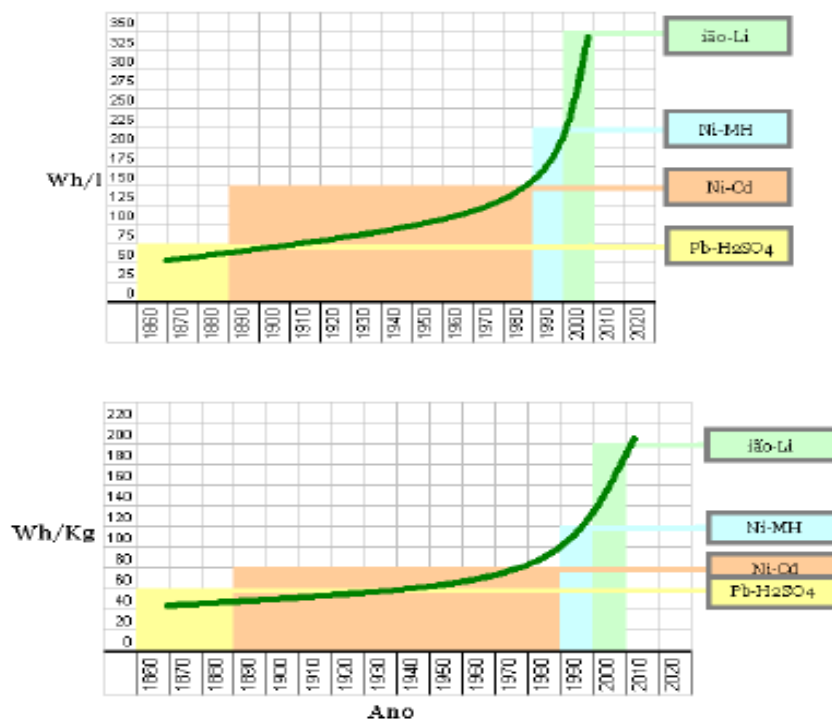


Figura 2.2 - Crescimento exponencial da densidade de energia (gráfico superior) e da energia específica (gráfico inferior) ao longo dos anos [17].

Outro tipo de características, nomeadamente o ciclo de carga/descarga, tempo mínimo de carregamento, tensão, corrente, custo e nível de perigo ambiental, são importantes de serem analisadas por parte dos fabricantes, pois também afetam o desenvolvimento tecnológico dos EV. Conforme a Tabela 2.1, as baterias de ácido-chumbo, apesar de serem as mais baratas, têm uma baixa energia específica, poderão no máximo ter 500 ciclos de carga/descarga, necessitam de bastantes horas para se carregarem, e representam um grande perigo ambiental, tornando-as pouco adequadas a implementar em EV e PHEV. As de NiCd permitem efetuar mais ciclos de carga/descarga, mas a sua energia específica continua a ser baixa, ainda insuficiente para satisfazer

os requisitos da condução por parte dos consumidores. As baterias de NiMH representaram um grande avanço tecnológico destes veículos, pois conforme a Figura 2.2 a sua energia específica aumentou consideravelmente, tendo sido utilizada implementada pelos fabricantes de HEV. Contudo o desenvolvimento destas baterias estagnou, não se prevendo muitos desenvolvimentos técnicos e reduções de custo significativas destas baterias. Atualmente as baterias de Li-Ion são as que melhores condições de funcionamento oferecem quando implementadas em EV e PHEV, devido à maior energia específica (conseguem ter maior capacidade com menos peso e volume), maior período de vida e taxa de autodescarga menor. Têm a desvantagem de serem as mais caras, nível de perigo ambiental considerável e a tecnologia ainda estar muito sub-desenvolvida, prevendo-se no entanto grandes desenvolvimentos nos próximos anos. Segundo [18], os Estados-Unidos pretendem baixar os preços das baterias em cerca de 70% em 2015, custando atualmente entre 700 \$/kWh e 1000 \$/kWh [15], assim como também reduzir o peso de 333 kg em 2009 para 55 kg entre 2020 e 2030, e aumentar o tempo de vida para 14 anos em 2015.

No entanto, para que este desenvolvimento seja sustentável, será necessário existir nova standardização tanto no fabrico das baterias como também na sua utilização. Por exemplo as baterias, principalmente as de ácido-chumbo, são feitas de matéria-prima tóxica e cada vez mais escassa no planeta. Deverá ser feita, tanto quanto possível reciclagem do material, de modo a preservar o ecossistema e evitar o esgotamento das matérias-primas ainda existentes. Um serviço de troca de baterias numa estação de serviço, quando um consumidor está realizando viagens longas, é uma ótima maneira de efetuar reciclagem das baterias [11].

Também se admitirá a hipótese de implementar, em conjunto com as baterias, outros tipos de sistemas de armazenamento de energia, tais como supercondensadores ou volantes de inércia, que permitem melhorar o funcionamento do veículo. Por exemplo os supercondensadores permitem realizar mais ciclos de carga/descarga, e suportam condições climáticas e mecânicas mais severas que as baterias, com a desvantagem da menor capacidade de armazenamento de energia face às baterias.

2.3.2 - Diferentes modos de condução

A determinação da autonomia de um EV ou de um PHEV, distância percorrida em modo *Charge Depleting* (CD), o qual será explicado de seguida, é um ponto crucial de avaliação da performance do veículos, entre outros objetivos a alcançar. A autonomia depende não só do tipo de bateria, mas também do modo de condução que o veículo tem (perfis de aceleração, velocidade, binário, travagem, tanto em meio urbano como em auto-estrada). Em [19] podem-se encontrar diferentes ciclos de condução utilizados internacionalmente para determinação e otimização da autonomia de EV e PHEV. Os mais usados são o UDDS (*Urban Dynamometer Driving Schedule*) [20], HWFET (*Highway Fuel Economy Test*) [21], US06 [22] e o SC03 [23].

Na Figura 2.3 mostra-se como varia o *State of Charge* (SOC), que representa a fracção de energia armazenada na bateria num determinado momento, para os diferentes tipos de veículos abordados em função da distância percorrida. Existem essencialmente dois modos de operação

básicos, sendo eles:

1. Modo *Charge Depleting* (CD), modo apenas válido para EV e PHEV, no qual a energia armazenada nas baterias é utilizada para alimentar o veículo, sendo que o SOC decresce praticamente de forma linear desde um nível máximo, normalmente 90% da capacidade, até um nível mínimo, cerca de 20% da capacidade. Verifica-se que nos PHEV o SOC decresce muito mais depressa que nos EV. As oscilações devem-se ao descarregamento e carregamento das baterias provenientes da travagem regenerativa.
2. Modo *Charge Sustaining* (CS), modo apenas válido para HEV e PHEV, no qual o motor de combustão interna é responsável pela propulsão do veículo. Num PHEV este modo surge quando o SOC atinge um nível mínimo, fazendo a transição de CD para CS, e comporta-se como um HEV convencional. O SOC mantém aproximadamente constante, sendo que a bateria é recarregada através da travagem regenerativa.

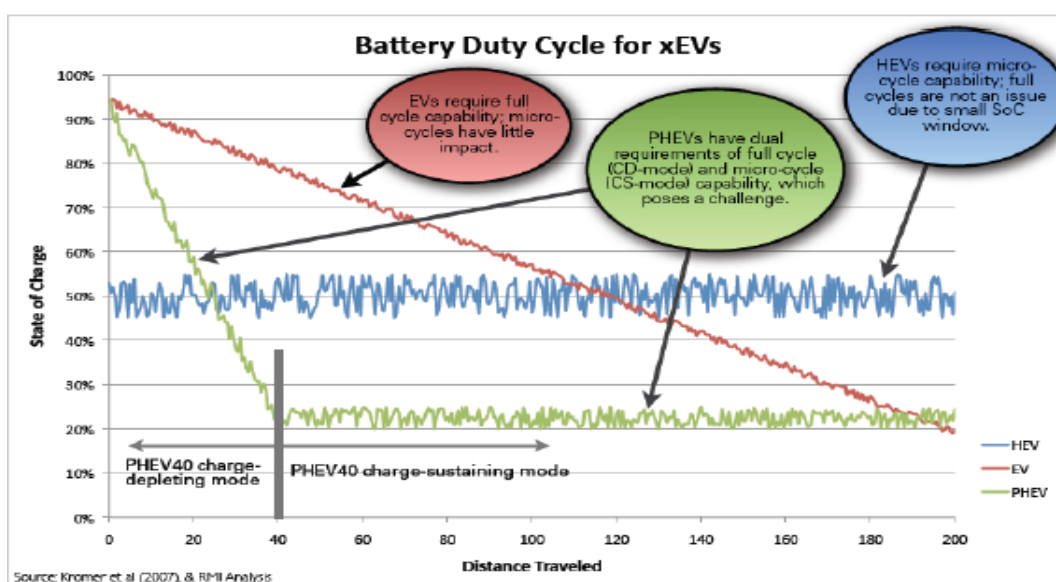


Figura 2.3 - Modos de operação de EV, PHEV e HEV [15].

Pode-se observar que o SOC, principalmente nos PHEV, está entre uma banda relativamente bem definida, algo que os fabricantes têm consideração para preservar o estado da bateria por bastante tempo. À diferença entre o máximo SOC e mínimo SOC dá-se o nome de *Depth of Discharge* (DOD), outra característica importante de se considerar no desenvolvimento das baterias.

2.4 - V2G

Tanto os EV como os PHEV, para carregarem necessitam de se ligar a uma fonte elétrica exterior, neste caso a rede elétrica, consumindo desta forma energia proveniente dela. No entanto,

com o desenvolvimento da eletrónica de potência, nomeadamente os retificadores com tirístores, inversores e conversores DC/DC, permitiram que o trânsito de potências na ligação do veículo à rede possa ocorrer nos dois sentidos. Dessa forma as baterias podem ser exploradas como cargas que consomem energia da rede, armazenando-a para depois utilizar na propulsão do veículo, ou então como geradores distribuídos que devolvem essa energia à rede. A isto dá-se o nome de V2G [24].

Esta característica da bidirecionalidade, juntamente com o desenvolvimento das *smart grids* e da maior penetração de fontes renováveis, permite explorar um novo paradigma de gestão das redes elétricas com potenciais benefícios aos utilizadores de EV e PHEV, remunerando-lhes quando disponibilizam os seus veículos para fornecimento de reserva, e também às próprias *smarts grids*, podendo integrar mais renovável na rede. No entanto a sua exploração também traz desvantagens, por exemplo a redução do tempo de vida útil das baterias, um aspeto a ter em consideração pelos fabricantes numa altura de desenvolvimento e otimização do seu funcionamento [25].

A aplicação de V2G requer uma forte interação entre consumidores, OS e uma entidade que gere e controla o carregamento dos veículos que se disponibilizam a fornecer serviços de sistema, o chamado agregador, sendo necessário muito investimento em equipamento de ligação, medição e comunicação que permita a troca de informação (técnica, económica ou estatística) entre estas entidades.

Existem essencialmente 3 mercados de eletricidade em que os EV poderão atuar, sendo eles a base do diagrama de cargas, ponta do diagrama de cargas e serviços do sistema. Este último, constituído pelos mercados de regulação e fornecimento de reserva, é o mercado que muitos estudos demonstram ser aquele em que o V2G é economicamente mais viável, principalmente o fornecimento de reserva [24][26][27], pois a remuneração aos utilizadores que disponibilizam os seus veículos neste serviço pode ser compensador face ao custo de carregamento, passando a estar sujeitos a acções de controlo por parte do agregador, através da interrupção do carregamento ou retorno da energia armazenada nas baterias à rede.

Em [28] mostra-se que a participação de um agente agregador num mercado diário, e também num mercado de fornecimento de reserva, pode baixar os custos de carregamento dos veículos, melhorando a remuneração aos utilizadores quando estes participam neste serviço. Em [29] mostra-se que o carregamento em casa, que será um dos tipos de carregamento mais usados pelos utilizadores de EV, trará muitos benefícios aos utilizadores quando os veículos são incorporados numa filosofia do V2G. Um dos pontos essenciais é que estes são utilizados muito pouco tempo durante o dia, cerca de 2h a 3h, estando o resto do tempo estacionados, providenciando potenciais situações de fornecimento de reserva. As horas em que menos veículos têm esta disponibilidade são as horas iniciais da manhã e ao fim da tarde [30].

2.5 - Metodologias utilizadas em estudos de fiabilidade

De acordo com o que foi mencionado até ao momento, percebe-se qual a importância que os EV terão no SEE. A possibilidade de eletrificar o setor dos transportes permite não só o seu desenvolvimento sustentável mas também o desenvolvimento das *smart grids*, contribuindo para os objetivos traçados pelo estado em reduzir as emissões de CO₂, aumentar a produção de energia renovável e acrescentar valor económico ao país. No entanto, com a integração massiva de EV devido aos incentivos por parte do estado, os quais atualmente não existem ou são muito diminutos devido à crise económica mundial, os efeitos que irão surgir dessa integração poderão afetar consideravelmente o SEE. Desta forma surgem novas variáveis que vieram aumentar a complexidade do SEE, existindo maior incerteza quanto à capacidade da geração disponível alimentar a carga de forma segura e com qualidade. De maneira a prever a longo prazo a magnitude desses efeitos, foi necessário desenvolver metodologias que permitam incorporar estas novas variáveis de uma forma fácil, permitindo assim avaliar o seu impacto em muitas áreas de exploração. Nesta dissertação as áreas exploradas referem-se à segurança de abastecimento de eletricidade e à adequação da reserva operacional.

Um tipo de metodologias consideradas em estudos de fiabilidade são os métodos determinísticos, que são fáceis de compreender e implementar. Exemplos desses métodos são fixar a reserva como uma percentagem da ponta do diagrama de cargas, ou fixar ao grupo com potência instalada maior [31]. No entanto estas metodologias não têm em conta o comportamento estocástico dos componentes do SEE (probabilidade de um central elétrica avariar, dependência temporal da produção das fontes de energia renovável ou consumo aleatório dos EV), o que as torna inadequadas em estudos com grande complexidade, por exemplo quando se consideram fontes de energia renovável.

Ao contrário destas, as metodologias baseadas em conceitos probabilísticos, essencialmente métodos de simulação, têm vindo a ser muito úteis nos estudos de fiabilidade mais complexos, pois consideram o comportamento estocástico dos componentes do SEE, obtendo resultados mais próximos da realidade. Algumas dessas metodologias estão descritas em [8], para o sistema produtor e transporte de energia elétrica.

Existe ainda um outro tipo de metodologias, os métodos híbridos, que combinam os conceitos determinísticos e probabilísticos, aproveitando desta forma as vantagens de cada uma das metodologias antes mencionadas. Basicamente são métodos de simulação com um critério de paragem determinístico. Um dos métodos mais usados, e que será usado nesta dissertação, é o *Monte Carlo* Sequencial ou Cronológico MCS. Este método permite modelizar sistemas com características estocásticas e as incertezas inerentes no processo de simulação, sendo fácil incorporar nele a carga relativa ao consumo de EV, esta também com uma característica estocástica intrínseca que será descrita no capítulo seguinte.

Os resultados deste método, os índices de fiabilidade ou de risco, são valores esperados com distribuições de probabilidade bem definidas, obtidos ao longo de um processo de simulação de passo horário, utilizando funções de teste $F(y)$, onde y é uma sequência de estados do sistema [8].

Definindo um n° máximo de anos de simulação N, o método termina quando um coeficiente de convergência β se verifica ou a simulação atinge N anos.

$$\frac{\sqrt{v(\tilde{E}[F])}}{\tilde{E}[F]} = \beta, \text{ com } \tilde{E}[F] = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N F[y_n] \quad (2.1)$$

onde $\tilde{E}[F]$ é a estimativa dos índices de fiabilidade até ao ano n, e $v(\tilde{E}[F])$ é a sua variância.

Os índices considerados no processo de cálculo foram o *Loss of Load Probability* (LOLP), *Loss of Load Expected* (LOLE), *Expected Power Not Supplied* (EPNS), *Expected Energy Not Supplied* (EENS), *Loss of Load Frequency* (LOLF) e *Loss of Load Duration* (LOLD). Estes índices, bem como a modelização estocástica dos diferentes componentes que compõe o sistema produtor (centrais térmicas, centrais hídricas, parques eólicos, mini-hídricas, carga e manutenção) estão descritos em [32].

2.6 - Avaliação da segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional, incorporando EV no sistema

Os estudos de fiabilidade nos sistemas produtores de eletricidade são realizados normalmente em duas partes distintas: avaliação da segurança de abastecimento, através do cálculo da reserva estática R_{EST} , para planeamento da expansão do sistema, e avaliação da adequação da reserva operacional R_{OPE} , para planeamento da operação do sistema. Esta dissertação vai-se focar mais na 2ª avaliação. Contudo, para perceber alguns dos resultados obtidos desta avaliação, também foram analisados os resultados obtidos da 1ª avaliação.

Em [32] está descrito a aplicação do método MCS para os sistemas produtores de Portugal e Espanha, considerando que estes têm centrais convencionais, centrais de energia renovável e carga convencional, estes 3 componentes ligados a um barramento único, sem considerar a carga relativa ao consumo de EV. A incorporação desta carga está ilustrada em [33], sendo apenas aqui retratada para se perceber como ocorre o processo de cálculo dos índices de fiabilidade.

A primeira avaliação é baseada na reserva estática, cuja inequação é a 2.2.

$$R_{EST} < G - (L + L_{EV}), \quad (2.2)$$

O objetivo desta avaliação é assegurar que a geração G previsível para um dado ano futuro seja capaz de alimentar a carga convencional L mais a carga relativa ao consumo de EV L_{EV} . Esta fórmula tem em conta as interrupções forçadas das unidades geradoras, e a variabilidade da produção das fontes renováveis. A modelização de L_{EV} está descrita na secção seguinte.

Quanto à segunda avaliação, a adequação da reserva operacional é calculada através de 2.3.

$$R_{OPE} = R_{GIR} + R_{NGIR} < \Delta L + \Delta G + \Delta W + \Delta L_{EV}, \quad (2.3)$$

O objetivo desta 2ª avaliação é assegurar que, no futuro, o sistema é capaz de responder às variações rápidas da carga ΔL , à geração perdida devido a interrupções forçadas ΔG , aos desvios da

produção eólica ΔW , e também ao consumo próprio dos EV ΔL_{EV} . Em ΔL incluem-se a incerteza de previsão de curto-prazo, associada à variação horária da carga, e a incerteza de previsão de longo-prazo, associada à variação anual da carga.

Procedendo à simulação do método MCS, a adequação da reserva operacional é avaliada segundo o esquema da Figura 2.4. Para cada hora de simulação averigua-se se a condição $R_{OPE} < 0$, correspondendo a um estado de “falha”, caso contrário corresponde a um estado de “sucesso”. Um estado de “falha” corresponde a um estado em que não existe capacidade das máquinas que podem entrar rapidamente em sincronismo com a rede responderem a situações de quebra de produção elétrica (convencional e eólica), aumento da carga ou aumento do consumo de EV [34]. Nesse caso, procede-se ao cálculo dos índices de fiabilidade, acumulando valores até perfazer 1 ano (8760 horas), obtendo-se os índices de fiabilidade anuais. Até o processo de simulação terminar, vão-se estimando os índices de fiabilidade através de $\tilde{E}[F]$, e verificando se a convergência foi atingida.

A análise feita aplica-se analogamente à reserva estática, mas verificando-se em cada hora a condição $R_{EST} < 0$. Os índices de fiabilidade são calculados anualmente, estimando também os índices dos anos já simulados, e depois verificando se a convergência foi atingida.

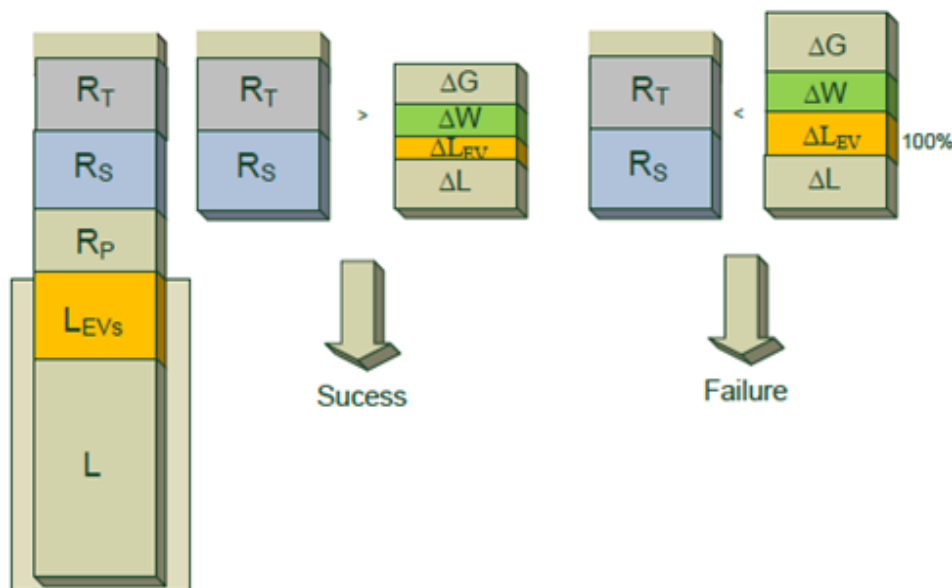


Figura 2.4 - Representação dos EV na avaliação da adequação da reserva operacional.

2.7 - Processo de contagem de *Poisson*

A modelização de EV ainda é um processo que está numa fase de desenvolvimento, pois os dados relativos a este consumo ainda são escassos. Na literatura podem ser encontradas diferentes formas de modelizar esta carga, L_{EV} . Há artigos em que a modelização é feita ao nível da distribuição, casos de [35][36], e outras em que é feita ao nível da geração, caso de [11][37]. Ao nível da distribuição, tem-se em conta, por exemplo o SOC dos veículos ou o carregamento individual de

cada, algo que na geração não se considera, apesar dos resultados poderem ser melhorados se for incluído aspetos considerados na distribuição.

No âmbito em que esta dissertação se insere, a modelização dos EV será feita ao nível da geração. Está-se interessado em saber, para cada hora, qual é a carga de EV que será somada à carga convencional. A metodologia adotada foi a mesma que em [33], onde a conversão do nº de EV que estão a carregar a cada hora em potência consumida é baseada num processo de contagem de EV que chegam a um CP e começam a carregar, o chamado processo de contagem de *Poisson*.

Segundo [38], este processo aproxima-se muito de uma fila de espera, seguindo uma distribuição de *Poisson* com parâmetro λ que se assume constante, por exemplo em todos os dias 1 de Janeiro dos anos simulados. Neste contexto, λ representa a taxa média de chegadas de EV a um CP numa determinada hora, o qual é obtido a partir da informação estatística retirada dos perfis de mobilidade descritos no capítulo seguinte.

A probabilidade de chegarem k veículos numa hora t é dada pela fórmula seguinte:

$$P[X(t) = k] = \frac{e^{-\lambda t} \lambda t^k}{k!} \quad (2.4)$$

Foi necessário ter em conta 4 requisitos fundamentais para supor a aproximação à distribuição de *Poisson*, sendo eles os seguintes:

- A contagem de eventos entre intervalos disjuntos é independente um do outro.
- A probabilidade de ocorrência de k eventos depende do comprimento do intervalo.
- Não se contam ocorrências em simultâneo.
- A chegada de um EV ocorre apenas uma vez dentro do intervalo considerado.

Dado que a mobilidade por exemplo à 2ª-feira e 3ª-feira não são exatamente iguais, foi incorporado no MCS pelo autor da referência [33] um processo que cria uma variável aleatória X , que neste contexto representa o nº de veículos que chegam a um CP e carregam em cada hora, sendo que essa variável segue uma distribuição de *Poisson* de média λ . O processo chama-se de *Inverse Transform Method*, e está descrito nos seguintes 4 passos.

1. Atribuir $n = 1$ e $a = 1$.
2. Gerar um nº aleatório U_n entre 0 e 1, segundo uma distribuição uniforme, e atribuir $a = a * U_n$.
3. Se $a \geq e^{-\lambda}$, incrementar n e voltar ao passo anterior.
4. Se $a < e^{-\lambda}$, terminar o método, atribuindo $X = n-1$ com parâmetro λ .

Com este método é possível verificar que ao longo dos anos, o nº de EV que carregam numa dada hora de um dia do ano não é exatamente igual ao do ano simulado seguinte. Na Figura 2.5 está uma distribuição obtida de uma simulação das chegadas às 13h, com um λ de 7.1%, considerando o algoritmo referido. A distribuição obtida é muito semelhante à de uma distribuição de *Poisson*.

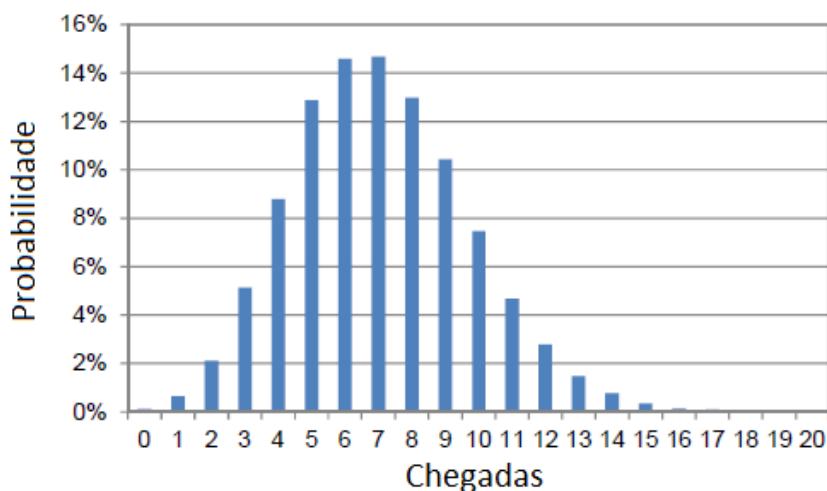


Figura 2.5 - Distribuição das chegadas às 13:00.

Depois da contagem, o nº de EV ligados à rede é convertido na sua carga equivalente L_{EV} . Isso é conseguido através da seguinte expressão:

$$L_{EV} = \sum_{j=1}^4 L_{EVj} * N_j \quad (2.5)$$

onde L_{EVj} representa a carga de VE para a classe j , e N_j o nº de veículos da classe j (categorias L7e, N1, N2 e M1). Estas classes estão descritas no capítulo seguinte. Esta carga será então adicionada em cada hora à carga convencional, tendo em conta a mobilidade.

2.8 - Principais impactos dos EV e PHEV no SEE

Tendo já analisado a constituição dos EV e também PHEV, é importante analisar previamente alguns dos impactos já verificados por outros autores que os EV e PHEV tiveram no SEE, principalmente ao nível da geração de eletricidade, transporte e distribuição, assim como também impactos na qualidade de serviço e redução dos níveis de emissão de CO₂.

Na Figura 2.6 está ilustrado um esquema das principais áreas de impacto e intercomunicação dos EV com o SEE. Os impactos serão muito influenciados pelo nível de penetração de EV na rede elétrica, bem como das suas características, do modo como eles carregam e de como o V2G poderá ajudar na melhoria da qualidade de serviço.

Nas referências [39][40] mostram-se importantes impactos verificados do carregamento de EV nas redes de distribuição. Existem essencialmente 4 importantes impactos a nível local que podem ocorrer dependendo do nível de penetração de EV, sendo eles:

- Sobrecarga nos transformadores de distribuição devido ao acréscimo do consumo por parte de EV, afetando também o isolamento [41], reduzindo assim o tempo de vida útil deste, dos cabos, das protecções e outros equipamentos próximos.

- Carregamentos em pontos mais distantes do transformador poderão criar quedas de tensão nos *feeders* superiores à máxima regulamentar, interferindo no funcionamento de cargas locais próximas.
- Assimetrias e desequilíbrio das tensões devido ao carregamento de EV ser monofásico.
- Injeção de harmônicos de corrente na rede, aumentando assim a *Total Harmonic Distortion* (THD), e consequentemente as perdas nos cabos. A THD poderá ser diminuída se forem adotadas estratégias de carregamento inteligentes [40].

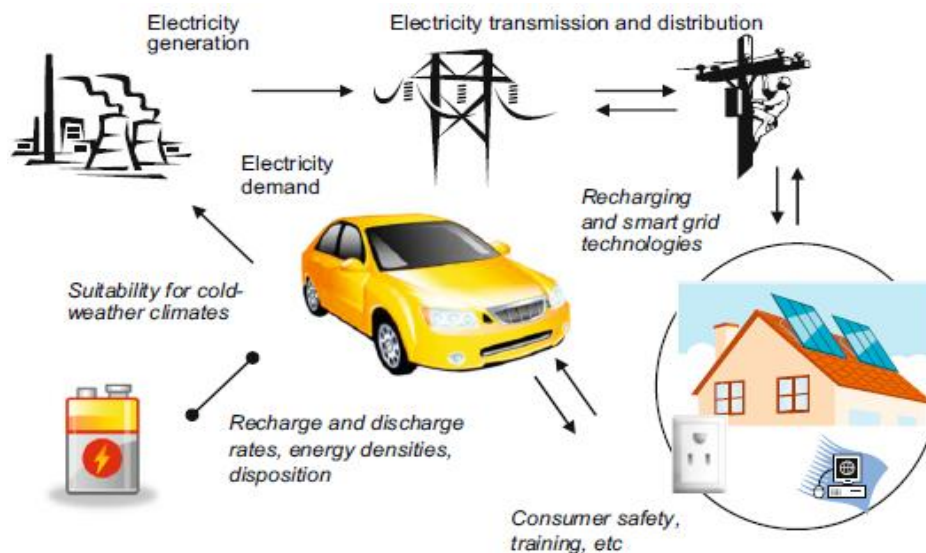


Figura 2.6 - Impactos e intercomunicações dos EV no SEE [12].

Ao nível da geração e transporte de eletricidade, os principais impactos verificam-se quando são adotadas estratégias de carregamento não inteligentes nos meses de Inverno, devido à maior incerteza da geração e ao maior consumo principalmente doméstico [42]. Também se conclui que a implementação de estratégias inteligentes, como por exemplo carregamento controlado nas horas de vazio (esta estratégia será discutida no capítulo seguinte), poderá praticamente não afetar os índices de fiabilidade do sistema, principalmente o LOLP, dependendo obviamente do tipo de sistema que se está a estudar (na referência foi utilizado o sistema Português IEEE-RTS 96 HW, o mesmo utilizado nesta dissertação). Estes resultados mostram que é importante para o OS adotar procedimentos de gestão ativa da rede, quando existe grande consumo por parte de EV, de modo a que a sua integração pouco afete a fiabilidade do SEE.

Em [43] efetua-se um estudo para estimação da redução das emissões de CO₂, incorporando cerca de 1000000 de EV no SEE dos Estados-Unidos. São considerados dois modelos, um em que os EV são carregados a partir de fontes convencionais nas horas de vazio, *load leveling model*, e outro em que os EV são carregados a partir de fontes renováveis, podendo também devolver energia à rede, *smart grid model*. Os autores concluem que com o 2º modelo é possível reduzir muito as emissões, cerca de 1240000 toneladas de CO₂ por ano, sendo necessário investir cerca de $35 \cdot 10^{12}$ \$ em fontes renováveis para que esta redução seja possível.

Capítulo 3

Perfis de mobilidade elétrica

3.1 - Introdução

Após uma descrição da tecnologia que constitui os EV e PHEV, e também dos principais impactos causados pela integração destes veículos nos diversos pontos da rede elétrica (geração, transporte, distribuição), percebe-se que a integração de veículos elétricos é um assunto que requer um estudo profundo sobre as piores situações que poderão ocorrer no SEE, bem como a procura de alternativas fiáveis que permitam que esta integração se desenvolva de forma segura. Nesta dissertação apenas será feita uma análise de diversas situações de consumo de veículos elétricos, focando nas mais severas.

Devido ainda à pouca existência no mercado, principalmente de EV, não existem ainda dados estatísticos suficientes que permitam construir padrões de consumo com um grande nível de penetração na rede elétrica, sendo necessário procurar outro tipo de informação de maneira a poder criar perfis de consumo e permitir efetuar uma análise coerente sobre o seu impacto na adequação da reserva operacional. Uma das maneiras é contruir os chamados perfis de mobilidade, através da recolha de dados estatísticos sobre padrões de condução e hábitos diários de mobilidade da população relativamente às viagens que fazem diariamente, ou então a construção de perfis com determinado comportamento desejado. Na definição dos perfis foi necessário definir pressupostos devido muitas vezes à falta de informação por parte das referências, de forma a não induzir em erro quem os possa vir a utilizar.

Posteriormente, combinando a informação retirada dos perfis de mobilidade com diferentes estratégias de carregamento, tal como se vê na Figura 3.1, é possível então construir os perfis de consumo de EV. Numa estratégia de carregamento define-se como os veículos irão carregar: começam a carregar logo que param, carregam apenas durante um determinado período, carregam apenas se não existir problemas técnicos na rede, entre outros aspetos que se podem considerar.

Numa primeira secção deste capítulo, vão ser descritos os procedimentos e as informações base necessárias à construção dos diversos perfis de mobilidade obtidos, efetuando também comparações entre eles. Obtiveram-se 12 perfis baseados em informação real, e 6 perfis construídos para simular

situações severas. Metade do total de perfis são relativos a dias da semana, e outra metade relativos a dias de fim-de-semana. O objetivo de ter muitos perfis de mobilidade é que seja possível efetuar uma análise robusta sobre quais perfis têm mais impacto tanto na segurança de abastecimento como na adequação da reserva operacional.

Numa segunda secção serão descritos os perfis de consumo obtidos, combinando os perfis de mobilidade com as estratégias de carregamento apuradas, referindo também outras estratégias encontradas na literatura mas que não foram implementadas. Serão feitas considerações de alguns dos perfis de consumo que se acharam relevantes de serem mencionadas.

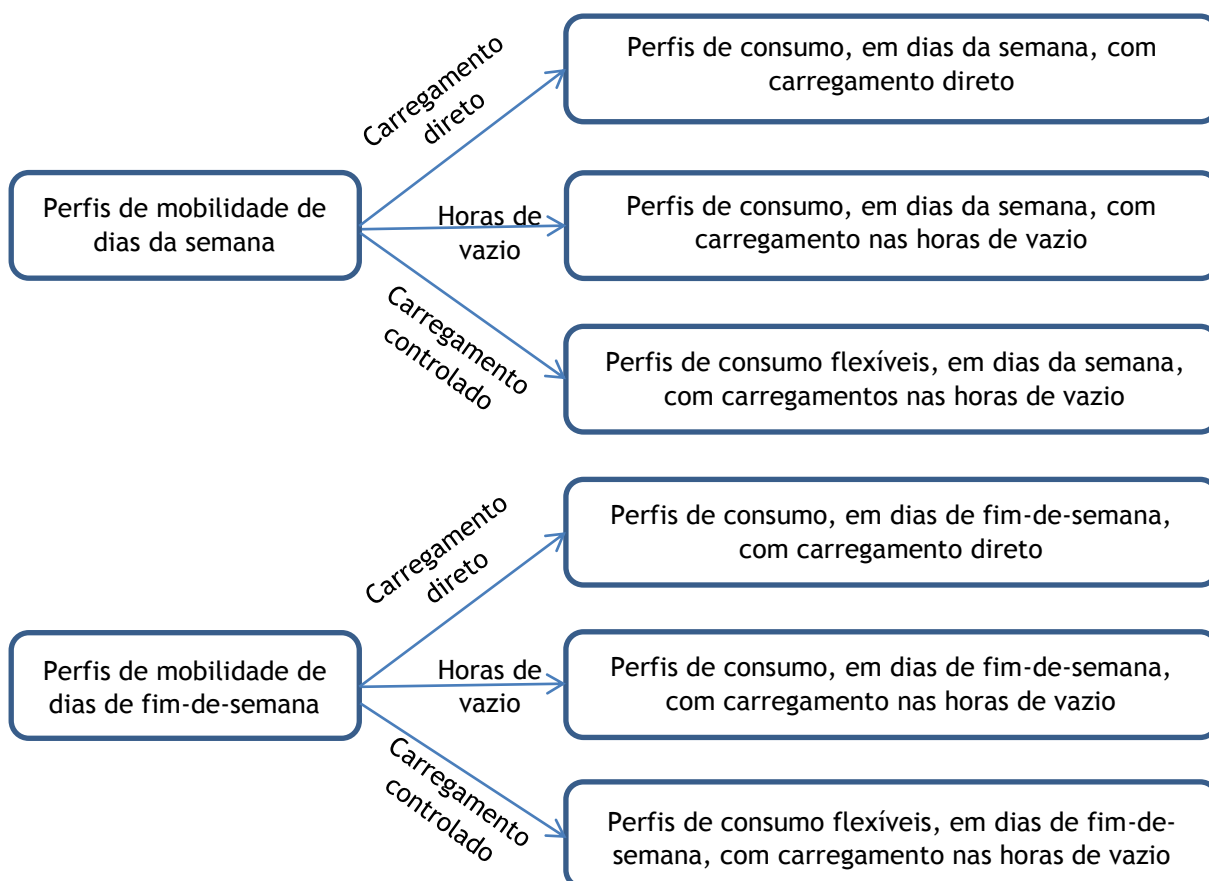


Figura 3.1 - Diagrama de estabelecimento dos perfis de consumo de EV a partir dos diferentes perfis de mobilidade e estratégias de carregamento.

3.2 - Características gerais dos perfis de mobilidade

De muitas das características que se podem extrair da mobilidade, nesta dissertação apenas interessará saber em cada hora quando, onde e quantos veículos ligeiros param, dado que estes carregam quando estão parados e ligados à rede. O facto de serem veículos ligeiros deve-se às dimensões dos EV e PHEV serem semelhantes às dos atuais ICE ligeiros.

Como se sabe a mobilidade, tanto das pessoas como de veículos, quer sejam motorizados ou não, depende de muitos fatores. Depende do ordenamento territorial, tanto das zonas rurais como urbanas, das acessibilidades a cada uma delas e entre elas, da constituição dos diferentes espaços de cada zona, nomeadamente escolas, residências, locais de comércio, locais de trabalho, locais de lazer, e também do modo de vida da população residente.

Muitas vezes, para avaliar a qualidade de vida de uma determinada população, o governo e certas organizações institucionais, tais como o Instituto Nacional de Estatística (INE) ou o Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres (IMTT), realizam inquéritos à população de determinada região ou conjunto de regiões ou mesmo do país inteiro, sobre as suas práticas diárias de mobilidade [33]. Os resultados desses inquéritos são tratados estatisticamente, servindo depois como base dos investimentos no desenvolvimento rural e urbano. As referências [44-47] relatam resultados obtidos de inquéritos realizados em alguns países sobre práticas diárias de mobilidade da população de determinada região ou conjunto de regiões, países como Portugal, Alemanha, América e Holanda respetivamente.

A seguir estão mencionadas as principais variáveis consideradas nestes inquéritos e outros semelhantes, normalmente dirigidas a cada indivíduo, cujo objetivo é caracterizar a mobilidade.

- Nº e duração das viagens que a população efetua durante um determinado período de análise.
- Zona onde costuma efetuar as suas práticas diárias de mobilidade.
- Motivo pelo qual uma determinada viagem é efetuada (trabalho, escola, lazer, regresso a casa).
- Modo de transporte utilizado (carro, transporte público, pé, bicicleta, motociclo/ciclomotor).
- Estatuto da pessoa para a sociedade (quadros superiores, função pública, estudante, reformado).

Devido ao tipo de problema que se está a estudar, nomeadamente o impacto do consumo intenso de EV ao nível da geração, a mobilidade será caracterizada num âmbito global e não regional, apesar de na maioria dos inquéritos, inclusive dos mencionados, serem feitos numa determinada região ou conjunto de regiões de um país. Significa isto que algumas das variáveis mencionadas acima não serão relevantes para a caracterização da mobilidade, por exemplo o estatuto das pessoas para a sociedade ou o local onde os veículos realizam o carregamento, apesar de estar implícito nos perfis de mobilidade.

Tendo em conta a caracterização da mobilidade, será necessário saber, em concreto e para cada hora do dia, a distribuição diária de chegadas de veículos a locais onde futuramente pensa-se que existam pontos de carregamento. A referência [5] mostra uma rede piloto de carregamento, segundo o decreto-lei nº 39/2010 que define o projecto de Mobilidade Elétrica MOBI-E para

Portugal, que visa instalar 1300 postos de carregamento normais ou lento, e 50 de carregamento rápido, distribuídos ao longo de Portugal Continental.

Como se verá de seguida, a distribuição das chegadas de veículos ao longo do dia não é constante, e portanto o consumo de EV não é igual para todas as horas. A cada hora corresponde o parâmetro estatístico λ mencionado no capítulo anterior, podendo ser a um e/ou aos diversos lugares considerados (local de trabalho, casa, zonas comerciais, zonas de lazer), dependendo da mobilidade.

Em termos de modelo, é conveniente saber quantos novos veículos vão carregar a cada hora. Sabendo quanto tempo, em média, um veículo demora a carregar, o total de veículos a carregar numa dada hora são os que começam a carregar nessa hora mais os que ainda vão precisar de carregar nessa mesma hora. Esse consumo, juntamente com a carga convencional, poderá originar uma situação de deficiência de reserva operacional.

Quanto ao tipo de EV considerados, a referência [48] ilustra alguns dos tipos mais comuns no mercado, e normas de standardização que devem ser feitas no sentido de desenvolver o mercado dos EV. Os veículos considerados são veículos ligeiros de 4 rodas, pertencendo a 3 categorias diferentes. São elas:

- Categoria M1, que representa os veículos ligeiros de passageiros até no máximo 9 lugares incluindo o condutor.
- Categoria N1, que representa os veículos ligeiros de mercadorias com peso máximo bruto de 3500 kg.
- Categoria L7e, que representa os quadriciclos.

Existe no entanto uma outra categoria de veículos de 4 rodas com potencial para se tornar um EV, a categoria N2, que representa os veículos de mercadorias com peso máximo bruto entre 3500 kg e 12000 kg.

3.3 - Perfis de mobilidade

3.3.1 - Perfil 1

A construção deste 1º perfil de mobilidade foi o mesmo utilizado em [33], estanto os dados utilizados nesse perfil na referência [49].

A base deste perfil é um inquérito realizado pelo INE na região norte, abrangendo as regiões NUTS III (Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) do “Grande Porto”, “Entre Douro e Vouga”, “Cávado-Ave” e “Vale do Sousa/Baixo Tâmega”. Tanto o documento relativo a esse inquérito como o ficheiro Excel com os resultados estatísticos podem ser obtidos no site do INE em [44]. As NUTS representam divisões administrativas de países, criadas pela CEE, EuroStat e Estados-Membros, destinadas a fins estatísticos, e que estão classificadas por níveis. Neste inquérito as

classificações foram feitas ao nível III, cada uma constituída por 30 unidades que correspondem a agrupamentos de concelhos. Das 4 regiões abrangidas, a amostra totalizou 213727 indivíduos, sendo a grande maioria do “Grande Porto”.

Do estudo feito a partir deste inquérito verificou-se que tanto existiam características semelhantes das regiões abrangidas, caracterizando-se como um espectro de pouca variação regional das práticas de mobilidade, como também características particulares de cada região. Das características gerais semelhantes destacam-se a grande dependência dos veículos motorizados, principalmente do automóvel, a maioria das viagens serem feitas entre concelhos adjacentes, e os principais motivos das viagens serem o “trabalho”, “escola” e “lazer”. Das características particulares destacam-se a elevada concentração espacial de movimentos no Grande Porto devido à área metropolitana e ao seu poder económico, mas também o aparecimento de novos centros concelhios com potencial económico e social [49].

No entanto, devido ao tipo de problema em análise, apenas as características gerais serão tidas em consideração, uma vez que do ponto de vista global da geração de energia elétrica não há grande relevância onde se concentram mais as viagens, e portanto onde se irá concentrar o carregamento de EV.

A partir de [44] foi possível construir o histograma diário da Figura 3.2, que indica a percentagem das chegadas de automóveis face ao total diário, a um dos seguintes destinos: ao local de trabalho, a um local de lazer, a um local de comércio ou o regresso a casa. Este histograma está referido a dias da semana (2^a a 6^a-feira).

No processo de construção não se consideraram as chegadas à escola, porque estas chegadas representam paragens de curta duração, apenas de alguns minutos, em que grande parte da população deixa os seus filhos seguindo depois para o seu local de trabalho, e portanto não representam momentos em que o veículo possa carregar.

É ainda de referir um outro pressuposto tido em consideração. Como os EV, e mesmo PHEV, estão a ser projetados para satisfazer as necessidades diárias de mobilidade das pessoas, admite-se que os cidadãos não vão mudar significativamente as suas práticas de mobilidade no futuro, pelo que em termos de consumo os EV serão semelhantes aos atuais ICE, mas diferentes no modo de abastecimento, isto é para além do tipo de abastecimento ser diferente, energia elétrica em vez de combustível fóssil, grande parte da população poderá ter o seu CP instalado dentro de sua casa, podendo carregar em casa e precisar de deslocar-se a uma estação de serviço.

A Figura 3.2 permite observar que existem 3 períodos fundamentais na análise deste perfil: das 7 às 9h, quando a maioria da população vai para o trabalho, das 12 às 14h quando a população se desloca para almoçar, e das 17 às 19h, período em que as pessoas regressam a casa.

Como se referiu este histograma representa as chegadas a vários locais possíveis, o que torna evidente a existência de uma infra-estrutura de carregamento pública. Por isso neste perfil se admitirá o carregamento em zonas públicas, algo que em certos perfis não acontecerá uma vez que só se considerará carregamento em casa.

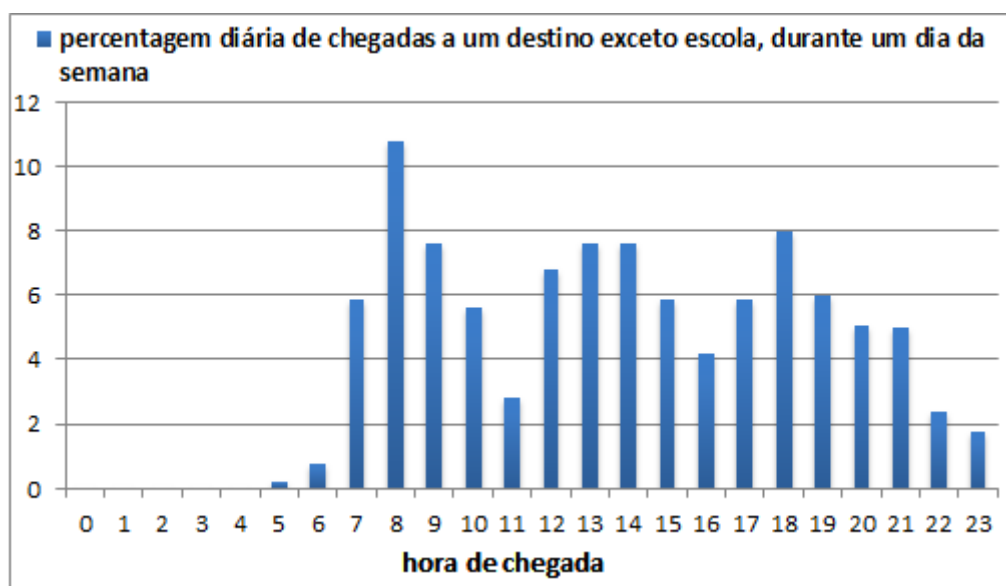


Figura 3.2 - Perfil 1: Histograma diário das chegadas de automóveis a um dos destinos mencionados, com a exceção da escola, durante um dia da semana [33].

3.3.2 - Perfil 2

A base deste 2º perfil é o mesmo inquérito utilizado no perfil anterior, mas neste caso referido aos dias de fim-de-semana. O objetivo da criação dos perfis de mobilidade em dias de fim-de-semana é criar perfis complementares de maneira a ser possível caracterizar a mobilidade ao longo de uma semana, pois os resultados estatísticos mostram que as práticas de mobilidade são diferentes entre estes dois tipos de dias. Por isso, ao longo de uma semana, o perfil de dia da semana será repetido 5 vezes, e o de fim-de-semana será repetido 2 vezes.

Um dos problemas na criação deste perfil foi a falta de informação necessária dos fins-de-semana em [44], onde apenas existe informação agregada. Não tendo sido possível obter essa informação adicional, utilizou-se a informação que estava disponível tanto da referência [44] como no documento [49].

Na Figura 3.3, extraída de [49], encontra-se um gráfico que mostra, para cada hora do dia, a percentagem das partidas efetuadas ao fim-de-semana face ao total diário, partidas dos vários locais possíveis referidos no perfil anterior (casa, trabalho, comércio, lazer, outros), segundo os 4 modos de transporte considerados no inquérito (automóvel, a pé, transporte público e outros). Observa-se, segundo o que foi referido na secção “Características gerais de mobilidade”, que o automóvel tem uma importância acrescida nas partidas, tendo também nas chegadas, tal como já havido sido verificado para os dias da semana. Essa importância observa-se especialmente a partir das 8h, em contraste com a pouca utilização dos transportes públicos e outros modos.

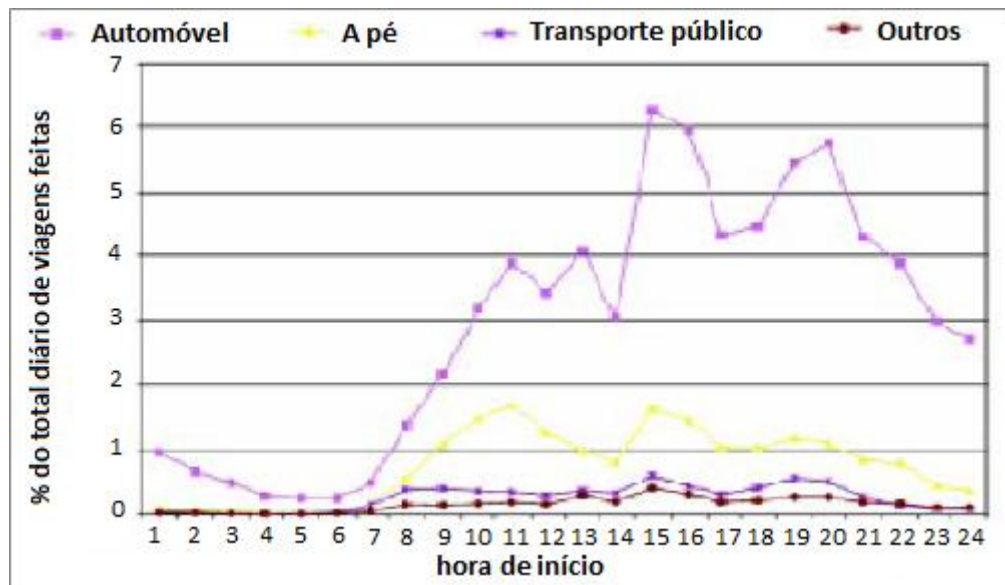


Figura 3.3 - Distribuição diária das partidas ao fim-de-semana segundo os diferentes modos de transporte [49].

Como não existem dados numéricos sobre distribuições diárias ao fim-de-semana, efetuou-se uma leitura horária do gráfico apenas para o automóvel. Verifica-se que a soma total diária dá 72%. De maneira a compensar os restantes 18%, efetuou-se uma correção horária proporcional de maneira a que a soma total diária dê 100%.

Depois deste passo, como o histograma resultante refere-se às horas de partida, é necessário transformá-lo num histograma relativo às horas de chegada. Da informação disponível de [44], verificou-se que as viagens feitas de automóvel duram, em média cerca de 20 minutos, tal como pode ser visto no gráfico da Figura 3.4.

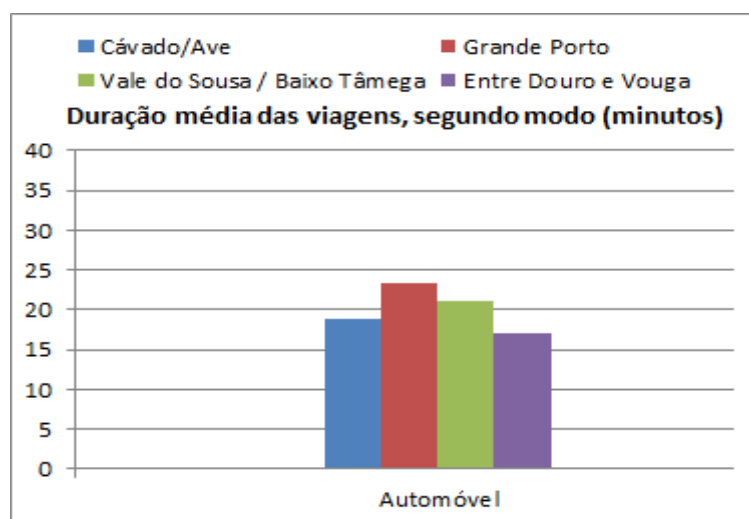


Figura 3.4 - Gráfico com tempos médios de duração das deslocações para o automóvel [44].

Admitindo que esta característica se mantém ao fim-de-semana, apesar da estimativa não ser totalmente fiável, uma vez que aos fins-de-semana as viagens são mais longas, dividiram-se equitativamente o nº de partidas pelos 3 períodos de 20 minutos que compõem cada hora. Para

transformar nas chegadas, em cada período de 20 minutos i a percentagem de chegadas p_i é igual à percentagem de veículos que arrancaram nos 20 minutos anteriores. Em termos de períodos horários, em cada hora j a percentagem de veículos que páram P_j é obtido através da seguinte fórmula:

$$P_j = \frac{2}{3}p_i + \frac{1}{3}p_{i-1}, \quad (3.1)$$

Feito este procedimento chega-se assim ao histograma da Figura 3.5, tendo o mesmo significado que do perfil 1 mas aplicado aos fins-de-semana.

Comparando este perfil com o anterior verifica-se que as horas a que chegam mais automóveis são diferentes. Neste perfil há mais chegadas de automóveis durante a tarde, visto que durante o fim-de-semana as pessoas fazem viagens mais longas, almoçando-se mais tarde, e também à noite, prolongando-se até à meia-noite (barra das 0h, com cerca de 4% de chegadas), quando as pessoas chegam das viagens, enquanto no outro chegavam mais ao início da manhã, à hora de almoço e depois ao fim da tarde.



Figura 3.5 - Perfil 2: Histograma diário das chegadas de automóveis a um dos destinos mencionados, durante um dia de fim-de-semana.

3.3.3 - Perfis 3 e 4

Para a construção destes perfis 3 e 4, utilizou-se como referência um artigo de *Soheil et al* [50]. Este artigo retrata o desenvolvimento de um novo ciclo de trabalho, baseado em dados reais recolhidos através de sistema GPS sobre hábitos diários de condução e tempos de estacionamento de *Plug-in Electric Vehicles* (PEV). Por ciclo de trabalho, os autores entendem que seja um perfil de utilização diária dum veículo, normalmente representado por um gráfico diário de base horária, com o histórico dos eventos de condução e estacionamento do veículo.

A recolha de dados foi efetuada entre Maio de 2008 e Junho de 2009, a uma frota de 76 carros, na cidade de Winnipeg, Canadá. O objetivo é permitir avaliar melhor a potencial integração de EV na rede elétrica, e definir requisitos para otimização das baterias, já que com os atuais ciclos de condução padrões, tais como UDDS, HWFET, US06 ou SC03 [19-23], não são capazes de simular completamente o consumo real de um veículo, pois estão limitados a muitos fatores na fase de testes. Não têm em conta, por exemplo situações de extrema aceleração e/ou desaceleração, que são importantes para o dimensionamento das baterias.

Da informação necessária para estes 2 perfis, apenas irá interessar a análise dos períodos em que o veículo está a estacionar. A Figura 3.6, retirada do artigo em questão, mostra a distribuição diária da percentagem diária de um veículo ligeiro estar a estacionar em cada hora, tanto para dias da semana como para dias de fim-de-semana.

Os pressupostos baseados na sua construção são os seguintes:

- Apenas se consideraram estacionamento longos, superiores a 30 minutos, como situações de carregamento de PEV, já que estes contribuem para o aumento significativo do SOC.
- Considera-se estacionamento em casa, no trabalho ou num lugar comercial, de modo a considerar qualquer cenário futuro de carregamento. Excetuam-se o estacionamento nas estradas ou em áreas abertas, pois o custo de construção de uma infra-estrutura de carregamento nesses locais seria muito dispendioso, não se justificando instalar aí CP.
- Utilizadores de EV não vão alterar significativamente o seu comportamento de estacionamento, ou seja diariamente os utilizadores irão estacionar os seus veículos dentro das mesmas horas com que estacionam os seus atuais veículos, apesar de poderem alterar o lugar em que estacionam para terem acesso aos CP.

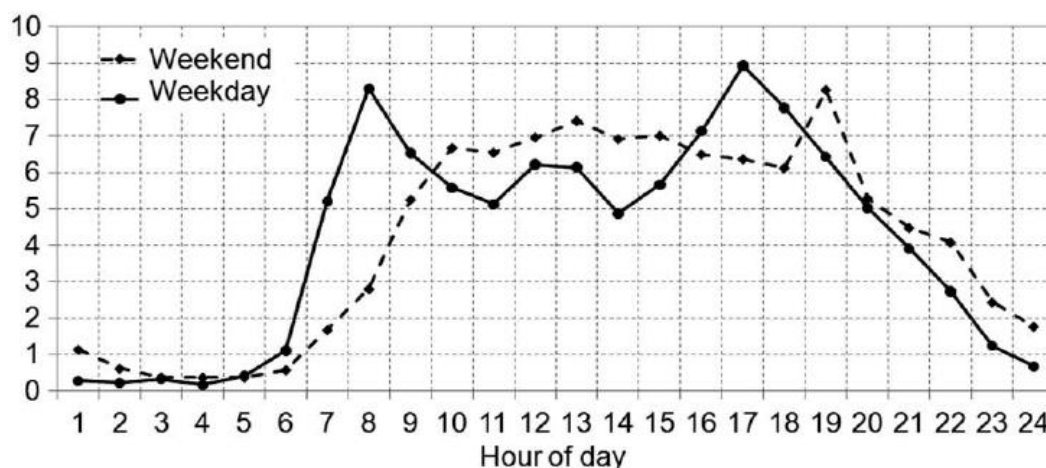


Figura 3.6 - Gráfico com percentagens diárias de ocorrência de eventos de estacionamento de veículos ligeiros [50].

A partir da análise do gráfico anterior verifica-se que não só as práticas de mobilidade de automóveis, mas também as de estacionamento são diferentes entre dias da semana e dias de fim-de-semana.

Efetuada uma leitura diária de cada um dos gráficos, verificando que a soma total diária em cada um dá 100% de eventos de estacionamento, construíram-se os respetivos perfis de mobilidade, cujos histogramas estão nas Figuras 3.7 e 3.8 respetivamente.

Comparando o perfil 3 com o primeiro verifica-se que as pontas das chegadas ocorrem em horas semelhantes, apesar de neste, tanto nas horas de almoço como ao fim da tarde, elas ocorrerem 1h mais cedo. Além disso a maior dessas pontas ocorre às 17h (cerca de 9%), face às 8h do perfil 1 (superior a 10%).

Comparando o perfil 4 com o segundo verifica-se uma maior regularidade nas chegadas, sensivelmente desde as 10h até às 18h, em que a variação máxima verificada é cerca de 1%. Quer dizer que, dentro destas horas, a taxa de estacionamento de veículos ligeiros é aproximadamente constante. A ponta ocorre às 19h, diferente das 16h do perfil 2. Também se verifica que, desde o princípio da tarde até ao fim do dia, existe um decréscimo das chegadas a uma taxa aproximadamente constante, excetuando-se às 19h, algo que no perfil 2 não acontece (chegadas, especialmente nas horas de fim do dia, variam muito entre horas consecutivas).

Entre estes dois perfis verifica-se também diferenças. Enquanto no dia da semana os estacionamentos ocorrem maioritariamente no princípio da manhã e perto de fim da tarde, ao fim-de-semana ocorrem maioritariamente durante essas horas, sendo até mais significativo durante a noite.

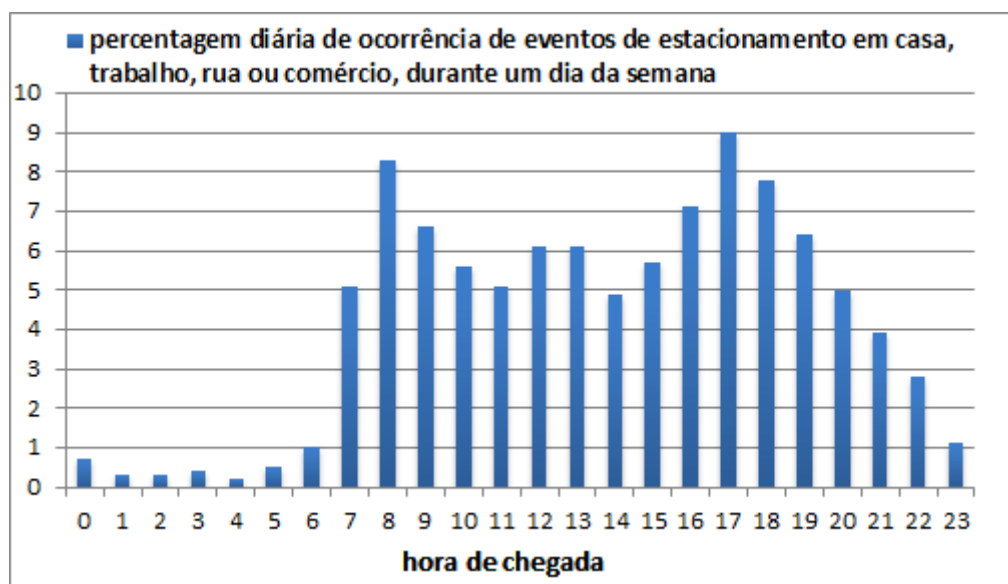


Figura 3.7 - Perfil 3: Histograma diário dos estacionamentos de EV aos vários locais possíveis, num dia da semana.

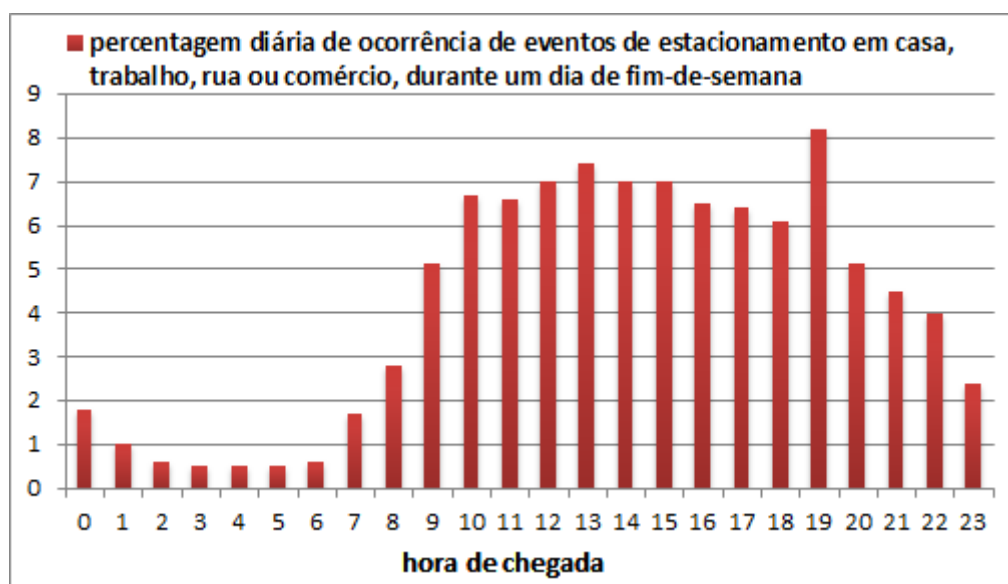


Figura 3.8 - Perfil 4: Histograma diário dos estacionamentos de EV nos vários locais possíveis, num dia de fim-de-semana.

3.3.4 - Perfis 5 e 6

A construção destes 2 próximos perfis, ambos baseados no artigo de *Jonas Fluhr et al.* [51], explora e avalia a disponibilidade dos veículos fornecerem reserva em caso de necessidade, portanto adotando uma filosofia de V2G, através de um modelo estocástico que simula o comportamento de condução dos potenciais utilizadores de EV no futuro, satisfazendo tanto as necessidades de mobilidade dos utilizadores como também as da rede elétrica.

Os dados básicos de entrada no modelo foram retirados de um inquérito realizado na Alemanha, entre Dezembro de 2001 e Dezembro de 2002, o chamado MiD 2002 (em inglês designa-se por MiG, *Mobility in Germany 2002*). Desse inquérito era pretendido obter informações de cada indivíduo sobre durações e distâncias percorridas de deslocações feitas por veículos de passageiros privados, e o motivo dessas deslocações, no dia anterior ao que foi selecionado para responder. Através de [45] é possível obter-se dados relativos a esse estudo nesse ano e noutros anos, bem como outro tipo de inquéritos, nomeadamente estatísticas de transportes, públicos e comerciais, estudos demográficos e estudos geográficos.

Como as simulações feitas nesta dissertação se referem ao ano de 2020, o nº de EV considerado para esse ano, segundo a tabela 3 deste artigo, representa cerca de 5% da frota total desse ano, mais concretamente 1.7 milhões de EV. Este valor será usado para a construção deste perfil.

A Figura 3.9 mostra o gráfico retirado do artigo, que representa a percentagem de EV estacionados ao longo de um dia, tanto para dias da semana (os quais no gráfico se referem a dias de trabalho, *Workday*), como também para Sábado e Domingo.

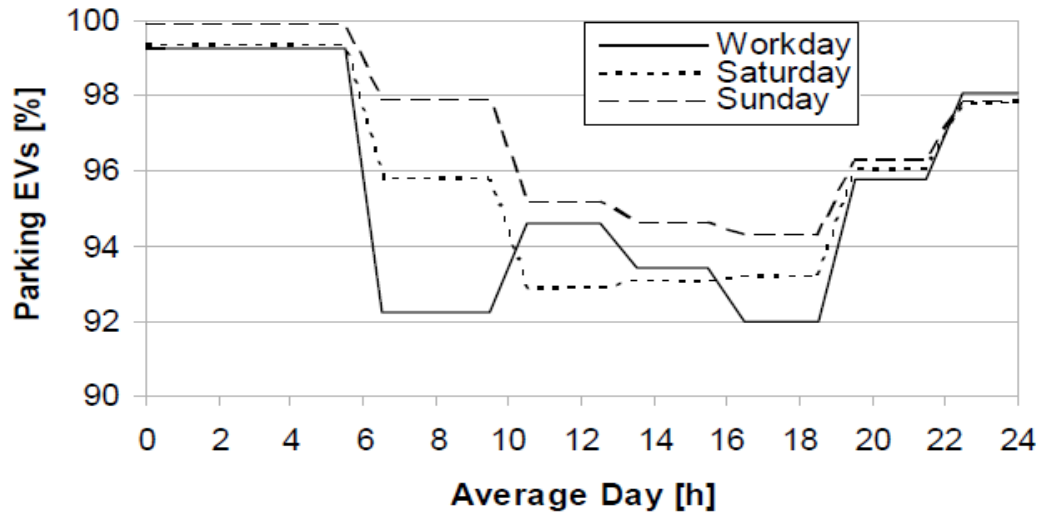


Figura 3.9 - Percentagem face ao total de EV estacionados ao longo de 24h, para os dias da semana (*Workday*), Sábado e Domingo [51].

Uma das principais conclusões sobre este gráfico é que, ao longo do dia, mais de 92% dos veículos estão estacionados, especialmente durante a noite, sendo que mais de 25% deles estão estacionados em casa a qualquer altura do dia. Sendo que os veículos estão a ser conduzidos cerca de 8% do tempo do dia, mostra que existe uma grande disponibilidade nas horas de ponta para fornecer serviços de sistema à rede elétrica, destacando-se o fornecimento de reserva tal como referido no Capítulo 2, o que requer muitas vezes o carregamento antecipado nas horas próximas e a indisponibilidade do veículo realizar viagens nas horas seguintes.

A hora em que há menos veículos estacionados verifica-se, para dias da semana, nas horas iniciais da manhã, entre as 6h e 10h, que correspondem ao período em que as pessoas deslocam-se para o trabalho, e das 16h às 18h, que corresponde ao período de regresso a casa. Nestas horas, que são horas de ponta ou próximo delas, o consumo é maior, mas dada a grande percentagem de veículos ainda estacionados, é de explorar a possibilidade dos EV fornecerem reserva nestes períodos, caso ela seja necessária.

Ao fim-de-semana já há mais veículos estacionados nos períodos mencionados, mas durante a tarde de Sábado há menos veículos estacionados, o que se deve ao facto das pessoas estarem a fazer viagens mais longas, ainda assim cerca de menos de 1% que em dias da semana.

Designando por E_i o nº de EV que estão estacionados em cada hora i , multiplicando o total de EV previstos para 2020 pelo valor percentual lido no gráfico anterior, a variação do nº de EV estacionados Δe_i entre a hora i e a hora $i+1$ calcula-se por:

$$\Delta e_i = E_{i+1} - E_i, \quad (3.2)$$

Este valor traduz o nº de EV que estão a estacionar p_i mais os que estão a começar a movimentar a_i . Como se pretende saber quantos novos EV vão começar a carregar em cada hora, é necessário saber quantos EV vão estacionar nessa mesma hora. O nº de EV que estão em movimento A_i pode ser obtido através da fórmula seguinte.

$$A_i = 1700000 - E_i, \quad (3.3)$$

Desta fórmula é possível saber quantos EV estão a estacionar em cada hora. Para construir o respetivo histograma é necessário assumir 3 pressupostos para a sua construção. São eles:

- Apenas se considera estacionamentos em casa ou no local de trabalho, desde que exista um CP próximo e disponível para ligar e carregar o veículo.
- Sabendo que a duração das viagens, tanto à semana como ao fim-de-semana, é cerca de 20 minutos, admite-se que nos 3 períodos de 20 minutos que compõem cada hora, o nº de EV estacionamentos distribuiu-se equitativamente.
- Comportamento cíclico a cada 24h. Por exemplo às 0h de um dia estão tantos EV estacionados como às 0h do dia anterior. Os dias anteriores a Sábado e 2ª-feira são, em termos deste modelo, Sábado e 2ª-feira respetivamente.

Tendo assim definidos estes pressupostos é possível construir o histograma relativo às chegadas de veículos, estas que se traduzem em estacionamentos nos dois locais referidos. O histograma encontra-se na Figura 3.10, representado por p_i , e cuja fórmula de cálculo está escrita a seguir.

$$p_i = \frac{2}{3}A_i + \frac{1}{3}A_{i-1}, \quad (3.4)$$

Esta fórmula é semelhante à que se utilizou para construir o perfil 2. Em cada hora estacionam 2/3 dos veículos que estão em movimento nessa mesma hora, que correspondem aos dois primeiros períodos de 20 minutos de cada hora, mais 1/3 dos veículos que estavam em movimento na hora anterior, correspondendo ao último período de 20 minutos.

Como se pode observar do histograma, para dias da semana, as horas iniciais da manhã e ao fim da tarde representam os períodos em que mais veículos estão a estacionar. Ao fim-de-semana já não acontece o mesmo com as horas da manhã, pois a essa hora as estão a começar uma viagem ou estão durante uma viagem, pelo que não páram tantas vezes. À noite, no entanto, verifica-se que há mais veículos a estacionar que durante um dia da semana.

Também é possível saber o nº de veículos que estão a sair do estacionamento, isto é quantos vão entrar em movimento. Esse nº de veículos pode ser obtido através da fórmula seguinte, em que a_i representa os veículos que vão a entrar em movimento na hora i .

$$a_i = p_i - \Delta e_i, \quad (3.5)$$

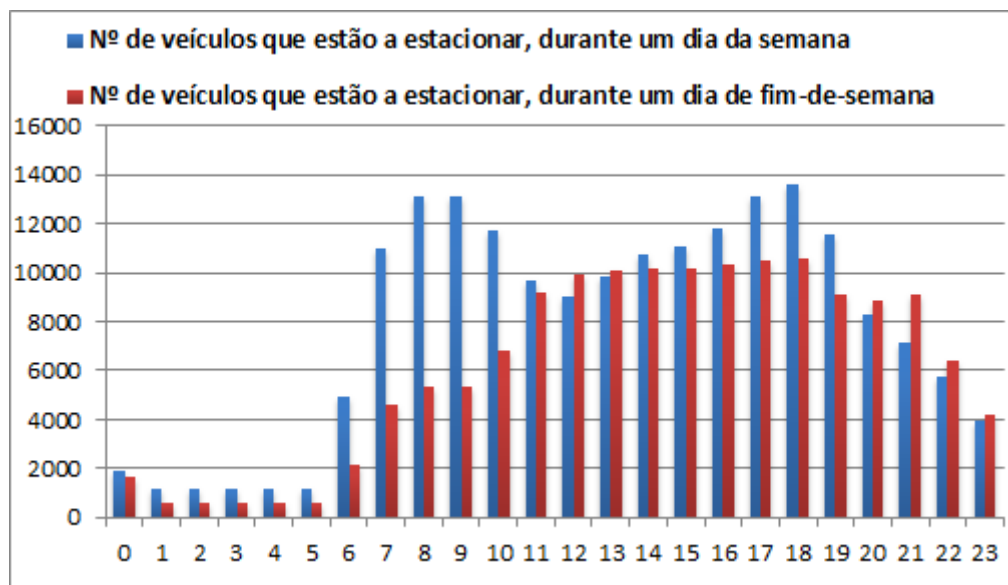


Figura 3.10 - Histograma diário do total de EV que estão a estacionar.

Tendo efetuado todo este procedimento, podem agora construir-se os dois perfis de mobilidade pretendidos. Aos histogramas da Figura 3.10, divide-se cada barra pelo total de veículos considerados, recorde-se 1.7 milhões, efetuando depois uma correção de maneira a que a soma total diária para ambos os histogramas dê 100%. Cada histograma referente a cada um dos tipos de dias estão nas Figuras 3.11 e 3.12 respetivamente.

Comparando estes com os perfis anteriores verifica-se que nestes não existem picos de uma só hora, caso do perfil 5 das 8h às 9h, ou do perfil 6 das 18h às 20h. Além disso, no perfil 5 a percentagem de veículos que chegam e estacionam é maior durante a noite que dos restantes perfis, mas sendo menos expressiva no caso do fim-de-semana.

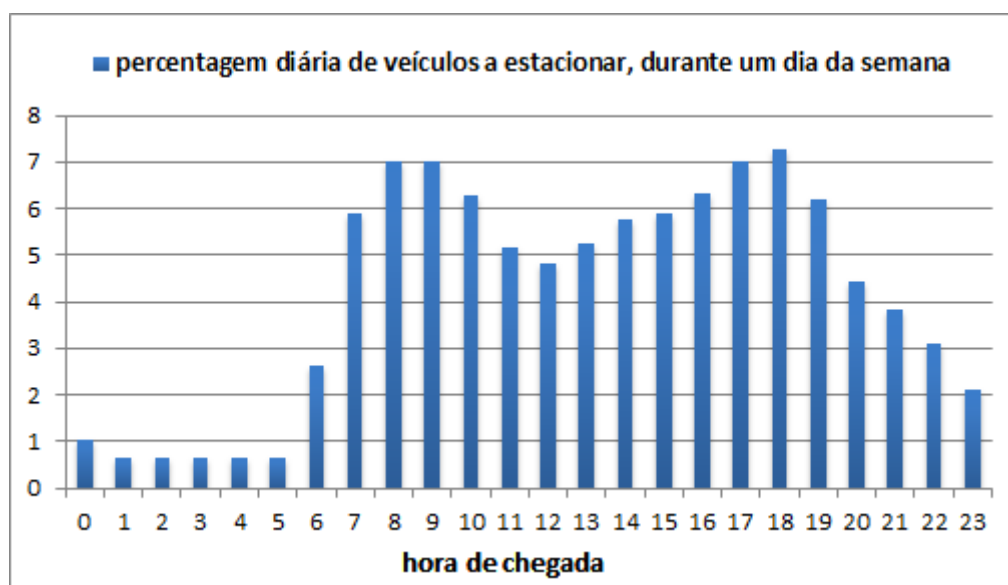


Figura 3.11 - Perfil 5: Histograma diário de estacionamentos de veículos ligeiros, num dia da semana.

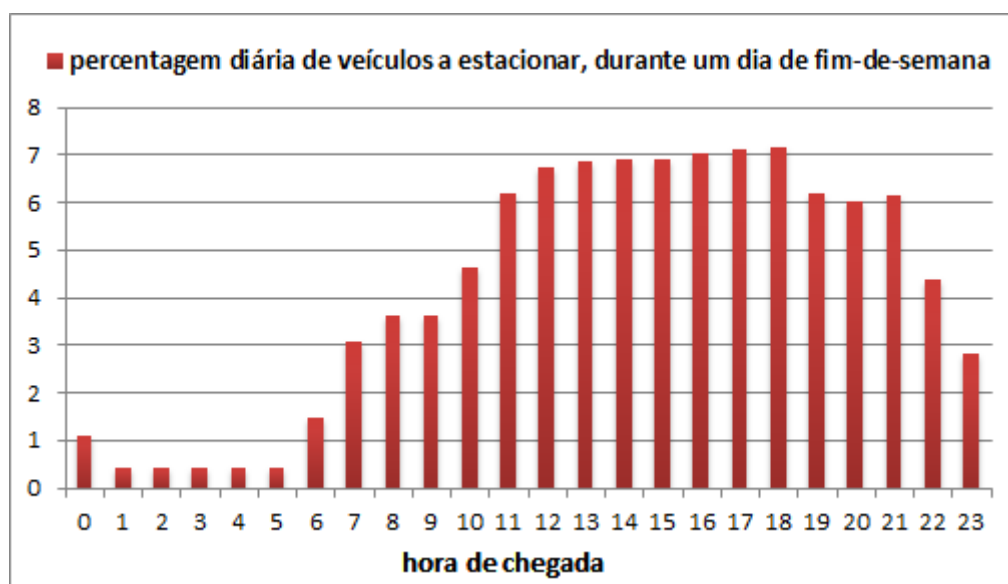


Figura 3.12 - Perfil 6: Histograma diário de estacionamentos de veículos ligeiros, num dia de fim-de-semana.

Entre estes perfis, a maioria dos veículos estaciona, num dia da semana, ao início da manhã e fim da tarde, criando um vale entre estas horas, algo que não acontece no perfil de fim-de-semana, mas ao fim da tarde já mais veículos estacionam (entre 18h e 20h), sendo que nas horas noturnas há mais veículos a estacionar que durante a semana.

3.3.5 - Perfil 7

Até agora todos os perfis apresentados tinham uma característica em comum: a possibilidade de carregamento público (no local de trabalho, lazer, comércio, casa), como futuramente prevê-se que seja possível. Essa possibilidade veio a propósito de se ter referido que as chegadas de EV a um dos possíveis locais referidos eram válidas, admitindo a existência de um CP próximo deles. No entanto, é possível admitir que o carregamento possa ocorrer num só local, por exemplo em casa, no qual já não se considera a existência de uma infra-estrutura de carregamento pública. É neste pressuposto que surge a construção deste novo perfil.

O artigo de *Lojowska et al.* [52] retrata uma simulação do método *Monte Carlo*, considerando uma representação estocástica da carga equivalente de EV, num cenário de carregamento unicamente doméstico. Esta representação foi baseada num conjunto de dados estatísticos fornecidos pelo Ministério de Transportes da Holanda de 2008 [47], onde uma pessoa inquirida detalhava as suas práticas de mobilidade num dia da semana, nomeadamente a hora que sai de casa, motivo dessa viagem, modo de transporte utilizado, localização do destino e respetiva hora de chegada a ele, distância percorrida, hora de chegada a casa.

Para caracterização da mobilidade, tendo em conta que apenas se considerou carregamento doméstico, os autores definiram a hora de saída de casa por t_1 , a hora de chegada a casa por t_2 e a distância percorrida desde que sai de casa até que chega por d . Às viagens que começam em casa num dia na hora t_1 , e terminam em casa no mesmo ou no dia

seguinte na hora t_2 , os autores dão-lhes o nome de *h2h-trip* (*home to home trip*). Posteriormente os dados relativos destas viagens foram combinados com informação técnica das baterias, permitindo assim obter a carga equivalente de EV e efetuar a simulação.

Na Figura 3.13 está um histograma retirado de [52] referente às horas de chegada a casa de veículos ligeiros. Verifica-se que estes chegam a casa principalmente entre as 16h e as 17h, com probabilidades de 18% cada hora. Tendo em conta as viagens que começam num dia e terminam no dia seguinte, os autores incluíram no eixo x valores superiores a 24, correspondendo às horas do dia seguinte (26h representa as 2h do novo dia), mas dada a sua baixa probabilidade de ocorrência, inferior a 1%, admite-se que às 0h, a probabilidade de um veículo chegar a casa nessa hora inclui as viagens começadas nesse dia mais as viagens começadas no dia anterior.

Ainda relativo ao mesmo histograma, é referido pelos autores que as viagens incluídas referem-se a pessoas que potencialmente poderão ter um EV no futuro, isto é, pessoas que não percorram mais de 110 km diários desde que saem de casa até que regressam a ela. Isto porque o artigo se refere a um EV específico, um Nissan Altra, cuja autonomia da bateria (tecnologia de Li-Ion) é de 130 km [10], assegurando que fica sempre alguma energia armazenada.

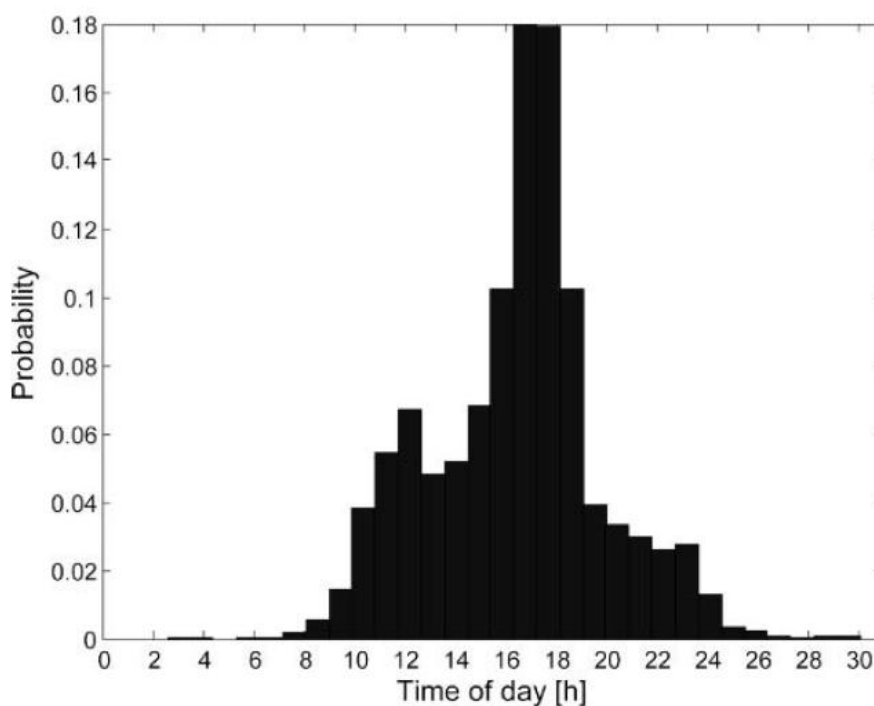


Figura 3.13 - Histograma diário das viagens h2h-trip [52].

Tendo em conta então estes dois pressupostos mencionados, foi possível então reconstruir o histograma de Figura 3.13, obtendo-se assim o novo histograma da Figura 3.14.

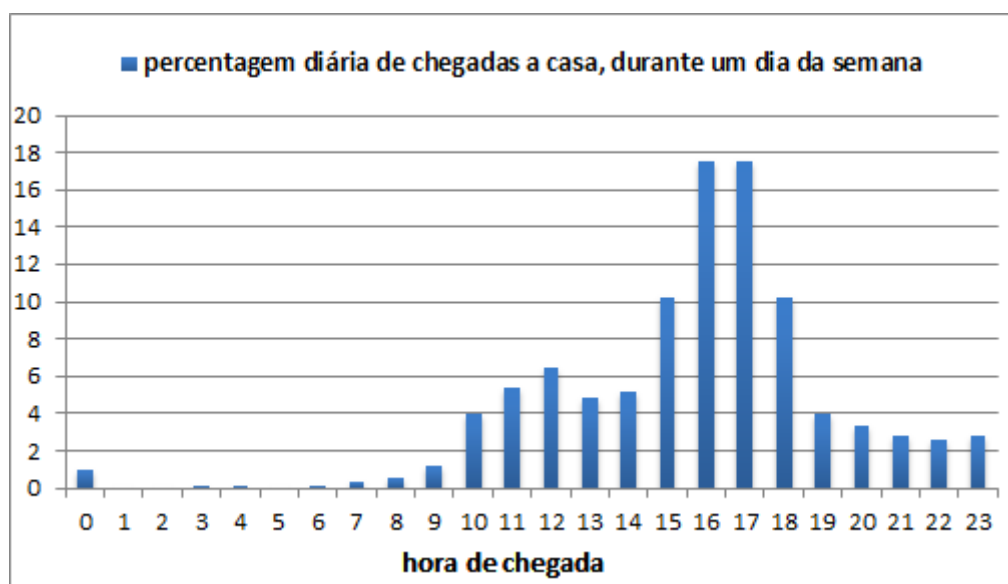


Figura 3.14 - Perfil 7: Histograma diário das chegadas de automóveis a casa, durante um dia da semana.

Comparando este perfil com os anteriores, além de se tratar de um tipo de carregamento diferente, as principais horas das chegadas têm valores elevados, concentrando-se essencialmente entre as 16h e as 17h, algo que não acontece nos outros perfis. Nota-se também às 0h a pequena percentagem de chegadas a casa referentes às viagens que começam no mesmo dia mais as viagens que começaram no dia anterior e terminam neste dia.

3.3.6 - Perfil 8

A construção deste oitavo perfil é baseado novamente no inquérito de referência utilizados nos perfis 1 e 2, com a diferença de que neste só se consideraram as chegadas de automóvel a casa durante o fim-de-semana, portanto só carregamento doméstico, tal como no perfil anterior.

Sem possibilidade de ter dados numéricos concretos sobre estas chegadas, recorreu-se à informação disponível em [49], retirando o gráfico da Figura 3.15, o qual mostra a distribuição diária das viagens feitas durante o fim-de-semana, segundo os diferentes motivos considerados no inquérito, relativamente às horas de partida do local onde o veículo se encontra. Casa e lazer, como se pode ver, são os principais motivos das deslocações de veículos ligeiros ao fim-de-semana, especialmente durante a tarde e noite. Ao princípio da manhã, as pessoas saem de casa essencialmente para o trabalho, religião e algumas para lazer, sendo que neste último a percentagem de saídas continua a crescer até sensivelmente às 11h. Chegando o período de almoço, verifica-se que as partidas para casa atingem um máximo às 13h, voltando depois a sair de casa novamente devido ao motivo lazer, prolongando-se durante a tarde. Entretanto, mais para o final da tarde, as pessoas regressam novamente a casa para jantarem, entre as 19h e 20h, voltando depois a sair de casa novamente por lazer.

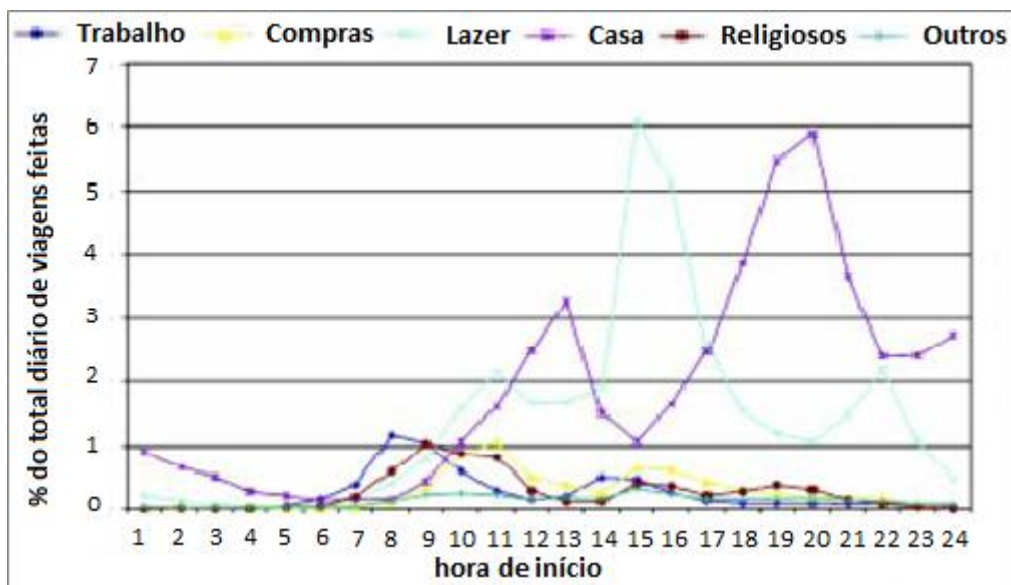


Figura 3.15 - Distribuição diária das partidas ao fim-de-semana segundo os diferentes motivos [49].

Dado que o gráfico anterior está referido às horas de partida, independentemente de qual seja o local onde um veículo esteja, é necessário transformar o gráfico anterior num histograma relativo às horas de chegada a casa. Para isso efetuou-se o mesmo procedimento realizado no perfil 2, admitindo que as viagens duram cerca de 20 minutos, e em cada um dos três períodos de 20 minutos que compõem cada hora, a percentagem de partidas distribui-se equitativamente por eles. Além disso, dado que a mobilidade de automóvel é a mais representativa, segundo o gráfico da Figura 3.3, admitir-se-á também que as chegadas a casa são feitas de automóvel.

Efetuando então a leitura do gráfico relativo ao motivo casa, corrigindo depois o valor total diário de maneira a que este dê 100%, e finalmente utilizando a expressão 3.1, obteve-se desta forma o histograma da Figura 3.16.

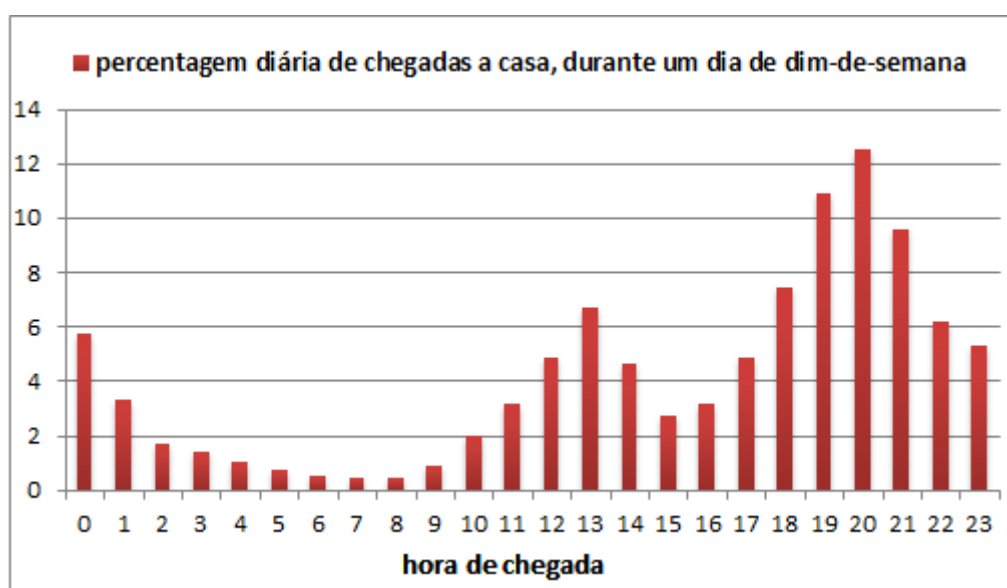


Figura 3.16 - Perfil 8: Histograma diário das chegadas de automóveis a casa, durante um dia de fim-de-semana.

Este difere dos restantes perfis de fim-de-semana devido à sua grande variabilidade nas chegadas. Percebe-se que existem 3 períodos fundamentais que os automóveis chegam a casa, das 0h às 2h, às 14h e das 20 às 22h, sendo que entre eles existem “vazios”, isto é períodos de poucas chegadas, algo que nos restantes perfis de fim-de-semana não se observa tanto, onde existe maior regularidade de chegadas. Sendo assim, as percentagens de chegadas nas pontas são significativamente superiores comparadas às dos outros perfis de fim-de-semana.

3.3.7 - Perfis 9 a 12

3.3.7.1 - Inquérito realizado e resultados obtidos

Até ao momento todos os perfis de mobilidade descritos foram feitos com base em informação pesquisada, nomeadamente artigos contendo gráficos com valores diários de veículos que estavam a estacionar, caso da Figura 3.6, ou percentagem de EV estacionados, caso da Figura 3.9. Dependendo do significado dos gráficos foi necessário efetuar algumas alterações, assumindo determinados pressupostos, de maneira a harmonizar os perfis de mobilidade.

A construção dos perfis 9 a 12 não foi baseada em pesquisa bibliográfica como os mencionados até agora, mas num inquérito dirigido inicialmente à comunidade da FEUP, alaistrando-se depois para fora dela. O inquérito foi divulgado à comunidade da FEUP através de e-mail dinâmico, e fora dela através da rede social *Facebook*, ambos entre 22 de Abril de 2012 e 28 de Maio de 2012. Nesse inquérito [55], cujo formulário se encontra no final dos anexos, pretendia-se recolher dados sobre práticas diárias de mobilidade dos inquiridos, para dias da semana e de fim-de-semana. Os dados que se procuraram saber dos inquiridos, para os dois tipos de dias, foram genericamente:

- Principal motivo das viagens que faz diariamente (trabalho, escola, lazer, religião, compras, outros).
- Modo de transporte mais utilizado nessas viagens (automóvel, a pé, transportes públicos, outros), e também no regresso a casa.
- Nº de viagens feitas diariamente devido ao principal motivo (1, 2, 3, 4, mais que 4).
- Principais horas de chegada ao destino relativo ao principal motivo, e também a casa, escolhendo cada um dos seguintes grupos horários: [0-3]h, [4-7]h, [8-11]h, [12-15]h, [16-19]h e [20-23]h.

Na elaboração do inquérito, o termo viagem refere-se a uma deslocação entre dois locais distintos num único sentido. Com esta definição, o regresso a casa pode ser considerado como um motivo independente dos restantes mencionados no 1º ponto, uma vez que se admite que uma pessoa efetua o regresso a casa pelo menos uma vez por dia.

A nomeação dos diversos motivos e modos de transporte foram baseados no inquérito realizado à região norte [49]. O motivo escola, devido à sua irrelevância em dias de fim-de-semana, assim como o motivo religião para dias da semana, foram incluídos em outros motivos no tipo de dia respetivo. O nº de viagens foi definido segundo esta ordem por se ter verificado, durante a

pesquisa, que poucas pessoas realizam mais que 4 viagens por dia. A divisão em grupos de 4 horas deve-se à não excessiva escolha de opções por parte dos inquiridos sobre as horas de chegada ao seu destino ou a casa.

Tendo então apresentado o inquérito, mostra-se de seguida os resultados agregados obtidos, começando pela Figura 3.17, a qual mostra as percentagens de viagens feitas segundo os diferentes modos de transporte considerados. Observa-se que o automóvel é muito utilizado nas viagens que os inquiridos fazem, principalmente ao fim-de-semana. No entanto, em dias da semana o transporte público é mais utilizado que o automóvel. Isto deve-se ao facto do inquérito ter sido dirigido maioritariamente a estudantes universitários, sendo que muitos deles moram perto da zona metropolitana do Porto, preferindo os transportes públicos para se deslocarem em detrimento do automóvel, ou então não têm carta de condução, automóvel próprio ou possibilidades financeiras para se deslocarem deste modo, optando pelo transporte público. Ainda assim as viagens feitas de automóvel durante dias da semana representam cerca de 35% do total diário de viagens feitas, um valor bastante expressivo e que mostra, tal como foi dito na secção 3.1 deste capítulo, a grande dependência do veículo automóvel na mobilidade diária.

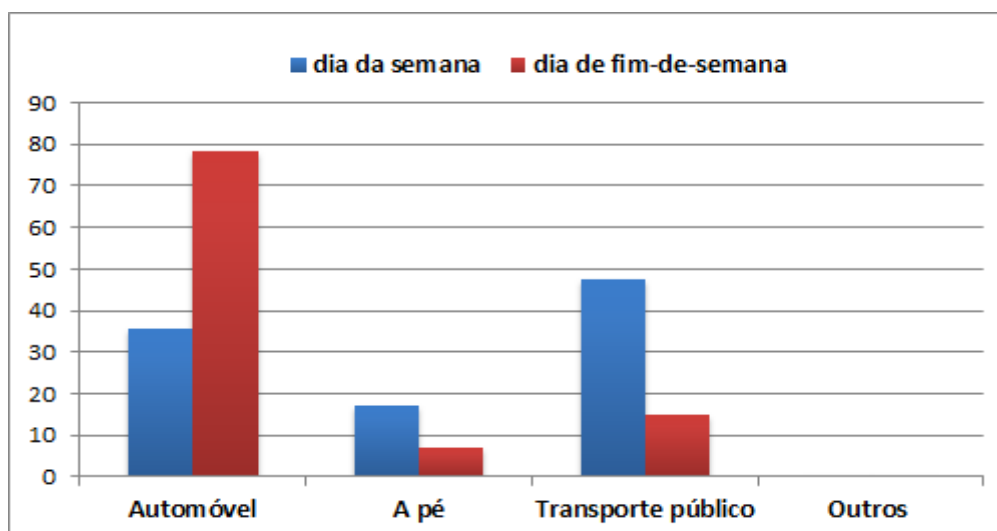


Figura 3.17 - Resultados das percentagens das viagens segundo os diferentes modos de transporte.

Da Figura 3.18 verifica-se que existem dois motivos principais pelos quais as viagens são feitas. Em dias da semana são o trabalho e a escola, e em dias de fim-de-semana são o trabalho e o lazer. Durante os dias da semana, o motivo escola comprova que o inquérito foi dirigido a estudantes, principalmente universitários, sendo que alguns deles trabalham, daí a relevância do motivo trabalho, e a pouca disponibilidade para atividades lúdicas, compras e outros motivos. Ao fim-de-semana os inquiridos normalmente não viajam para a escola (por isso foi incluído em outros motivos), e poucos deslocam-se para trabalho, sendo que dedicam o fim-de-semana à prática de atividades lúdicas, daí o motivo lazer aparecer em destaque (cerca de 80% do total de viagens diárias). Os restantes motivos aparecem só ao fim-de-semana, pois há mais tempo disponível para

eles, mas com pouca expressividade na mobilidade destes dias (a religião não se considerou à semana como motivo singular porque não é habitual efetuar práticas religiosas durante esses dias).

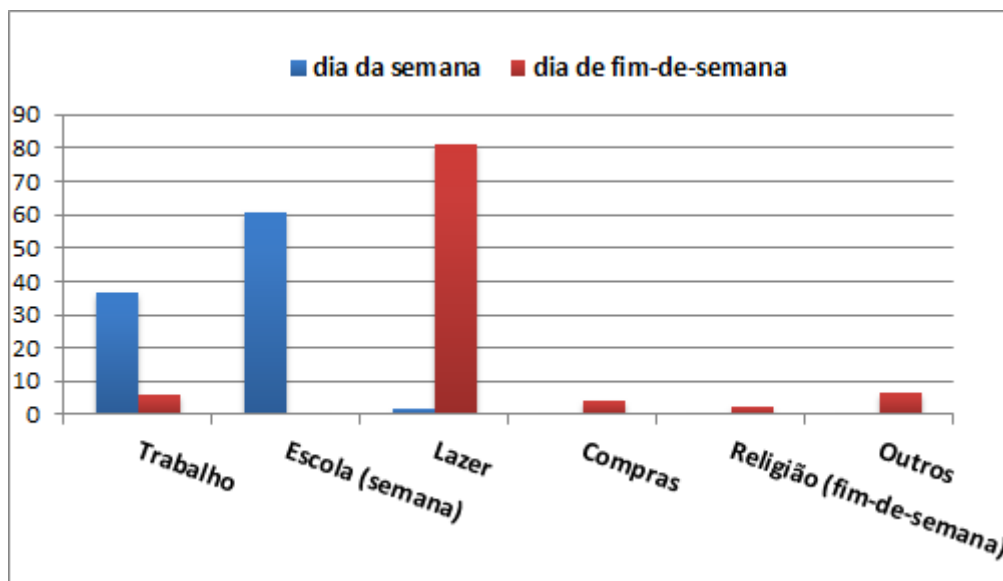


Figura 3.18 - Resultados sobre percentagens de realização de viagens segundo os diferentes motivos.

Sobre a Figura 3.19, os inquiridos fazem maioritariamente 2 viagens devido ao principal motivo pelo qual as faz, tanto para dias da semana como fim-de-semana, sendo que alguns fazem apenas 1 ao fim-de-semana. Dentro dos 721 inquiridos, a menos dos que fazem mais de 4 viagens diárias, são feitas cerca de 1523 e 1438 viagens diariamente, para dias da semana e fim-de-semana respetivamente.

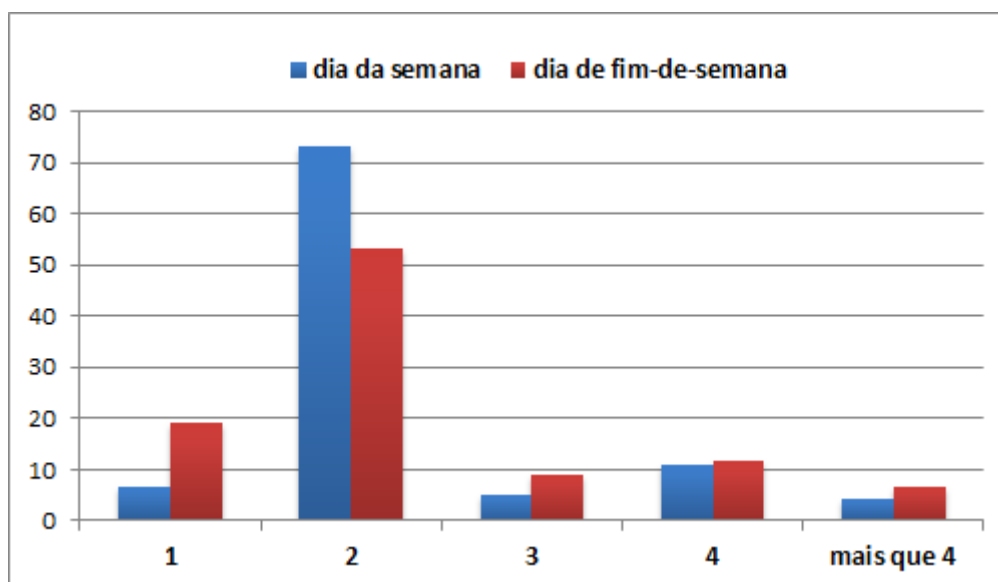


Figura 3.19 - Resultados sobre percentagens de nº de viagens diariamente feitas devido ao seu principal motivo.

3.3.7.2 - Construção dos perfis de mobilidade

Feita a análise aos resultados obtidos pelo inquérito, descreve-se agora a construção dos perfis de mobilidade. Os perfis 9 e 10 foram construídos com base nas chegadas de automóvel a casa, e admitindo portanto nestes apenas carregamento doméstico, e os perfis 11 e 12 foram construídos com base nas chegadas a um dos destinos relativos aos motivos considerados com a exceção da escola, pelos mesmos motivos considerados no perfil 1, existindo a possibilidade dos EV efetuarem carregamento público.

Na Figura 3.20 estão os histogramas relativamente às chegadas a casa e a um dos destinos mencionados exceto a escola, tanto para dias da semana como para dias de fim-de-semana, para cada um dos grupos horários considerados.

Nos histogramas das chegadas a casa em dias da semana, verifica-se que estas ocorrem maioritariamente no grupo horário das 16h às 19h, algo que se verificou do perfil 7. Já ao fim-de-semana estas distribuem-se essencialmente por este grupo horário e pelos grupos das 20h às 23h e das 0h às 3h, ligeiramente diferente do perfil 8. Nos histogramas das chegadas a um destino exceto à escola durante dias da semana, verifica-se que estas ocorrem maioritariamente nos grupos horários das 8h às 11h e das 16h às 19h, enquanto que ao fim-de-semana elas ocorrem mais das 12h às 15h e das 16h às 19h, aspetos semelhantes que também verificaram-se nos perfis anteriores.

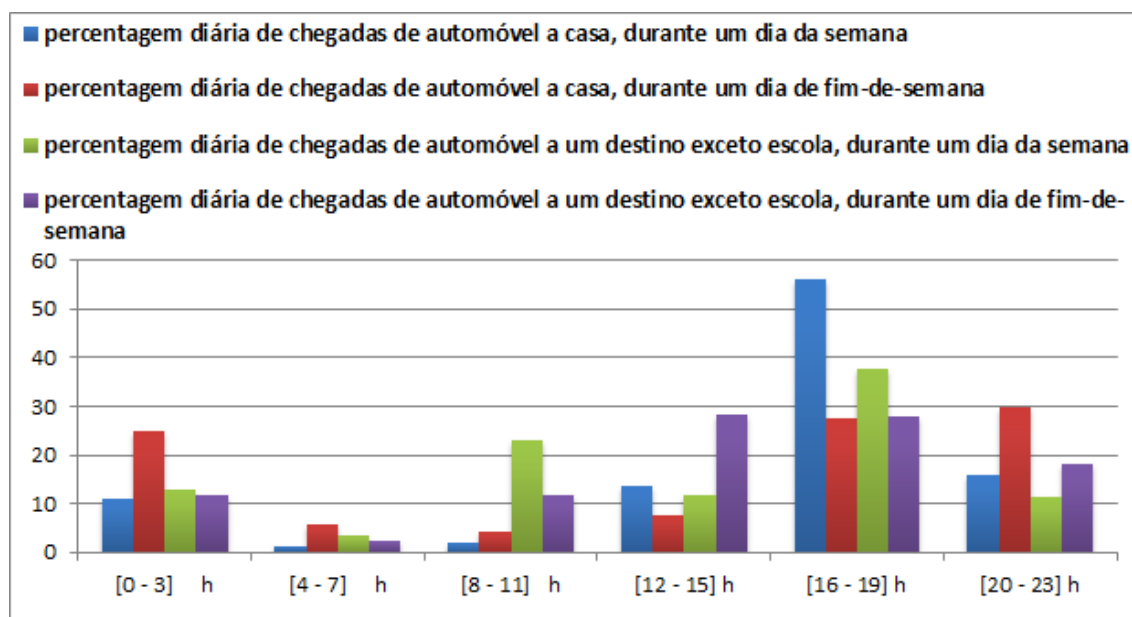


Figura 3.20 - Distribuições das percentagens referentes às 4 situações mencionadas.

Dado que a análise será feita numa base horária, é conveniente transformar cada um destes 4 histogramas num respetivo histograma diário de base horária. Identificaram-se três hipóteses de construção possíveis, estando elas descritas a seguir.

1. Para cada intervalo de 4 horas, distribuir as chegadas equitativamente por essas horas.

2. Partindo da hipótese 1, efetuar uma linearização segmentada entre o início de um intervalo e o seguinte (por exemplo efetuar uma linearização entre [0-3]h e [4-7]h).
3. Partindo da hipótese 1, efetuar uma linearização segmentada entre metades de intervalos consecutivos (por exemplo no intervalo [4-7]h, efetuar a linearização entre [4-5]h e [2-3]h, e entre [6-7]h e [8-9]h).

Optou-se pela 3ª hipótese, uma vez que a 1ª assume que durante intervalos de 4 horas chegam sempre os mesmos veículos, o que não é exatamente real, e a 2ª, apesar de ter distribuições crescentes e decrescentes ao longo dos intervalos, só tem em conta o intervalo seguinte. A 3ª hipótese tem em conta não só os intervalos seguintes mas também os anteriores, tendo sido por isso a escolhida.

Para demonstrar todo o procedimento de construção dos perfis de mobilidade desejados, utilizou-se como exemplo o histograma da Figura 3.20 relativo às chegadas a casa durante dias da semana, aplicando depois os mesmos passos aos restantes histogramas.

Na Figura 3.21 está um histograma construído com a hipótese 1, representando as chegadas de automóvel a casa durante um dia da semana, e também entre que intervalos se efetuaram linearizações. Tomando como exemplo o intervalo das 14h às 17h, todos os valores do histograma entre estas horas terão o valor da respectiva reta assinalada a vermelho. O declive da reta m e a respetiva ordenada na origem b nesse intervalo, calcularam-se através das equações 3.6 e 3.7. Todo os valores dos declives e ordenadas na origem necessários à construção destes 4 perfis de mobilidade estão nos anexos nas tabelas 7.4 e 7.5 respetivamente.

É de referir ainda que, para o cálculo de m e b entre os intervalos [22 - 24]h a [0 - 2]h, considerou-se um comportamento cíclico das chegadas durante 24h.

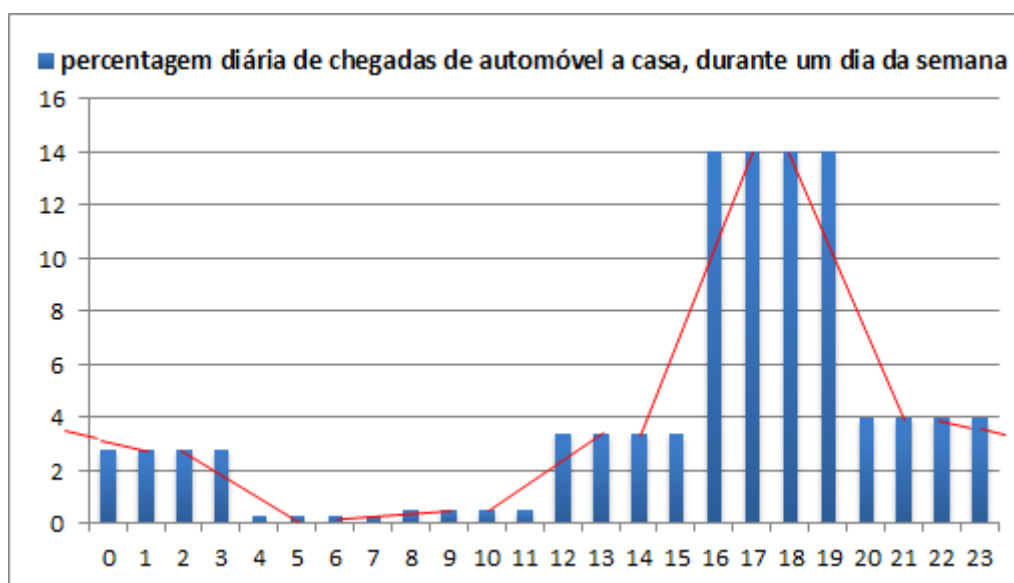


Figura 3.21 - Histograma diário das chegadas de automóvel a casa, durante um dia da semana, com as respetivas linearizações consideradas.

$$m_{14 \text{ às } 17} = \frac{Y_{14} - Y_{17}}{14 - 17}, \quad (3.6)$$

$$b_{14 \text{ às } 17} = Y_{14} - m_{14 \text{ às } 17} * 14, \quad (3.7)$$

em que Y_{14} e Y_{17} representam as percentagens da Figura 3.21 para as 14h e as 17h. Depois, utilizando a equação 3.8, obtiveram-se os valores Y'_j do novo histograma, estando este representando a verde na Figura 3.22.

$$Y'_j = m_{14 \text{ às } 17} * j + b_{14 \text{ às } 17}; \quad j \in [14; 17], \quad (3.8)$$

Olhando para os histogramas verifica-se que a integridade dos resultados não é mantida, ou seja a percentagem de chegadas entre duas horas consecutivas inseridas num mesmo grupo horário considerado no inquérito não é igual para os dois histogramas. Por exemplo, às 16h e 17h, no histograma azul a soma das percentagens de chegadas dá 28%, enquanto no histograma verde dá cerca de 24%. Isto acontece porque as linearizações foram feitas entre horas cujas chegadas se mantiveram iguais, por exemplo às 14h e às 17h. Para corrigir esta diferença, os valores horários do histograma verde devem ser corrigidos. Nas 2 horas que compõem cada intervalo considerado na linearização, por exemplo as 16h e 17h, deve ser aplicada a equação 3.9.

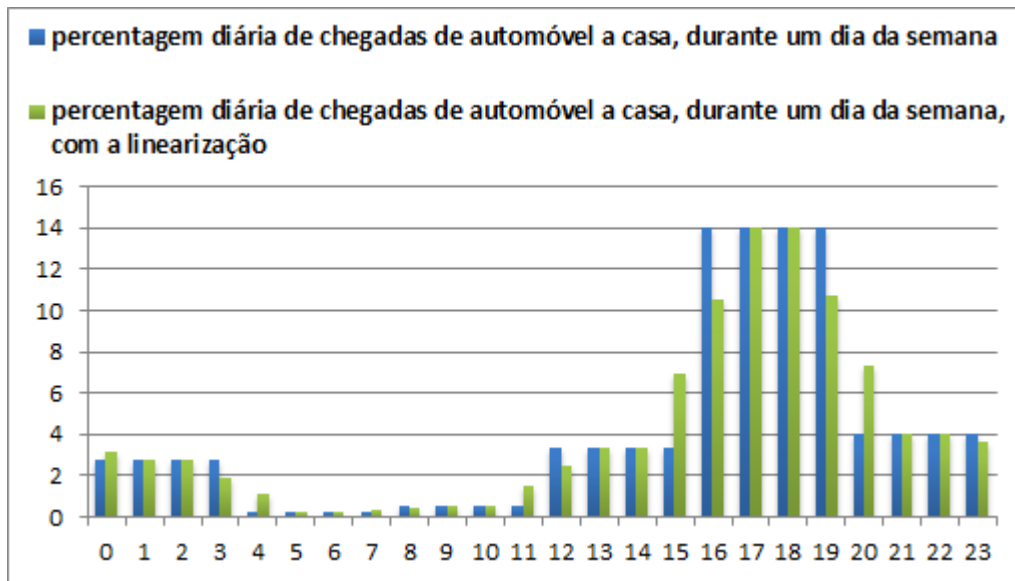


Figura 3.22 - Histogramas diários com as hipóteses 1 e 3.

$$Y''_j = Y'_j * \frac{(Y_{16} + Y_{17})}{(Y'_{16} + Y'_{17})}, j \in \{16; 17\}, \quad (3.9)$$

Esta equação deve ser aplicada então a todas as horas do histograma verde, considerando os diferentes intervalos de 2 horas em que a linearização é feita. O histograma então obtido após a

execução destes passos, bem como para os restantes histogramas da Figura 3.20, encontram-se respetivamente das Figuras 3.23 à 3.26.

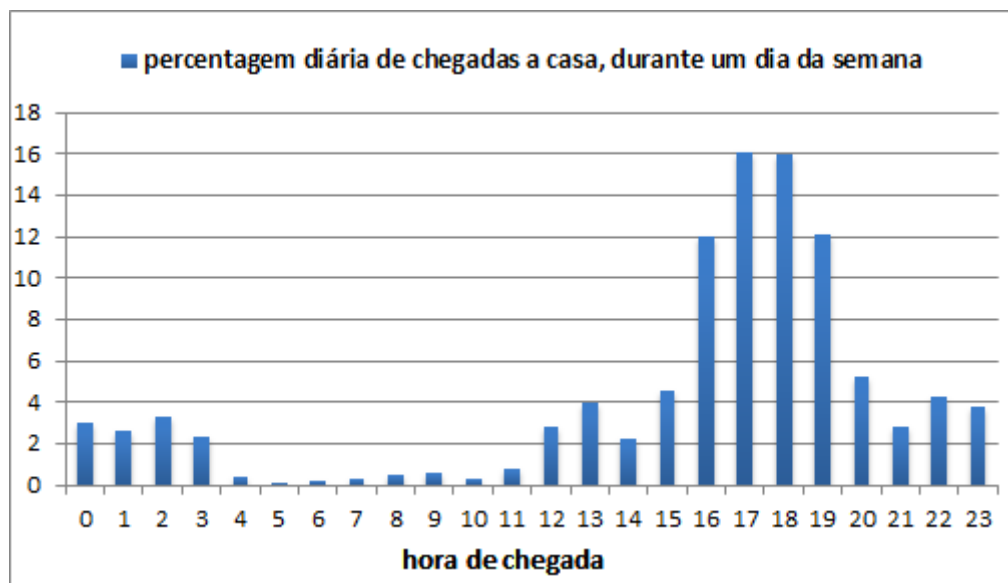


Figura 3.23 - Perfil 9: Histograma diário das chegadas de automóvel a casa, durante um dia da semana.

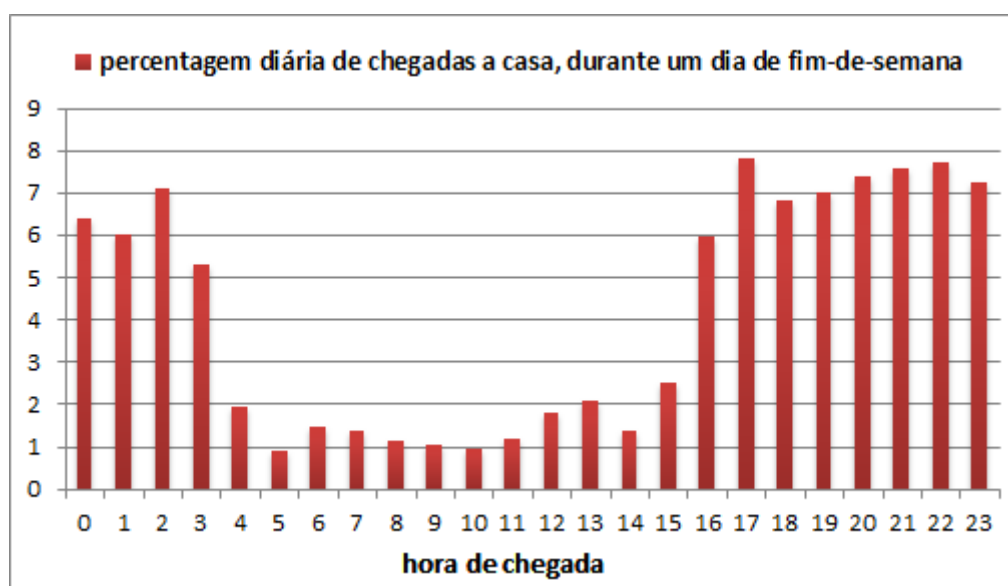


Figura 3.24 - Perfil 10: Histograma diário das chegadas de automóvel a casa, durante um dia de fim-de-semana.

Tendo então estes 4 últimos perfis de mobilidade feitos, algumas comparações com os anteriores serão feitas, assim como também entre eles.

Comparando o perfil 9 com os restantes, especialmente com o 7, verifica-se que grande parte dos inquiridos chega a casa maioritariamente por volta das 18h, mais tarde que as 16h e 17h verificadas no perfil 7. Já no perfil 10 verifica-se algo que nos restantes não se verificou, uma predominância de chegadas durante a madrugada, quase tantas como as verificadas nas horas de ponta da tarde, e poucas durante a manhã e princípio da tarde.

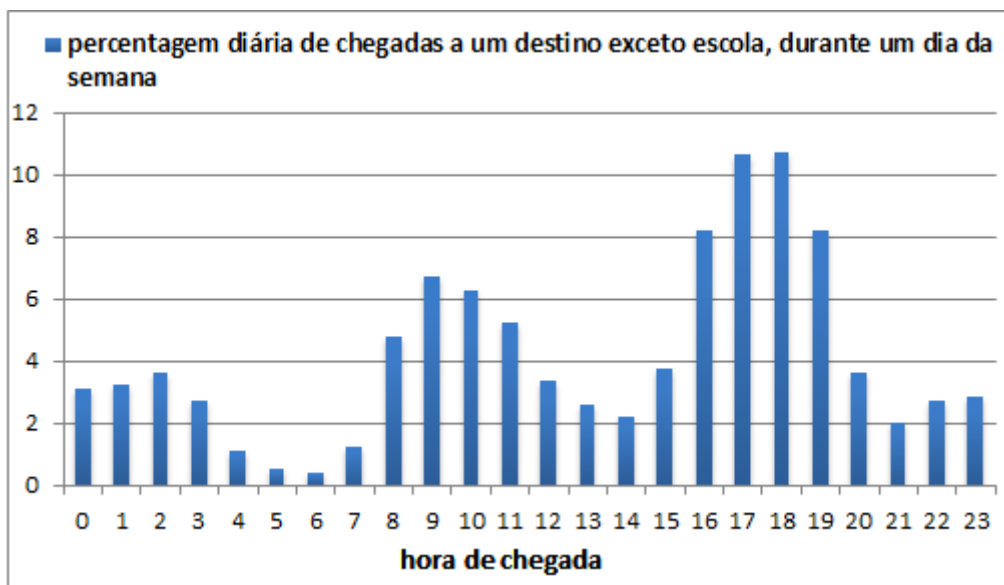


Figura 3.25 - Perfil 11: Histograma diário das chegadas de automóvel a um dos destinos mencionados exceto a escola, durante um dia da semana.



Figura 3.26 - Perfil 12: Histograma diário das chegadas de automóvel a um dos destinos mencionados exceto a escola, durante um dia de fim-de-semana.

Relativamente aos perfis 11 e 12, verifica-se no 11 uma deslocação das pontas de chegadas da manhã para as 10h, face às 8h verificadas nos perfis 1 e 3, e as poucas chegadas às horas de almoço. No entanto a predominância das chegadas a casa ao fim tarde mantém-se, apesar de neste ser mais significativo.

Já no perfil 12, a maior diferença verificada é a grande ocorrência de chegadas de automóveis durante toda a tarde, verificando-se algumas durante a noite e também na madrugada.

3.3.8 - Perfil 13 a 16

Até agora todos os perfis de mobilidade foram baseados em dados obtidos a partir de inquéritos realizados à população de diferentes países, verificando-se alguma concordância de certos aspetos, tais como a grande utilização do automóvel nas deslocações diárias, muitas chegadas nas horas iniciais da manhã ao trabalho essencialmente, muitas chegadas ao final da tarde a casa. No entanto, para se perceber até que ponto uma penetração intensa de EV pode afetar consideravelmente o sistema produtor, criaram-se perfis com fundamentação teórica mas não baseados em dados reais, e cujo objetivo é introduzir situações extremas que causem stress no sistema, esperando-se obter resultados piores aos outros perfis, ou então situações que não afetem muito o sistema.

Como não há dados reais na sua construção, admitiu-se que as chegadas concentram-se uniformemente dentro de um certo período, e também que estas ocorrem igualmente para os dias da semana e de fim-de-semana.

De modo a saber em que horas o carregamento tem mais impacto, consideraram-se várias hipóteses de chegadas de EV aos vários locais possíveis e mencionados antes, de modo a cobrir todas as horas do dia. No perfil 13 considerou-se que as chegadas de EV ocorrem durante a manhã, das 7h às 11h, no perfil 14 estas ocorrem durante as horas de almoço até meio da tarde, 12h até às 16h, no perfil 15 estas ocorrem durante as horas de ponta da tarde, das 17h às 21h, e finalmente no perfil 16 estas ocorrem a partir das 22h, prolongando-se durante a madrugada até às 7h do dia seguinte. Cada um dos perfis está mostrado respetivamente das Figuras 3.27 até à 3.30.

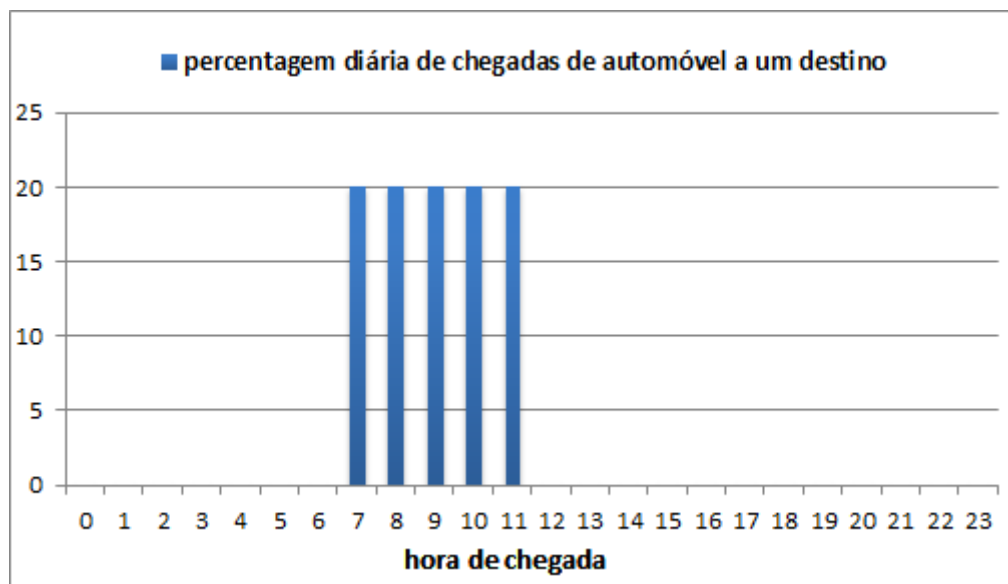


Figura 3.27 - Perfil 13: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.

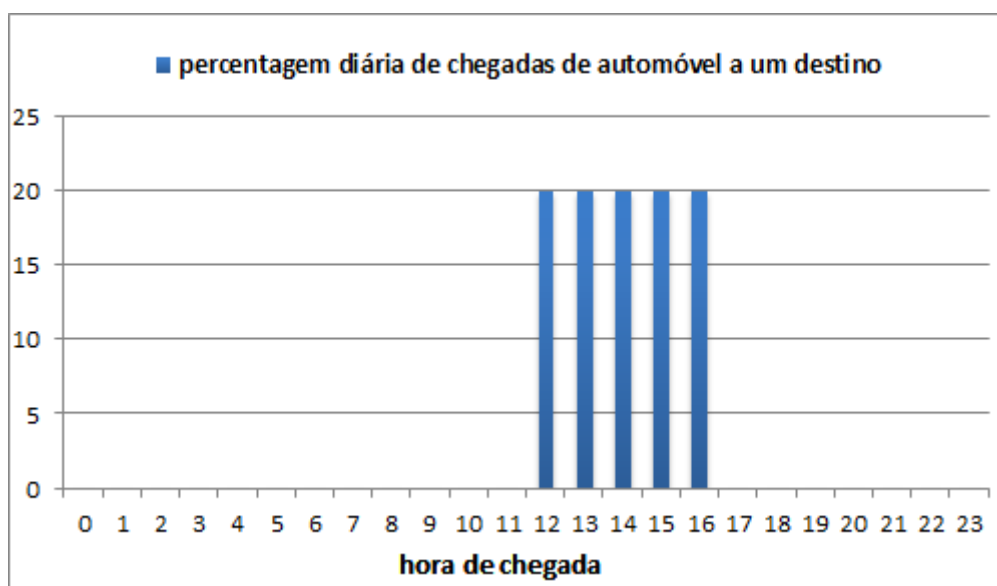


Figura 3.28 - Perfil 14: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.

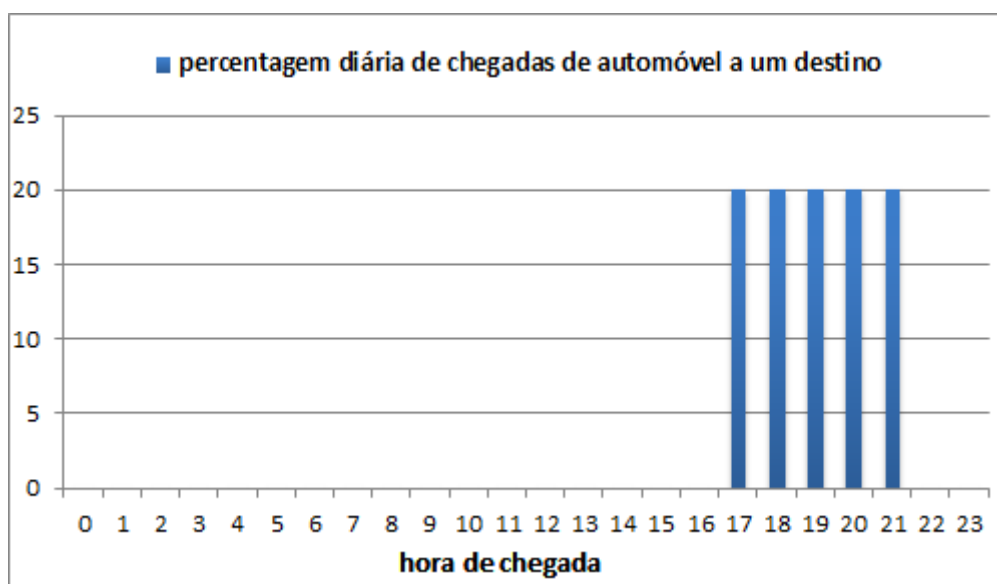


Figura 3.29 - Perfil 15: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.

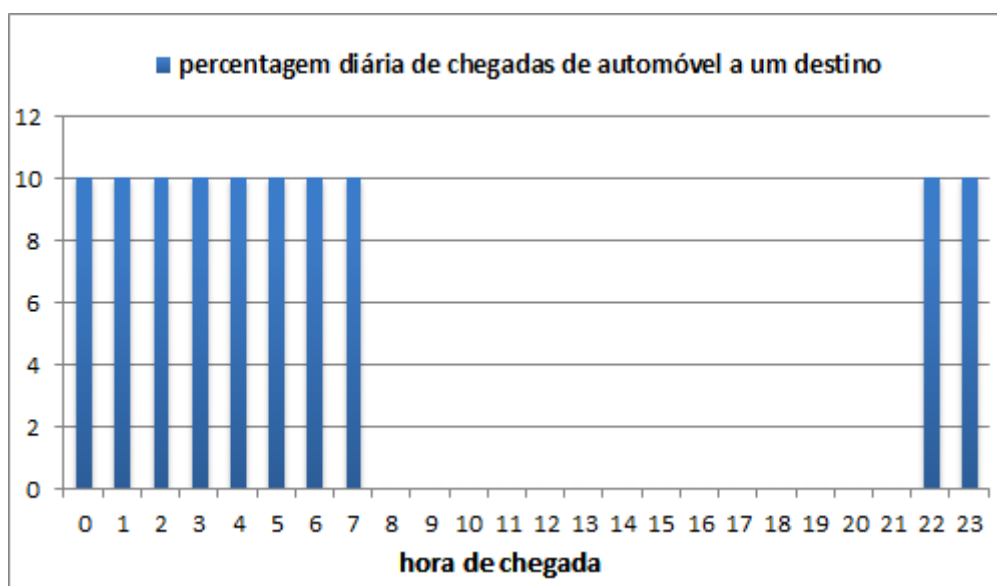


Figura 3.30 - Perfil 16: Histograma diário das chegadas de automóvel a um destino.

3.3.9 - Nomeação dos perfis de mobilidade

Feita a apresentação dos diversos perfis de mobilidade, encontrados tanto na literatura como construídos de raiz, os perfis foram designados segundo uma nomenclatura própria referentes ao nome de um dos autores das referências, ou da própria fonte quando não há um autor definido, ou então utilizando uma outra designação que o caracterize convenientemente.

Como os perfis foram introduzidos num programa de simulação agrupados em dia da semana e respetivo complementar de fim-de-semana, as designações foram atribuídas aos pares, estando elas mencionadas a seguir. Por exemplo aos perfis 1 e 2, a designação atribuída foi “Leonardo + INE”, ou seja o perfil 1 foi atribuído com o nome do seu autor, “Leonardo”, e o perfil 2 foi atribuído com o nome da referência, “INE”, sendo por isso a designação conjunta separada por +. Aos perfis 3 e 4, como a referência foi a mesma, designou-se esse par apenas por um único nome de um autor, “Soheil”. Já os perfis 11 e 12, como não têm um autor definido, utilizou-se uma outra designação, dando o nome para o conjunto de “inquerito (chegadas vários locais)”.

Perfis 1 e 2 - > “Leonardo + INE”

Perfis 3 e 4 - > “Soheil”

Perfis 5 e 6 - > “Fluhr”

Perfis 7 e 8 - > “Lojowska + INE”

Perfis 9 e 10 - > “inquerito (chegadas casa)”

Perfis 11 e 12 - > “inquerito (chegadas vários locais)”

Perfis 13 - > “chegadas [7-11]h”

Perfis 14 - > “chegadas [12-16]h”

Perfis 15 - > “chegadas [17-21]h”

Perfis 16 - > “chegadas [22-7]h”

3.4 - Perfis de consumo de EV

3.4.1 - Estratégias de carregamento

Feita a apresentação aos diversos perfis de mobilidade que permitem modelizar a carga relativa ao consumo de EV, nesta secção vão-se caracterizar as estratégias de carregamento, as quais juntamente com os perfis de mobilidade permite construir os perfis de consumo de EV, em certos casos até permite alterar a forma do perfil de maneira a reduzir o impacto.

Em todas as estratégias apuradas, admitir-se-á que o tempo de carregamento é longo, superior a 1 hora, considerando assim o carregamento como lento. Esta consideração, feita no âmbito do *Mobile Energy Resources in Grids of Electricity* (MERGE) [33], leva a estudar os cenários cujos resultados finais sejam mais desfavoráveis.

Definiram-se 3 estratégias fundamentais que a maioria dos artigos científicos implementou na sua avaliação. São elas o carregamento direto, muitas vezes designado por carregamento “estúpido” (*dumb charging*) [33] ou também por carregamento não coordenado (*uncontrolled charging*) [3], o carregamento em horas de vazio (*off-peak charging*), inicialmente designado por carregamento “esperto” (*smart charging*), e o carregamento controlado. No entanto, ao longo da pesquisa foram encontradas outras estratégias de carregamento, às quais serão feitas breves referências. No entanto, por não ser do âmbito desta dissertação, estas estratégias não foram implementadas, sendo por isso objeto de investigação em trabalhos futuros.

Algo que se vai verificar na maioria das estratégias, sendo esta uma das importantes características quando se avalia o impacto de EV na rede elétrica, é que na maioria dos casos a ponta do diagrama de cargas de EV não coincide temporalmente com a ponta em que mais EV estão ligados à rede, e mesmo com os que estão carregando, aparecendo quase sempre depois, isto porque quando são ligados veículos já existem outros que estão a carregar, sendo esta uma característica inerente da modelização de EV, a característica cronológica que o método MCS tem em consideração. Esta será observada e analisada na subsecção relativa aos perfis de consumo, podendo ser previamente analisada em [55], mas aqui aplicada a EV.

3.4.1.1 - Carregamento direto

Esta estratégia de carregamento é a estratégia natural que se caracteriza pela inexistência de supervisão e controlo do carregamento dos veículos, sendo este feito de forma livre pelos consumidores, a qualquer hora do dia. Os seus hábitos diários não vão mudar significativamente no futuro, pelo que quando os veículos param, seja em casa, no trabalho, no comércio ou num local de lazer, ligam o seu veículo à rede e começam a carregar, partindo da descarga completa das baterias até ficarem completamente carregadas. Considera-se assim que o SOC é constante, o que na realidade poderá não ser totalmente verdade.

Quando as chegadas de EV ocorrem muito próximo das horas de ponta, a ponta do diagrama de cargas conjunto, isto é a carga convencional mais a carga relativa ao consumo de EV, aumentará

consideravelmente, existindo a possibilidade de nessas horas a geração disponível não ser capaz de alimentar toda a carga ou as variações rápidas que possam ocorrer no SEE, segundo a equação 2.3 [33].

3.4.1.2 - Carregamento nas horas de vazio

Esta estratégia caracteriza-se pelo deslocamento do carregamento para um determinado período parametrizável, neste caso as horas de vazio, dando a possibilidade aos utilizadores de carregarem os veículos a um preço mais barato, além de não contribuírem para o aumento da ponta do diagrama de cargas. Após o período de carregamento, os EV que precisavam de carregar durante mais tempo são desligados da rede, e por isso não se poderá assumir como no carregamento direto que as baterias ficam completamente carregadas, não sendo o SOC constante.

Devido à carga ser baixa nas horas de vazio, esta estratégia constitui uma alternativa aos utilizadores, cabendo-lhes a responsabilidade de ligar o seu veículo à rede dentro desse período, ou ter instalado um sistema que permita ligar o veículo à rede [3].

Para além de ser benéfica para os utilizadores, também poderá ser para o sistema produtor. Em termos de reserva estática é melhor que o carregamento direto, dado que o consumo de EV se desloca para as horas de vazio, mas em termos de reserva operacional já poderá não ser. Obviamente que, num cenário de elevada penetração de EV, se todos os utilizadores carregassem os seus EV nas horas de vazio, iria acontecer um deslocamento da ponta do diagrama de cargas para as horas de vazio, podendo até ter piores resultados que um carregamento direto.

Uma das principais razões de adoção deste estratégia, para além das vantagens referidas, é permitir que a carga aumente nestas horas, que são horas em que pode haver maior desperdício de renovável, podendo desta forma integrar mais desta produção. Em [56] demonstra-se que o estudo da complementaridade da produção eólica com o carregamento de EV é fundamental nesta questão, mostrando que quanto maior a penetração de EV, menos energia proveniente do vento é desperdiçada. Este estudo será analisado no Capítulo 5, analisando também o desperdício de hídrica de fio de água.

3.4.1.3 - Carregamento controlado

Com esta estratégia admite-se a possibilidade de existir uma entidade que gera e supervisiona o carregamento dos EV, o chamado agregador, permitindo-lhe ou não realizar ações de controlo nos veículos que se disponibilizam para isso, podendo operar tanto em mercados inter-diários como em intra-diários, sendo estes últimos os mais vantajosos do ponto de vista económico.

Parte do mesmo princípio que o carregamento nas horas de vazio, desligando os veículos da rede após o período de carregamento, mas existe a possibilidade por parte do agregador de interromper o carregamento de EV em caso de emergência, transferindo-os para as horas seguintes, mesmo que depois do período de carregamento, ou então devolvendo a energia armazenada nas baterias à rede, adotando a filosofia de V2G. Nesta dissertação, apenas será considerada a interrupção do carregamento por parte do agregador, sendo esta ação feita em tempo instantâneo.

Os veículos sujeitos a ações de controlo, que poderá ser uma percentagem do total, representam uma possibilidade de fornecimento de reserva operacional, evitando o corte de carga ou o escalonamento de máquinas, uma solução mais cara. O pagamento que os utilizadores recebem por se disponibilizarem a fornecer reserva, conforme havia sido discutido na secção “V2G” do Capítulo 2, pode ser economicamente atrativo.

Devido à possibilidade de controlo, ela poderá ter uma grande contribuição para a reserva operacional, mas também trata-se de uma estratégia com uma complexidade muito grande, requerendo um grande investimento em sistemas de comunicação, controlo, contagem e gestão da rede, de modo a ser possível uma comunicação efetiva entre a entidade que supervisiona e o utilizador de EV [33].

3.4.1.4 - Outras estratégias de carregamento

Para além das estratégias de carregamento definidas, existem muitas outras estratégias definidas para avaliação do impacto dos EV e PHEV na rede. Apenas serão referidas sinteticamente algumas das estratégias encontradas na pesquisa bibliográfica que se acharam relevantes de serem mencionadas.

Em [51] encontrou-se o chamado carregamento aleatório, no qual se considera uma probabilidade de 50% de um veículo carregar, após chegar ou a casa ou ao trabalho, se este for capaz de efetuar as próximas viagens sem necessidade de carregar. O SOC do veículo é uma variável aleatória a ter em conta nesta estratégia, a qual depende da distância percorrida desde o último carregamento efetuado por esse veículo.

Outra das estratégias encontradas na pesquisa está em [11], onde admite-se a possibilidade de um veículo começar a carregar quando chega a casa apenas quando o SOC é inferior a 50%. Esta possibilidade exige saber o SOC quando um veículo chega a casa, e é portanto uma variável também a ter em conta nesta estratégia.

Em [57] também são definidas várias estratégias, destacando-se em particular uma que o autor denomina como *Smart Charging*, esta que visa maximizar os benefícios da implementação da tecnologia V2G, ou então carregamento que permita minimizar as perdas na rede de distribuição.

3.4.2 - Previsão do parque automóvel

Tendo em conta ainda a actual fraca adesão da população aos EV, devido às razões mencionadas no Capítulo 2, o impacto que estes veículos terão ainda não é muito significativo. No entanto com o desenvolvimento que as baterias estão a ter, e os incentivos por parte do estado na compra de EV, a integração massiva de EV vai começando a ter impactos não desprezáveis tanto na segurança de abastecimento como na adequação da reserva operacional, assim como outros impactos referidos no capítulo anterior. Esse impacto depende do nº de EV integrados na rede. Por isso é necessário prever o nº de EV que estarão em circulação numa dada altura.

Segundo [33], os resultados obtidos foram feitos para o ano de 2020, prevendo-se nesse ano, segundo o projeto MERGE, que existam cerca de 100 000 EV em circulação, cerca de 2,5% da frota total portuguesa, para o cenário mais desfavorável. É este nº de EV que se vai considerar nas simulações do método MCS, cujos resultados serão analisados no capítulo seguinte. Para 2030 prevê-se que esse nº cresça para cerca de 800 000 EV, representando cerca de 11% da frota nacional portuguesa, sendo este o nº de EV considerado no estudo de desperdício de energia renovável do Capítulo 5. O facto de se considerar a previsão para 2030, e não para 2020, é que para 2020 os resultados obtidos não são muito diferentes dos obtidos sem considerar EV. Para se ter uma percepção da energia renovável que pode ser aproveitada com a integração de EV, é necessária que a sua penetração seja considerável.

No entanto outras previsões para Portugal foram encontradas na pesquisa bibliográfica, levando a quotas diferentes, nomeadamente em [3][15][16].

3.4.3 - Perfis diários de consumo de EV

Depois da análise e caracterização dos diferentes perfis de mobilidade e das estratégias de carregamento, vão-se agora construir os perfis diários de consumo de EV, combinando cada perfil de mobilidade com uma estratégia de carregamento.

Na construção destes perfis de consumo foi necessário ter em consideração certos pressupostos mencionados a seguir:

- Todos os habitantes têm a mesma classe de EV, em que os veículos demoram 9h a serem totalmente carregados, a uma taxa de 3 kWh/h [33].
- Todos os EV necessitam do mesmo tempo de carregamento, carregando desde um SOC de 0% até um SOC de 100%. Com o carregamento no vazio, isto deixa de acontecer, uma vez que veículos que param perto do fim de período de carregamento são desconectados da rede.
- Característica cronológica de carregamento considerada no modelo.

Para exemplificação de como se construíram estes perfis, será utilizado como exemplo o perfil de mobilidade “Leonardo”, combinado com cada uma das 3 estratégias mencionadas antes. Admite-se que as chegadas deste perfil ocorrem apenas das 16h às 22h, assumindo que antes das 16h não existem veículos a carregar.

Nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4 estão os consumos de EV relativos ao perfil de mobilidade “Leonardo” para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas, e na Figura 3.31 os perfis obtidos. Em todas elas, o nº de EV que param na hora i é obtido através da equação 3.10.

$$N_{EV,param,i}^o = \lambda_i * Total_veículos \quad (3.10)$$

em que λ_i é o parâmetro estatístico retirado dos perfis de mobilidade, listados nas Tabelas 7.2 e 7.3, conforme o perfil que se está a construir.

Considerando em primeiro lugar o carregamento direto, os valores do consumo segundo essa estratégia de carregamento estão na Tabela 3.1. O consumo é obtido pela seguinte expressão:

$$L_{EV, i} = N_{EV \text{ a carregar}, i} * taxa_carregamento \quad (3.11)$$

Observa-se que os EV vão carregando conforme param num local onde se presume que exista um CP. Como o carregamento demora 9 horas, os EV permanecem ligados à rede até esse período terminar, sendo que entretanto outros EV chegam e ligam à rede, contribuindo para o aumento do consumo. Por exemplo às 16h chegam 4200 EV, carregando até ao final das 24h (assinalada por 0h na tabela). Com as chegadas de outros EV, por exemplo às 18h, estão a carregar esses 4200 EV mais os 5900 que começaram às 17h mais os 8000 que começaram às 18h, totalizando assim 18100 EV, e um consumo respetivo de 54.3 MW.

Tabela 3.1 - Nº de EV que chegam, e também dos que carregam, considerando o perfil de mobilidade “Leonardo” e a estratégia de carregamento direto.

Hora	Nº de EV que param	Nº de EV que carregam	Total veículos carregando	Consumo (MW)
16	4200	4200	4200	12.6
17	5900	4200 5900	10100	30.3
18	8000	4200 5900 8000	18100	54.3
19	6000	4200 5900 8000 6000	24100	72.3
20	5100	4200 5900 8000 6000 5100	29200	87.6
21	5000	4200 5900 8000 6000 5100 5000	34200	102.6
22	2400	4200 5900 8000 6000 5100 5000 2400	36600	109.8
23	0	4200 5900 8000 6000 5100 5000 2400	36600	109.8
0	0	4200 5900 8000 6000 5100 5000 2400	36600	109.8
1	0	5900 8000 6000 5100 5000 2400	32400	97.2
2	0	8000 6000 5100 5000 2400	26500	79.5
3	0	6000 5100 5000 2400	18500	55.5
4	0	5100 5000 2400	12500	37.5
5	0	5000 2400	7400	22.2
6	0	2400	2400	7.2
7	0		0	0
8	0		0	0
9	0		0	0
10	0		0	0

Na Tabela 3.2 estão os consumos de EV para a estratégia de carregamento nas horas de vazio, considerando o período de carregamento das 22h às 8h.

Conforme se pode observar, os EV que param antes das 22h não carregam, deslocando a hora de início carregamento para esta hora. Facilmente se percebe que a totalidade dos EV que chegam nas horas consideradas começam a carregar todos à mesma hora, terminando todos às 6h ao mesmo tempo.

Tabela 3.2 - Nº de EV que chegam, e também dos que carregam, considerando o perfil de mobilidade “Leonardo” e a estratégia de carregamento nas horas de vazio, considerando o período das 22h às 8h.

Hora	Nº de EV que param	Nº de EV que carregam								Total veículos carregando	Consumo (MW)
16	4200	0								0	0
17	5900	0	0							0	0
18	8000	0	0	0						0	0
19	6000	0	0	0	0					0	0
20	5100	0	0	0	0	0				0	0
21	5000	0	0	0	0	0	0			0	0
22	2400	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
23	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
0	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
1	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
2	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
3	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
4	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
5	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
6	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400		36600	109.8
7	0									0	0
8	0									0	0
9	0									0	0
10	0									0	0

Considera-se agora a possibilidade por parte do agregador em interromper o carregamento de EV controlados, atuando nos conversores eletrônicos de potência através de uma infra-estrutura de comunicações, quando não existe reserva suficiente para cobrir as incertezas mencionadas na equação 2.3. Desta forma, o perfil de consumo nas horas de vazio pode ser alterado, sendo por isso um perfil de consumo flexível.

Admitindo que entre as 2h e as 3h há um defeito de produção devido a interrupções forçadas que inicialmente não estava previsto, existe a necessidade por parte do OS em diminuir o valor da carga total. Para isso o agregador interrompe o carregamento de EV controlados dentro desse período, de maneira a que o sistema consiga operar de forma segura. Admitindo também que 60% dos EV podem ser controlados, construi-se a Tabela 3.3, cuja diferença face à Tabela 3.2 é que das 2h às 3h, o consumo diminui de 109.8 MW para 76.86 MW, aumentando depois novamente para os 109.8 MW. As horas de interrupção são depois recuperadas às 7h e 8h.

Tabela 3.3 - N° de EV que chegam, e também dos que carregam, considerando o perfil de mobilidade “Leonardo” e a estratégia de carregamento controlado, com capacidade de controlar 60% dos EV no período das 22h às 8h.

Hora	N° de EV que param	N° de EV que carregam							Total veículos carregando	Consumo (MW)
16	4200	0							0	0
17	5900	0	0						0	0
18	8000	0	0	0					0	0
19	6000	0	0	0	0				0	0
20	5100	0	0	0	0	0			0	0
21	5000	0	0	0	0	0	0		0	0
22	2400	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400	36600	109.8
23	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400	36600	109.8
0	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400	36600	109.8
1	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400	36600	109.8
2	0	1680	2360	3200	2400	2040	2000	960	14640	43.92
3	0	1680	2360	3200	2400	2040	2000	960	14640	43.92
4	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400	36600	109.8
5	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400	36600	109.8
6	0	4200	5900	8000	6000	5100	5000	2400	36600	109.8
7	0	2520	3540	4800	3600	3060	3000	1440	21960	65.88
8	0	2520	3540	4800	3600	3060	3000	1440	21960	65.88
9	0								0	0
10	0								0	0

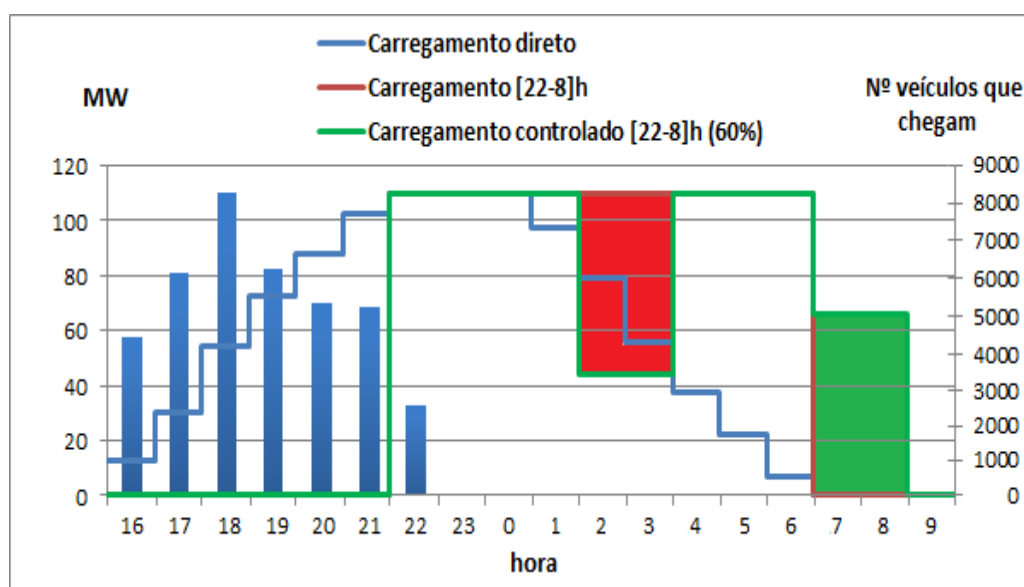


Figura 3.31 - Histograma de chegadas do perfil “Leonardo” entre as 16h e 22h, com os perfis de consumo de EV.

Como se pode observar na Figura 3.31, a ponta das chegadas relativas ao perfil “Leonardo” não coincide temporalmente com as pontas dos perfis de consumo, devido à característica cronológica inerente. No carregamento nas horas de vazio, a hora de começo tem um elevado gradiente devido

à acumulação de veículos em espera para começarem a carregar, terminando todos às 6h. No carregamento controlado, a interrupção do carregamento das 2h às 3h (área assinalada a vermelho) permitiu reduzir o consumo, recuperando depois nas horas seguintes (área assinalada a verde). Dependendo do nº de EV controlados e das condições de exploração, o consumo com carregamento controlado é flexível, tendo sido apresentado apenas um possível perfil com esta estratégia.

Aplicando agora o mesmo procedimento, mas considerando as chegadas durante todo o dia, podem-se então construir os perfis diários de consumo. Nesta secção serão apresentados alguns dos perfis de consumo obtidos, considerando alguns dos perfis de mobilidade que se acharam relevantes, e as 3 estratégias de carregamento consideradas. Os valores dos perfis de consumo resultantes, para todos os perfis de mobilidade, encontram-se nos anexos das Tabelas 7.7 à 7.14, estando na 7.6 os valores relativos à carga convencional prevista para 2020.

Considerando o perfil “Leonardo”, como se pode observar na Figura 3.32, o carregamento direto contribui para o aumento do consumo final nas horas de ponta. Apesar deste cenário de penetração, 100 000 EV, representar pouco no consumo final, cerca de 2%, os impactos tanto na segurança de abastecimento como na adequação da reserva operacional já são consideráveis, como serão analisados no capítulo seguinte. Também se verifica um desfasamento horário grande entre a ponta das chegadas e a ponta do consumo total.

Com carregamentos das 22h às 8h, sem controlo e com 40% dos EV controlados, verifica-se que o aumento das horas de ponta se desloca para as horas de vazio, ajudando a nivelar o diagrama de cargas. Com a capacidade de controlo, verifica-se a interrupção das 2h às 3h, existindo depois a recuperação do consumo na ponta das chegadas.

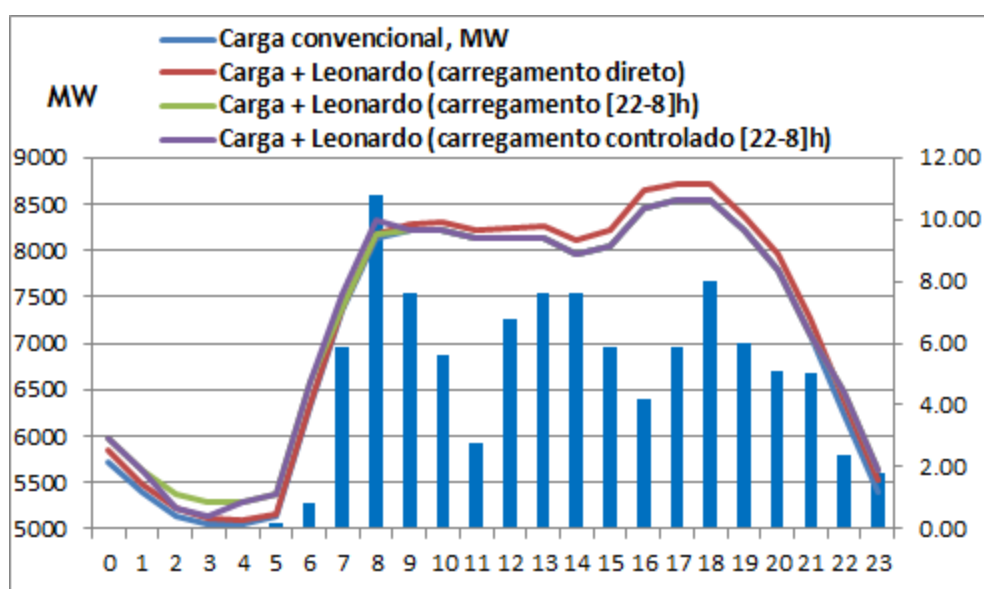


Figura 3.32 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 1, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.

Para os perfis de mobilidade baseados em dados reais, os perfis não se alteraram muito, pelo que não serão apresentados. Pelo contrário, os perfis que criam situações extremas no sistema

produtor, “chegadas [7-11]h”, “chegadas [12-16]h”, “chegadas [17-21]h” e “chegadas [22-7]h” alteram os perfis. Os gráficos relativos a cada um deles encontram-se da Figura 3.33 à 3.37. A análise será feita essencialmente para o carregamento direto, uma vez que o carregamento nas horas de vazio e controlado é semelhante a todos eles.

No perfil “chegadas [7-11]h”, Figura 3.34, existe maioritariamente consumo de EV durante a manhã e tarde, isto porque eles param durante a manhã, das 7h às 11h, e depois carregam durante 9h, fazendo com que o consumo se prolongue até às 19h, aumentando assim na hora de ponta em cerca de 4.6%. Devido a este aumento, este perfil será um dos perfis que mais impactos terá nos índices de fiabilidade do sistema produtor.

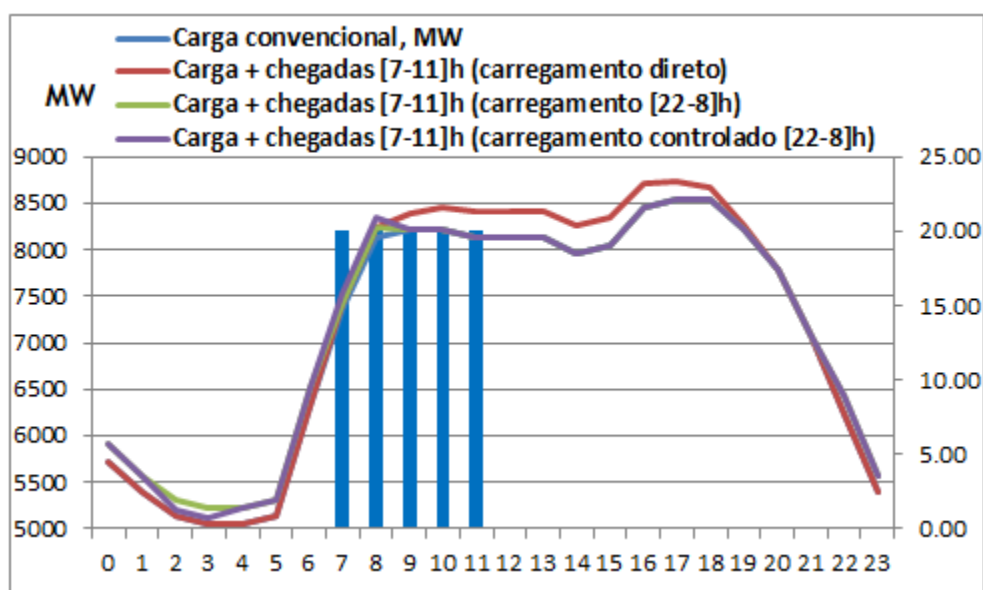


Figura 3.33 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 13, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.

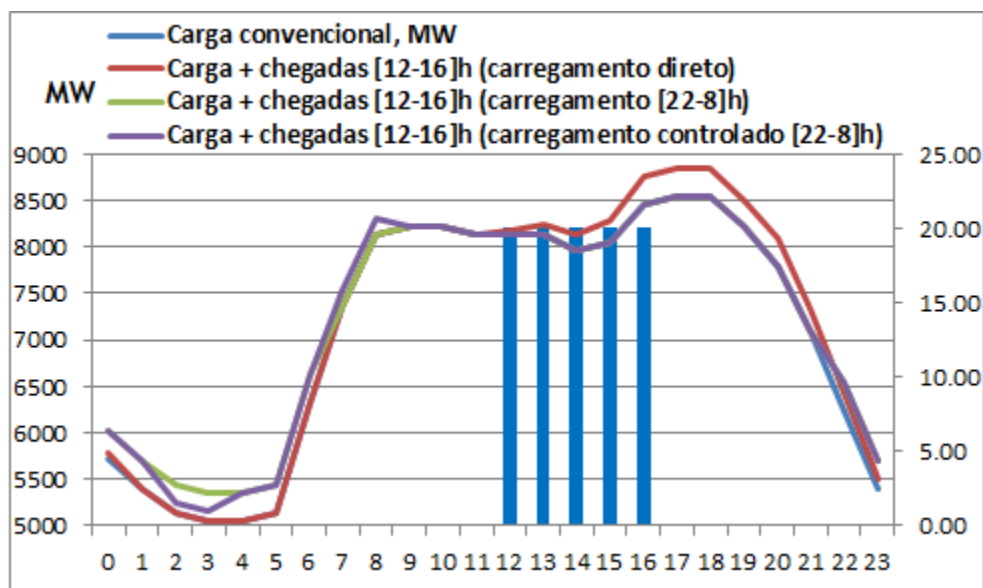


Figura 3.34 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 14, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.

No perfil “chegadas [12-16]h”, Figura 3.34, como as chegadas ocorrem desde as 12h até às 16h, o consumo começa às horas de almoço, prolongando-se durante a tarde até sensivelmente às 21h, não existindo portanto consumo na parte da manhã como o perfil de consumo anterior. No entanto, também se verifica um aumento do consumo nas horas de ponta, em cerca dos 5%, sendo portanto um outro perfil que terá maior impacto nos índices de fiabilidade do sistema produtor.

Considerando agora que as chegadas ocorrem das 17h às 21h, Figura 3.35, verifica-se que o consumo de EV não existe durante a manhã e até meio da tarde, começando a partir dessas horas e prolongando-se até meio da madrugada, sensivelmente 5h. Nas horas de ponta da tarde, também se verifica um aumento da ponta do diagrama de carga mas não tão grande como nos anteriores, sendo que existe maior distribuição temporal do consumo. É portanto um perfil “contrário” aos 2 anteriores, tanto na forma do consumo como nos índices de fiabilidade finais, sendo este um dos perfis que menos afetará o sistema produtor.

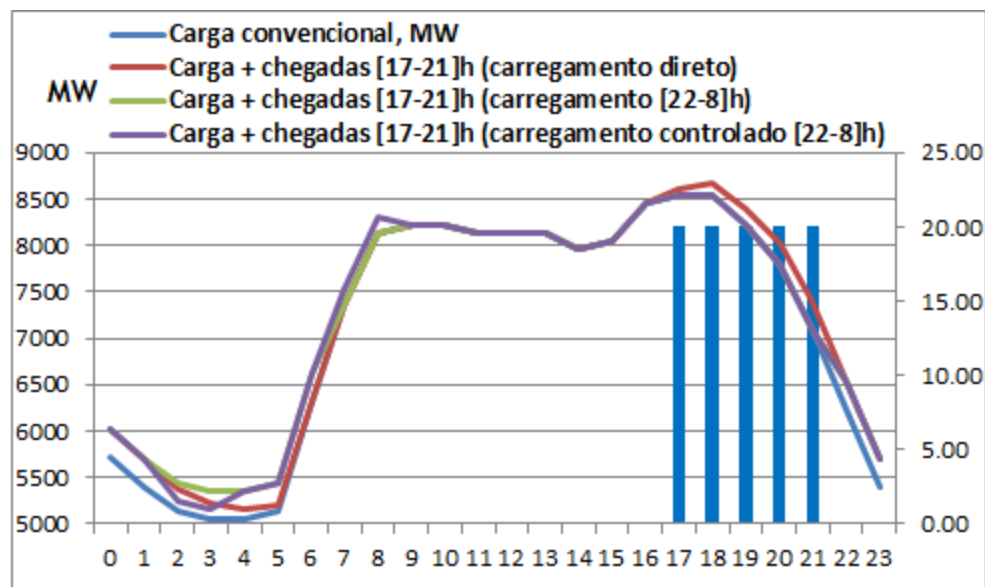


Figura 3.35 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 15, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.

Relativamente às chegadas durante a noite, das 22h às 7h, Figura 3.36, o consumo existe desde o início da madrugada até sensivelmente às 12h. Não existe aumento da ponta do diagrama de cargas como nos perfis anteriores, mas existe nas horas da manhã. A carga total chega quase a atingir os 8500 MW entre as 8h e as 9h, quase tanto como a ponta prevista, 8550 MW. Este acréscimo nas horas da manhã poderá originar situações em que a geração disponível na manhã não seja capaz de alimentar a carga, não sendo no entanto tão severo como os 2 perfis que criam situações extremas no sistema produtor, mas pode ser pior que o perfil anterior.

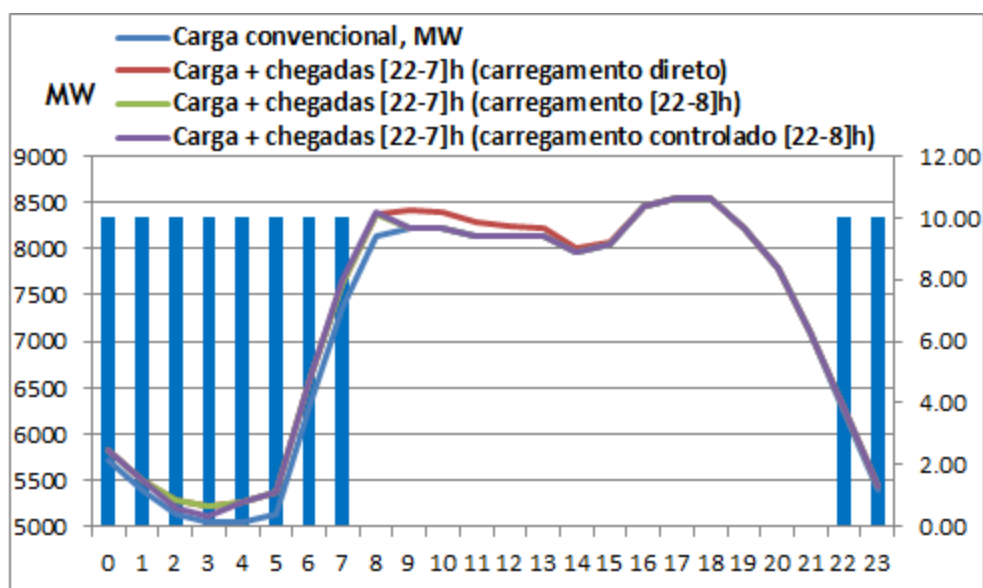


Figura 3.36 - Perfis de consumo médio diário para o perfil 16, para cada uma das 3 estratégias de carregamento consideradas.

Tendo então sido feita a apresentação à construção dos diversos perfis de mobilidade elétrica, o seu valor horário será somado à carga convencional. Os perfis apresentados neste capítulo representam valores médios que se admitem sempre iguais no tipo de dia respetivo, o que não é exatamente real dada a incerteza inerente da mobilidade. No programa de simulação, o nº de EV que estão a carregar em cada hora é obtido através do método *Inverse Transform Method* detalhado no Capítulo 2. Tendo em conta que o programa também incorpora as diferentes classes de EV mencionadas no início deste capítulo, o consumo horário de EV é obtido multiplicando o resultado desse método pela percentagem de EV de uma determinada classe pela respetiva taxa de carregamento, sendo estes dois últimos fatores parametrizáveis.

Capítulo 4

Resultados das simulações

4.1 - Introdução e caracterização do SEE considerado

Neste capítulo, tal como referido no Capítulo 1, será feita uma análise aos resultados obtidos utilizando o método MCS combinado com o processo de contagem de *Poisson*, nomeadamente a índices de fiabilidade globais que o programa calcula ao longo do processo de simulação. Serão efetuadas comparações entre os resultados obtidos dos diferentes perfis de mobilidade e estratégias de carregamento, separando a análise entre carregamentos não controlados (direto e nas horas de vazio) e carregamentos controlados. No entanto, podem ser encontrados nos Anexos, desde a Tabela 7.15 à 7.28, todos os resultados obtidos das diferentes simulações efetuadas, sendo da 7.15 à 7.21 referentes à segurança de abastecimento, e da 7.22 à 7.28 referentes à adequação da reserva operacional.

O programa utilizado para efetuar as simulações já foi utilizado por outros autores, e foi programado em linguagem *Java* no *software Eclipse* 4.1. Ele permite alterar os dados relativos à modelização de EV, nomeadamente os valores das percentagens horárias de chegadas, as quais estão listadas nas Tabelas 7.2 e 7.3.

O SEE considerado no programa de simulação foi o IEEE RTS 96 HW, uma versão modificada do original IEEE RTS 96 [60]. Este SEE é um sistema muito utilizado em estudos de fiabilidade, o qual permite modelizar estocasticamente os seus diversos componentes, e também incluir novos componentes. Do IEEE RTS 96 HW interessará saber a constituição do sistema produtor de energia eléctrica, bem como os valores diários da carga. Não interessará a topologia da rede eléctrica, tal como se aborda em [61], uma vez que a simulação admite que toda a geração e carga estão ligadas a um barramento único.

A geração que constitui o sistema produtor provém de essencialmente de produção térmica, hídrica e eólica. É composto por 77 geradores convencionais com 8965 MW de potência instalada, 18 geradores hídricos com 900 MW de potência instalada, e 20 parques eólicos com 40 MW de potência instalada. A ponta do diagrama de cargas vale 8550 MW.

Na Tabela 4.1 estão os parâmetros relativos ao sistema produtor, e também o valor que define a paragem das simulações, β . Estes parâmetros foram igualmente utilizados em todas as simulações,

tanto relativas à segurança de abastecimento como na adequação da reserva operacional. O ano que se está a considerar nas simulações é 2020.

Tabela 4.1 Parâmetros do programa de simulação.

Incerteza de carga de curto prazo	2%
Incerteza de carga de longo prazo	1%
Reserva Primária	53 MW
Reserva Secundária	160 MW
Nº de EV	100 000
B	5 %

As incertezas de curto e longo prazo representam as variações máximas previstas na carga em relação à ponta, positivas ou negativas, para cada hora na incerteza de curto prazo e em cada ano para a incerteza de longo prazo. As reservas primária e secundária foram definidas segundo dados da REN para o sistema produtor português em 2015, de modo a que ela consiga cobrir todas as variações que possam ocorrer no SEE, mencionadas na inequação 2.3. O nº de EV previstos foi o considerado para o ano de 2020.

No que diz respeito à convergência, o método MCS converge se os índices de fiabilidade LOLE, LOEE e LOLF convergirem, para um $\beta = 5\%$, ou então a simulação atinge um determinado nº máximo de anos. Verificou-se que para as simulações sem EV e com EV abrangendo o carregamento direto e nas horas de vazio, seriam necessários 3000 anos de simulação para que se verifique a convergência dos índices que avaliam a adequação da reserva operacional. Para carregamentos controlados verificou-se que essa convergência não era sempre atingida antes de 3000 anos, passando-se assim a considerar um máximo de 5000 anos de simulação.

As diferentes classes de EV referidas no Capítulo 3 foram também incluídas. A Tabela 4.2 mostra os parâmetros relacionados com essas classes, definidos conforme [33].

Tabela 4.2 Parâmetros das diferentes classes de veículos considerados no programa de simulação.

Classe do EV	Capacidade (kWh)	Taxa de carregamento (kWh/h)	Percentagem da frota de EV
M1	29	3	88
N1	23	3	10
L7e	8.7	3	1
N2	85	10	1

Procede-se de seguida à análise dos resultados obtidos das simulações. Os perfis de mobilidade foram introduzidos no programa de simulação de acordo com os pares respetivos (dia da semana e complementar fim-de-semana). Cada uma das estratégias de carregamento foi combinada com os pares de perfis de mobilidade, obtendo-se os seguintes cenários:

- Perfis de mobilidade combinados com carregamento direto.

- Perfis de mobilidade combinados com carregamento nas horas de vazio, admitindo dois períodos horários, um das 22h às 8h e outro das 23h às 9h.
- Perfis de mobilidade combinados com carregamento controlado das 23h às 9h, considerando 20%, 50% e 80% de EV que podem ser controlados.
- Perfis de mobilidade combinados com carregamento controlado das 22h às 8h, considerando 80% de EV que podem ser controlados.

4.2 - Análise aos resultados das simulações

4.2.1 - Resultados da simulação sem considerar EV

Considerando apenas os geradores convencionais, parques eólicos, geradores hídricos, carga e incertezas inerentes a cada um destes componentes, modelizados através dos seus comportamentos estocásticos, conforme feito em [32], os resultados obtidos desta simulação estão ilustrados na Tabela 4.3. Estes servirão de análise comparativa para as restantes simulações, pois é com base neles que se poderá avaliar o impacto dos EV na segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional.

Os valores atribuídos para a reserva operacional devem-se a dois factores. Um deve-se ao valor atribuído da reserva secundária, uma das reservas que compõem a reserva operacional, a qual parametrizou-se com o valor de 160 MW. O outro factor deve-se à potência instalada de hídricas ser baixa comparada com a térmica, as quais poderão não satisfazer em muitas horas as necessidades de reserva operacional.

Se cada um destes fatores melhorasse, aumentando a reserva secundária e/ou aumentando a potência instalada de hídrica, os índices de fiabilidade relativos à adequação da reserva operacional diminuiriam, uns mais do que outros. Ao aumentar a potência instalada da hídrica, os índices da segurança de abastecimento também diminuiriam, porque a diferença entre a geração e a carga aumentou.

Tabela 4.3 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação das reservas estática e operacional, sem considerar EV incorporados no SEE.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Segurança de abastecimento	0.000166	1.452537	0.033704	295.2511	0.849667	1.709538
Adequação da reserva Operacional	0.000439	3.844221	0.116938	1024.379	2.752027	1.396869

4.2.2 - Resultados das simulações da segurança de abastecimento, considerando EV

A análise do impacto dos EV na segurança de abastecimento será feita essencialmente para alguns dos índices de fiabilidade mais relevantes, nomeadamente o LOLF e o LOLE, tanto para carregamentos não controlados (direto e nas horas de vazio) como para carregamentos controlados (estes apenas na adequação da reserva operacional). No entanto a análise aos restantes índices, bem como de outros aspectos (por exemplo as distribuições de probabilidade dos próprios índices, ou da necessidade de reserva) poderia ser feita, mas as principais conclusões a retirar estão nos 3 índices mencionados, pelo que essas análises extras não serão expostas aqui.

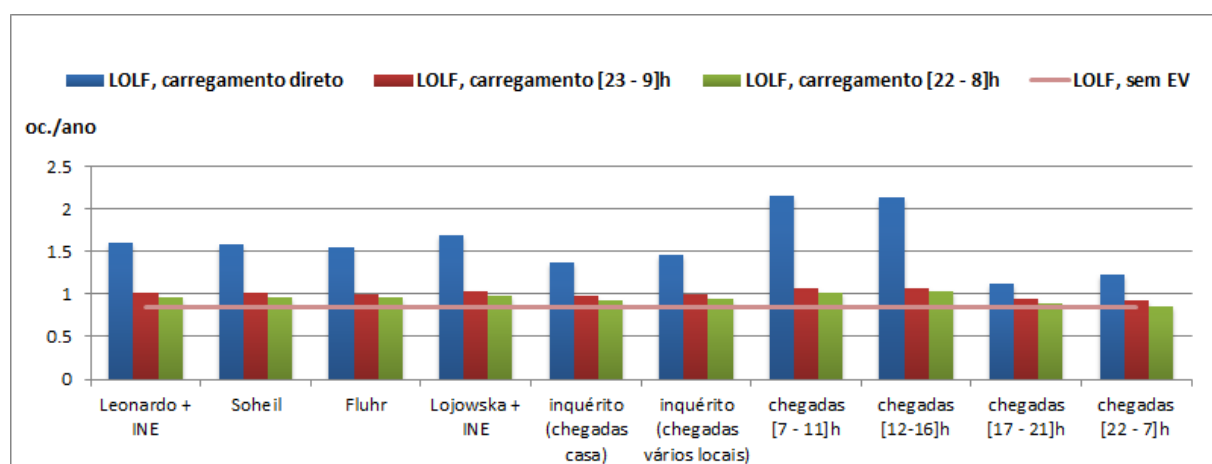


Figura 4.1 - Índice LOLF na avaliação da segurança de abastecimento, para carregamentos não controlados.

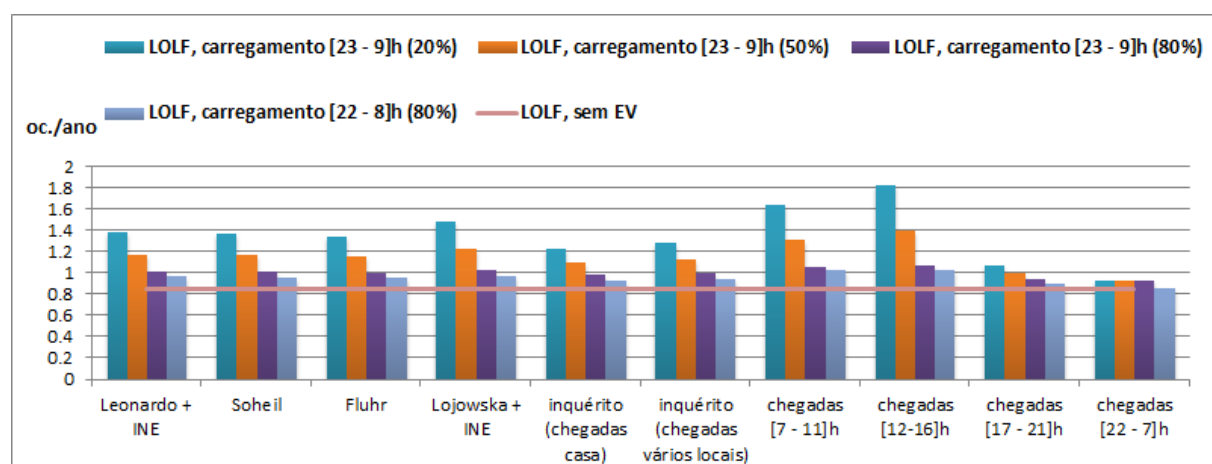


Figura 4.2 - Índice LOLF na avaliação da segurança de abastecimento, considerando diferentes percentagens de EV a carregarem nas horas de vazio.

Nas Figuras 4.1 e 4.2 estão o índice LOLF para carregamentos não controlados. Para ambos os cenários, a frequência da ocorrência de situações de deficiência de reserva estática aumenta face à situação em que não se considera EV, sendo o carregamento direto o mais severo. Isto deve-se ao

aumento do consumo horário por parte dos EV, de acordo com a mobilidade, sendo mais difícil à geração disponível alimentar a carga total.

O índice LOLF é máximo, cerca de 2.2 ocorrência por ano, quando as chegadas ocorrem entre as 7h e as 11h ou entre as 12h e as 16h. Quando se consideram diferentes percentagens de EV a carregarem nas horas de vazio, o LOLF varia. Quando as percentagens são pequenas, o LOLF aproxima-se do carregamento direto, como se pode ver com 20% dos veículos a carregar nas horas de vazio, e quando são grandes, aproxima-se do carregamento total nas horas de vazio.

Verifica-se também, na Figura 4.2, que o carregamento das 22h às 8h é melhor que das 23h às 9h. Isto deve-se ao facto de na manhã, segundo a Tabela 7.6, o 2º período abranger mais uma hora de ponta que o 1º, as 9h, que juntamente com a ponta das chegadas de manhã como acontece na maioria dos perfis, faz aumentar a carga, e portanto aumenta este índice.

De seguida apresenta-se o índice LOLE para os mesmos cenários de carregamento.

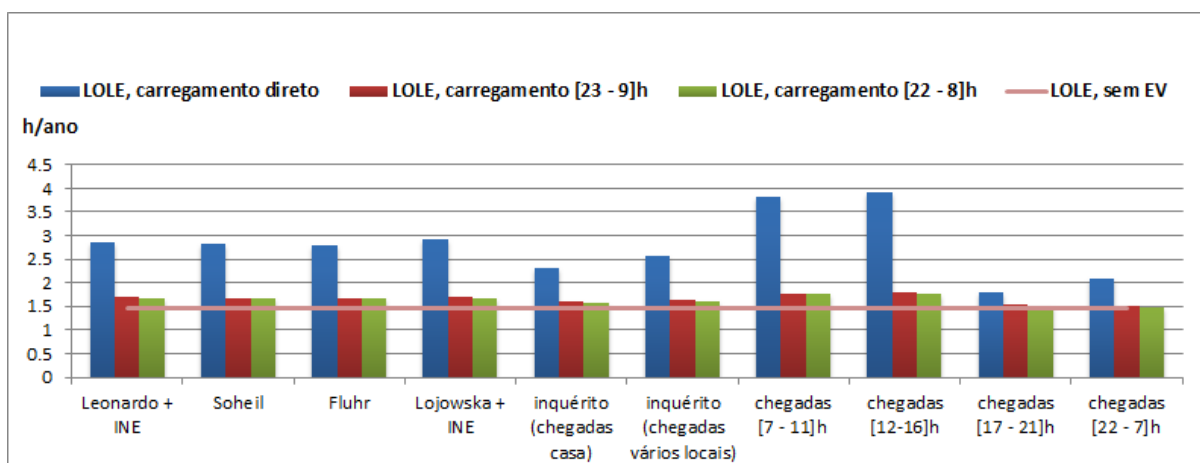


Figura 4.3 - Índice LOLE na avaliação da segurança de abastecimento, para carregamentos não controlados.

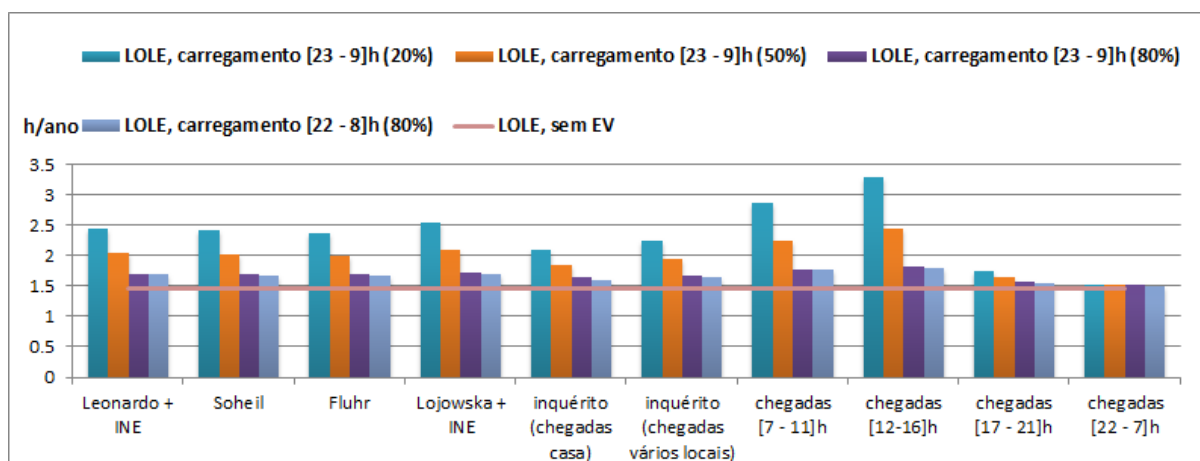


Figura 4.4 - Índice LOLE na avaliação da segurança de abastecimento, considerando diferentes percentagens de EV a carregarem nas horas de vazio.

Tal como no LOLF, o carregamento direto é o que mais afeta o sistema produtor, em termos do nº de horas do ano em que há deficiência de reserva estática, verificando-se as situações mais

desfavoráveis para os perfis “chegadas [7-11]h” e “chegadas[12-16]h”, este 2º maior que o 1º. Os carregamentos nas horas de vazio pouco afetam o sistema, existindo pouca variação entre os perfis. Quando há diferentes percentagens de EV a carregarem nas horas de vazio, segundo a Figura 4.4, as variações tendem a ser semelhantes às verificadas no índice LOLF.

4.2.3 - Resultados das simulações da adequação da reserva operacional, considerando EV

Tal como na segurança de abastecimento, serão analisados os índices LOLF e LOLE, sendo que nesta avaliação as situações referem-se a deficiência de reserva operacional, pelo que a análise aos vai ter interpretações diferentes.

Nas Figuras 4.5 e 4.6 estão o índice LOLF para carregamentos não controlados e controlados respetivamente. Como se está a prever a longo prazo uma ação que se realizará em curto-prazo (controlo é uma ação que se efetua num horizonte de horas), este só foi aplicado nesta avaliação.

Tal como na segurança de abastecimento, o índice LOLF também piora com carregamentos não controlados, sendo neste caso o carregamento nas horas de vazio mais severo que o direto. Isto devido ao consumo se concentrar nas horas de vazio, aumentando a soma das incertezas inerentes do sistema, nomeadamente a parcela relativa ao consumo de EV, como mostra a inequação 2.3. Dessa forma verifica-se maior ocorrência de situações do ano em que há deficiência de reserva operacional, aumentando assim o LOLF nestes carregamentos. O carregamento das 22h às 8h é menos severo que das 23h às 9h porque não abrange as 9h, uma hora em que a carga total é grande. O LOLF máximo ocorre quando as chegadas acontecem durante a noite, das 22h às 7h, podendo em média ocorrer 12 vezes por ano uma situação de deficiência desta reserva, 4 vezes superior à que se verifica quando não existem EV.

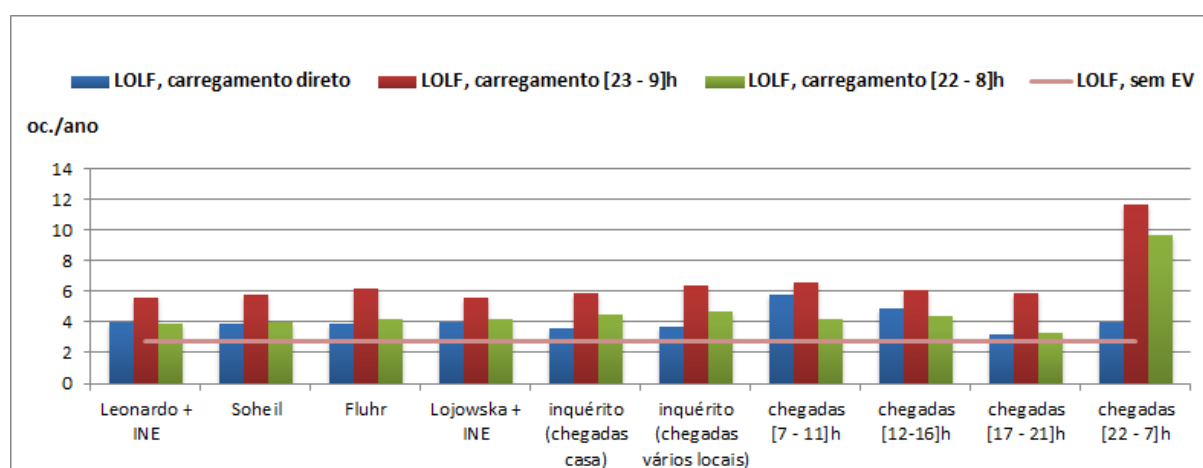


Figura 4.5 - Índice LOLF na avaliação da adequação da reserva operacional, para carregamentos não controlados.

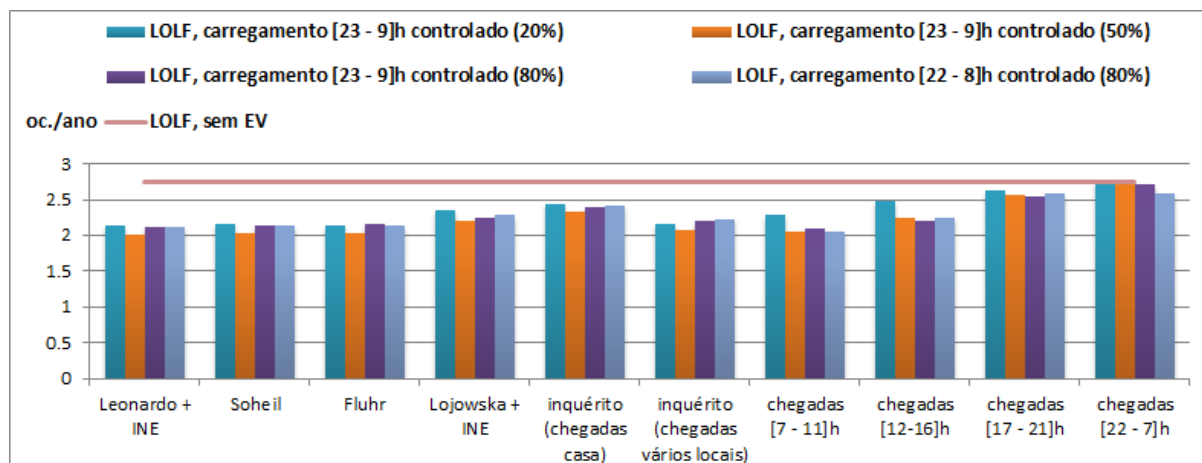


Figura 4.6 - Índice LOLF na avaliação da adequação da reserva operacional, para carregamentos controlados.

Quando se efetua controlo de EV, o índice LOLF diminui, o que está de acordo com a abordagem feita no Capítulo 2, em que se mencionava que o controlo contribuía para a reserva operacional.

Com a capacidade de interrupção total ou parcial do carregamento de EV numa dada hora, admitindo um tempo de execução por parte do agregador praticamente instantâneo (nessa mesma hora), a parcela da inequação 2.3 ΔL_{EV} diminui, reduzindo a soma total das incertezas, consequentemente o nº de ocorrências por ano em que não há reserva operacional disponível. As situações mais severas ocorrem com as chegadas das 22h às 7h, como nos carregamentos não controlados.

Efetuando agora a análise ao índice LOLE, na Figura 4.7 está esse índice para os carregamentos não controlados. A análise é semelhante ao LOLF, com a exceção de dois perfis, “chegadas [7-11]h” e “chegadas[12-16]h”, em que o carregamento direto é pior que o carregamento das 23h às 9h. Isto deve-se ao facto das chegadas ocorrerem desde a manhã até meio da tarde, significando um aumento da carga nas horas de ponta. Significa então que nestes perfis ocorrem mais situações de deficiência mas de menor duração, como mostra o índice LOLD da Figura 4.8.

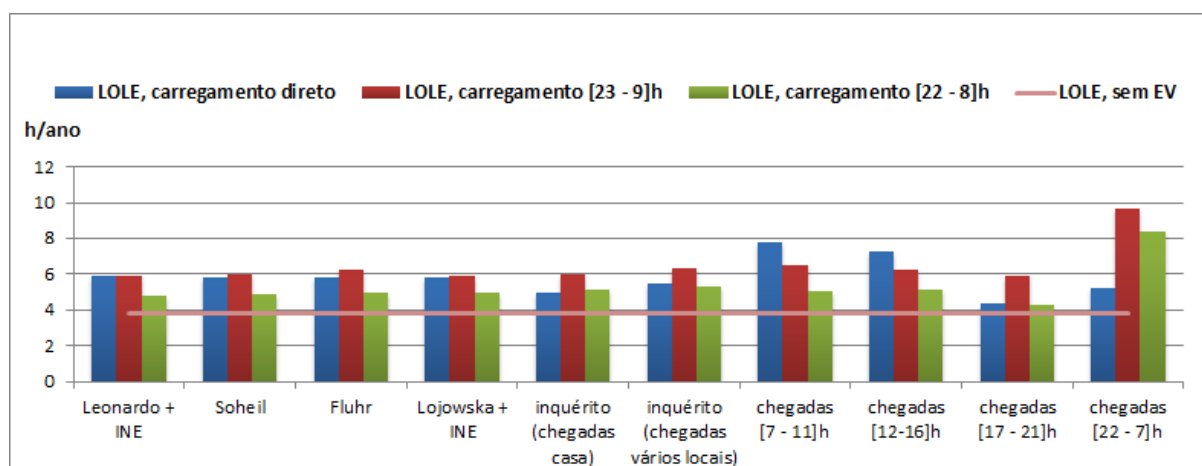


Figura 4.7 - Índice LOLE na avaliação da adequação da reserva operacional para carregamentos direto e nas horas de vazio para ambos os períodos de carregamento.

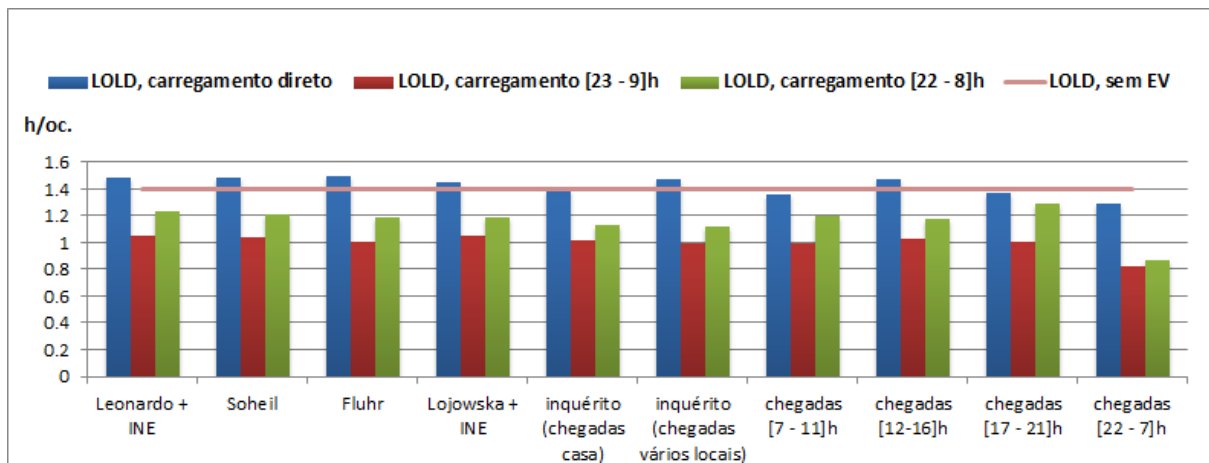


Figura 4.8 - Índice LOLD na avaliação da adequação da reserva operacional para carregamentos não controlados.

Finalmente na Figura 4.9 está o índice LOLE para carregamentos controlados.

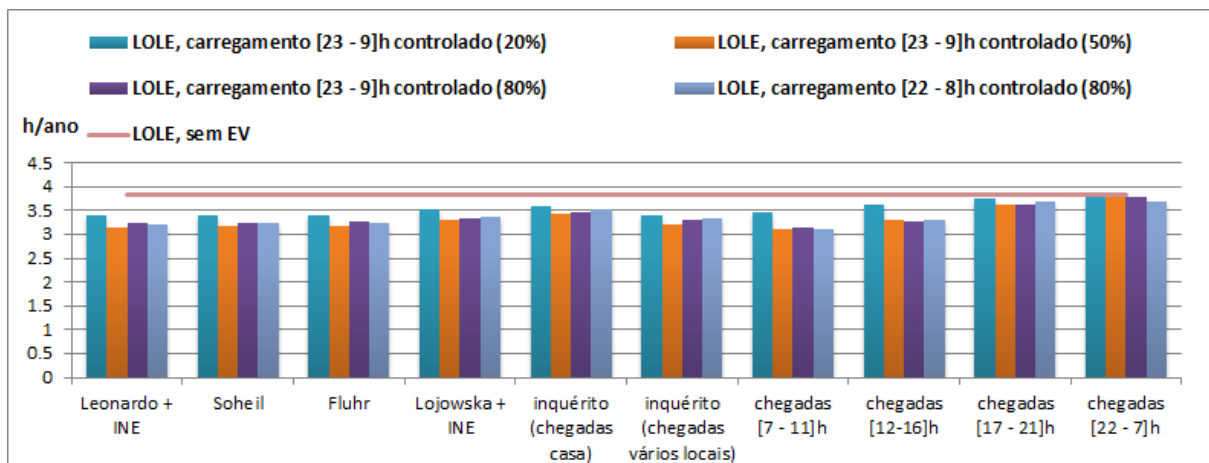


Figura 4.9 - Índice LOLE na avaliação da adequação da reserva operacional para carregamentos controlados.

Relativamente a ela, verifica-se que o controlo faz também diminuir o índice LOLE face à situação em que não se consideram EV, o que vem reforçar a ideia que o controlo de EV é uma forte contribuição para a reserva operacional. Não existe grande diferença se existem muitos ou poucos EV com controlo, tanto neste índice como na maioria, sendo mínimo quando se considera apenas metade dos EV controlados.

Tendo sido feita uma análise aos principais resultados obtidos das simulações, considerando a integração de EV no sistema, algumas conclusões podem-se obter desta análise. No Capítulo 6 serão apresentadas essas conclusões, incidindo principalmente influência dos carregamentos não controlados e controlados na adequação da reserva operacional.

Capítulo 5

Estudo do desperdício de renovável

5.1 - Princípios básicos do problema

Conforme dito no Capítulo 1, aproveitou-se a existência de dados e ferramentas disponíveis para estudar qual a influência que o consumo de EV nas horas de vazio tem no desperdício de renovável, sendo este um estudo extra a esta dissertação. O objetivo da sua realização é perceber que, para além do impacto que os EV têm na segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional, eles também podem contribuir para o aumento da integração de renovável na rede, especialmente se o seu consumo se concentrar em horas em que o desperdício é maior. Sendo assim, a integração de EV poderá contribuir ou para um maior desperdício ou menor desperdício, dependendo como é realizado o seu consumo.

Antes de traduzir como o problema do desperdício de energia renovável, designado por *Wasted Renewable Energy* (WRE), é realizado, será feita uma introdução como a carga vai sendo alimentada na realidade pelos diversos tipos de fontes. Baseado no esquema da Figura 5.1, a carga total, compreendendo a carga convencional (doméstica, industrial, comercial) com ou sem consumo dos EV, vai sendo alimentada a partir de um escalonamento de máquinas com base numa ordem de mérito, o chamado *Unit Commitment* (UC). Essa ordem de mérito determina a sequência de máquinas que vão ser despachadas até satisfazer a carga total. Em primeiro lugar toda a produção de origem renovável disponível é injetada na rede, não estando esta sujeita ao despacho. Depois seguem-se as centrais térmicas, que são centrais que asseguram o funcionamento base do diagrama de cargas, e depois surgem outros tipos de centrais, nomeadamente centrais de reserva, que são centrais prontas a atuar em caso de emergência, ou centrais reservadas para as horas de ponta.

Acontece que, durante a noite a carga é relativamente baixa, sendo que nessas horas, por vezes a produção renovável não é toda necessária, pelo que essa energia é desperdiçada. Por exemplo muitas vezes durante a madrugada existe muito vento que faz aumentar muito a produção eólica. Com carga baixa, parte dessa produção eólica não pode ser aproveitada, sendo que esse desperdício acarreta perdas de receita aos proprietários dos parques eólicos. Já na hídrica a questão não é tão severa, uma vez que as albufeiras permitem armazenar água para utilizar em horas em que seja necessária.

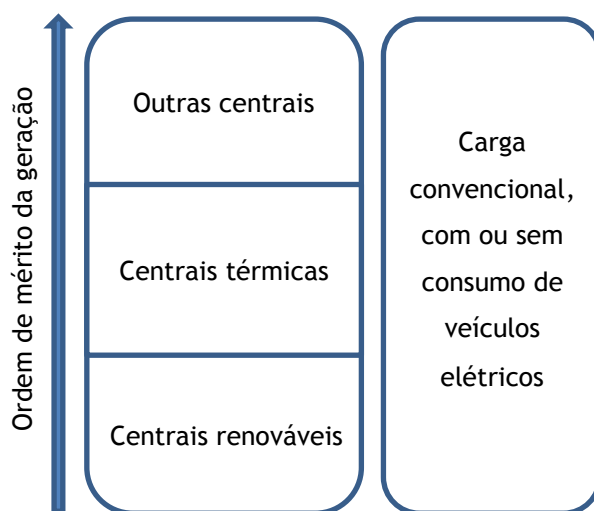


Figura 5.1 - Esquema do escalonamento da geração em função da carga.

Tendo sido feita análise de como se incorpora os diferentes tipos de produção elétrica, procede-se agora à caracterização do estudo WRE. Este vai-se concentrar no desperdício de renovável. De acordo com o IEEE RTS 96 HW, as centrais incluídas nesse sistema para além da térmica são a eólica e hídrica, pelo que o desperdício será avaliado em função destas duas fontes renováveis. Por simplicidade admitir-se-á que esta hídrica é hídrica de fio-de-água.

Em primeiro lugar, o problema requer que a produção térmica cubra uma carga mínima devido a questões de estabilidade do sistema. A essa carga mínima denomina-se por mínimo de inércia térmica. Depois são escalonadas as fontes renováveis consideradas até que a carga seja completamente alimentada. Aqui consideraram-se duas situações diferentes, ilustradas na Figura 5.2. Uma em que toda a produção hídrica é integrada primeiro e só depois a eólica, e uma segunda situação em que toda a produção eólica é integrada primeiro e só depois a hídrica. Em ambas as situações, a produção renovável não utilizada é considerada de desperdício, sendo este calculado como o ratio entre a produção desperdiçada e a produção disponível.

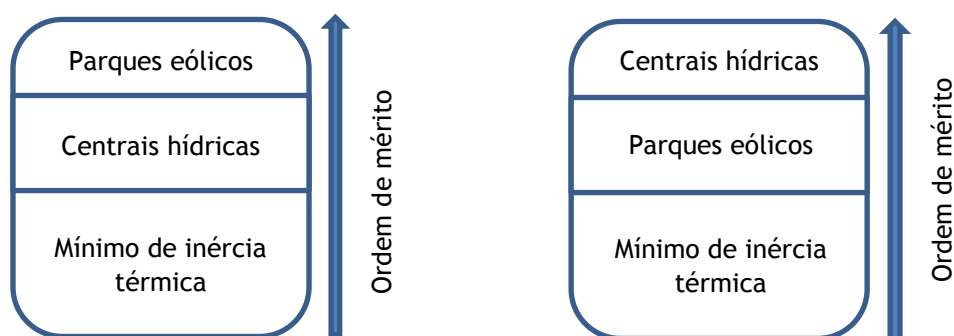


Figura 5.2 - Esquema das duas situações consideradas, com hídrica prioritária à eólica (esquerda), e eólica prioritária à hídrica (direita).

5.2 - Introdução de dados no *software* utilizado

Para a simulação deste estudo foi utilizado um programa desenvolvido pelo INESC Porto baseado no método MCS, sendo que este fornece dados acerca das potências disponíveis e fornecidas de cada um dos 3 tipos de fontes consideradas no IEEE RTS 96 HW, sendo possível alterar as entradas relativas a cada um dos diferentes componentes que compõem o sistema produtor. As alterações feitas entre as diferentes simulações foram na ordem de mérito com que as máquinas foram escalonadas, e também no mínimo de inércia técnica. O nº de anos que a simulação efetua são 200.

De acordo com o que se mencionou do estudo, para cumprir o mínimo de inércia térmica, atribui-se ordem de mérito 1 às máquinas térmicas que a satisfazem, igualando a zero a potência nominal das restantes máquinas térmicas. Dado que o estudo depende do valor do mínimo de inércia térmica, consideraram-se dois valores diferentes: 500 MW e 1005 MW.

Depois, consoante a situação que se está a estudar, atribui-se uma ordem de mérito crescente superior às térmicas que satisfazem o mínimo de inércia térmica, de maneira a que a produção renovável apareça sempre integralmente. Por exemplo num estudo em que a hídrica seja integrada primeiro, esta nunca deve ser integrada depois da eólica. que se está a estudar o desperdício nunca apareça antes da outra.

Em ambas as situações tanto será considerado o consumo de EV como não será. Como este é um estudo extra, apenas foi considerado o carregamento de EV nas horas de vazio, das 22h às 8h, aplicado ao perfil “Leonardo”. Do estudo apenas pretende-se ilustrar que esta estratégia de carregamento pode contribuir para uma maior integração de renovável na rede. Quanto ao nº de EV, considerou-se o cenário de previsão para 2030, com cerca de 800000 EV em circulação, representando 11% da frota portuguesa.

5.3 - Resultados das simulações

Os resultados obtidos das simulações encontram-se nos anexos, das Tabelas 7.29 à 7.36, correspondendo a cada um dos cenários considerados (mínimos de inércia térmica de 500 MW e 1005 MW, com e sem consumo de EV nas horas de vazio, hídrica prioritária à eólica e eólica prioritária à hídrica).

Nas Figuras 5.3 e 5.4 estão os resultados obtidos das simulações para ambos os mínimos técnicos, tanto considerando o consumo de EV nas horas de vazio como não considerando, para a situação da hídrica prioritária, Figura 5.3, e eólica prioritária, Figura 5.4. Os resultados obtidos nestas figuras são valores médios obtidos ao longo das simulações.

Da Figura 5.3 verifica-se que existe maior desperdício de eólica face à hídrica, assim como na Figura 5.4 há mais desperdício de hídrica face à eólica, mas em ambas as situações o desperdício total é igual. O facto de existir desperdício de ambas as fontes renováveis nas duas situações mencionadas na Figura 5.2, devem-se aos resultados serem valores médios obtidos ao longo do

processo de simulação. Existem horas em que há apenas desperdício de uma produção renovável, outras em que há desperdício de ambas as produções, e outras em que até nem existe desperdício.

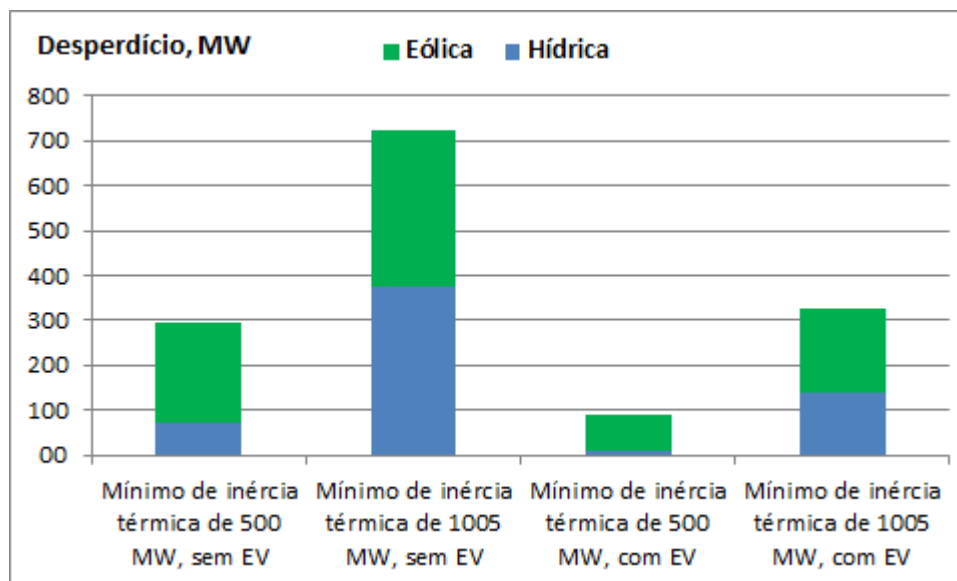


Figura 5.3 - Resultados das simulações, sem considerar EV, considerando hídrica prioritária.

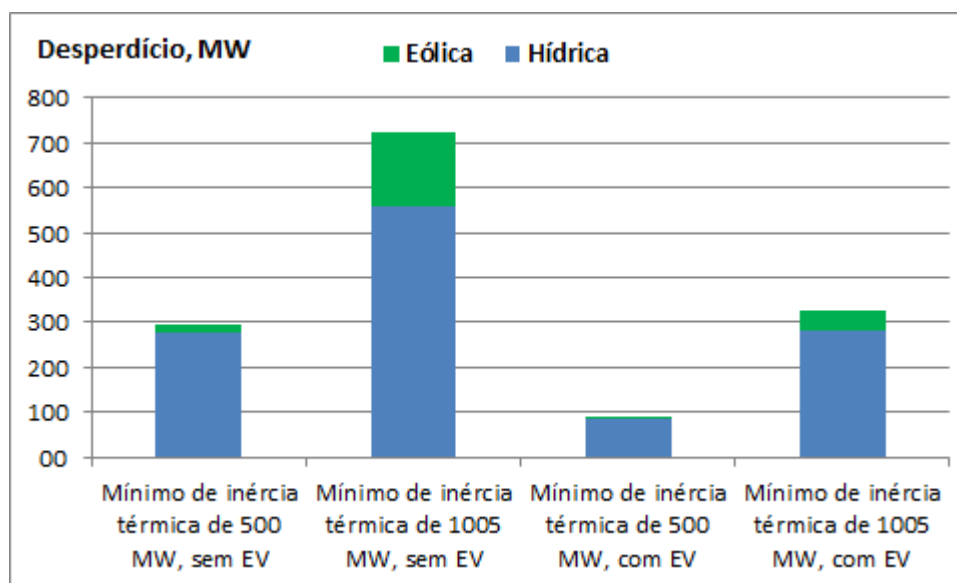


Figura 5.4 - Resultados das simulações, sem considerar EV, considerando eólica prioritária.

Para saber então quanta redução do desperdício de renovável existiu, verificou-se que, para o mínimo de inércia térmica de 500 MW, o consumo de EV nas horas de vazio permitiu reduzir o desperdício de renovável em 208.1 MW, cerca de 70%, e para o mínimo de inércia térmica de 1005 MW, a redução do desperdício de renovável foi de 398.4 MW, cerca de 55%. Estes resultados mostram que este consumo nas horas de vazio pode ajudar a integrar mais renovável em quantidade apreciável. Se o consumo de EV fosse realizado segundo uma estratégia de carregamento direto, a redução não teria sido tão grande, pois o consumo distribui-se ao longo do dia segundo.

Capítulo 6

Conclusões e trabalhos futuros

6.1 - Principais conclusões do trabalho

Depois de efetuada uma análise robusta aos resultados obtidos das simulações referentes aos estudos realizados nesta dissertação, impacto dos perfis de mobilidade elétrica na adequação da reserva operacional e o desperdício de renovável considerando EV no sistema, pensa-se que os objetivos pretendidos para esta dissertação foram atingidos, tendo sido possível retirar conclusões importantes que permitem melhorar o conhecimento já existente do tema, mas também abre novas oportunidades de desenvolvimento para trabalhos futuros, no sentido de continuar a procura de novas análises que permitam melhorar a integração de EV no futuro.

Acerca da construção dos perfis de mobilidade, percebe-se que os perfis encontrados na literatura possuem características em comum entre eles, mas também possuem características particulares, referentes a aspetos da própria mobilidade. Já para os perfis não baseados em dados reais foi feita a partir informações encontradas na literatura, sobre por exemplo a que horas é que o consumo de EV mais afeta os índices de fiabilidade. O processo harmonização dos perfis teve de ser feito com bastante detalhe, de maneira a que a informação estatística inserida no programa de simulação fosse coerente.

Relativamente aos resultados obtidos das simulações, foi possível concluir que os referentes aos perfis de mobilidade encontrados na literatura eram bastantes semelhantes entre si, devido à semelhança de aspetos relacionados com a mobilidade, e os referentes aos perfis inventados permitiu avaliar as piores situações que o consumo de EV pode ter na segurança de abastecimento e na adequação da reserva operacional.

Verificou-se que os carregamentos não controlados pioravam os índices de fiabilidade, sendo os carregamentos diretos mais severos na segurança de abastecimento e os carregamentos das 23h às 9h mais severos na adequação da reserva operacional. Já os carregamentos controlados melhoravam a adequação da reserva operacional, devido à possibilidade de interromper o carregamento de EV

por parte do agregador. Essa possibilidade tanto era melhor quantos mais EV estivessem sujeitos a esse controlo.

Em relação ao estudo do desperdício de renovável, verificou-se que o consumo de EV nas horas de vazio permite aumentar a carga nessas horas, reduzindo o desperdício em mais de 50% para ambos os mínimos de inércia térmica considerados, 500 MW e 1005 MW.

6.2 - Sugestões para trabalhos futuros

Apesar do estudo feito nesta dissertação ser bastante complexo, envolvendo não só conceitos teóricos abordados ao longo do trajeto curricular mas também novos conceitos que foram surgindo com o desenvolvimento deste tema, foram apontadas algumas sugestões de desenvolvimento futuro, de forma a melhorar a robustez das análises relativas à avaliação do impacto dos perfis de mobilidade elétrica na segurança de abastecimento e adequação da reserva operacional. Algumas dessas sugestões estão apontadas a seguir:

- Considerar uma maior variedade de fontes renováveis, por exemplo produção fotovoltaica, que atualmente tem sofrido um grande desenvolvimento e penetração no sistema produtor elétrico.
- Considerar outras previsões previstas para o ano de 2020, segundo as referências mencionadas na sub-secção 3.4.2.
- Nos carregamentos nas horas de vazio, analisar o impacto de carregamento dentro de outros períodos horários, por exemplo das 23h às 5h.
- Nos carregamentos controlados, incluir tempos iguais ou superiores a uma hora entre a verificação de uma situação de deficiência da reserva operacional e a interrupção do carregamento, avaliando qual o seu impacto.
- Implementar outras estratégias de carregamento, por exemplo colocar EV a carregar quando o SOC deles for inferior a 50%, ou então adotar uma filosofia de V2G, as quais poderão ser interessantes do ponto de vista da adequação da reserva operacional.
- Considerar a rede transporte e/ou de distribuição, cuja inclusão poderá alterar os resultados obtidos.

Referências

- [1] EuroStat, *“Using official statistics to calculate greenhouse gas emissions. A statistical guide”*, Statistical books, 2010 edition.
- [2] Ula, A.H.M. Sadrul, *“Global Warming and Electric Power Generation: What is the connection”*, Electrical Engineering Department, University of Wyoming, Laramie, Wyoming 82071-3295, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 6, No. 4, December 1991.
- [3] Braga, José Rodrigo Beenken da Costa, *“Integração de Veículos Eléctricos no Sistema Eléctrico Nacional”*, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Electrotécnica, Secção de Electrotecnia e Máquinas Eléctricas, Monte da Caparica, 2010.
- [4] Comissão das Comunidades Europeias, *“Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho”*, Bruxelas, 19.12.2007, COM (2007) 856 final, 2007/0297 (COD).
- [5] <http://www.mobie.pt/a-rede-mobi.e>, 17/05/2012, 15:16.
- [6] Fernandes, Nuno, *“Alternativas de Mobilidade e perspectivas económicas para o veículo eléctrico”*, Seminário Mobilidade Eléctrica: O Veículo, Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres, Lisboa, Março 2010.
- [7] Green, D.L., *“The potential for Energy-Efficient Technologies to reduce Carbon emissions in the United States: Transport Sector”*, Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97., Proceedings of the 32nd Intersociety, Volume 3, pp.2114-2119, Aug 1997.
- [8] Miranda, Vladimiro, *“Fiabilidade em Sistemas de Potência - Uma Introdução”*, Versão 2.0, Fevereiro 2006.
- [9] Valsera-Naranjo, Eduardo, *“Electrical Vehicles: State of Art and Issues for their Connection to the Network”*, 10th International Conference, Electrical Power Quality and Utilization, September 15-17, 2009, Lodz, Poland.
- [10] Chan, C.C., *“The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles”*, Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 4, April 2007.
- [11] Lopes, J.A. Pecas, *“Using vehicle-to-grid to maximize the integration of intermittent renewable energy resources in islanded electric grids”*, Clean Electrical Power, 200 International Conference on, vol., no., pp. 290-295, 9-11 June 2009.
- [12] Brown, Stephen, *“Electric Vehicles: The role and importance of standards in an emerging market”*, Energy policy 38 (2010) 3797-3806.

- [13]<http://www.veiculoselectricospt.com/precos/http://www.veiculoselectricospt.com/precos/>, 18/05/2012, 19:02.
- [14]<http://www.motoresmagazine.net/92-dos-portugueses-considera-que-o-veiculo-eletrico-ajuda-a-salvar-o-planeta>, 04/06/2012, 15:25.
- [15]Nemry, Françoise, “*Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency*”, JRC European Commission, Institute for Prospective Technological Studies.
- [16]Gomes, Luís Manuel Martins, “*O Veículo Eléctrico e a sua Integração no Sistema Eléctrico*”, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Outubro 2010.
- [17]Silva, Pedro Sena da, “*Baterias para veículos eléctricos - mais soluções do que problemas*”, A.A.SILVA - ICI, SA AUTOSIL.
- [18]Department of Energy, “*The Recovery Act: Transforming Americas Transportation Sector. Batteries and Electric Vehicles*”, Wednesday, July 14, 2010.
- [19]<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/>, 06/06/2012, 15:34.
- [20]<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp72.php>, 06/06/2012, 15:34.
- [21]<http://www.dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>, 06/06/2012, 16:00.
- [22]http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp_us06.php, 06/06/2012, 16:04.
- [23]http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ftp_sc03.php, 06/06/2012, 16:05.
- [24]Kempton, Willett, “*Vehicle-to-Grid Power: Battery, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles as Resources for Distributed Electric Power in California*”, Institute of Transportation Studies, UC Davis, January 2001.
- [25]Hackmann, Markus, “*Implications of Vehicle-to-Grid Strategies on Lithium-Ion Batteries and Grids*”, conference Smart Grids and Electric Mobility, 2011.
- [26]Kempton, Willett, “*Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue*”, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA, December 2004.
- [27]Kempton, Willett, “*Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy*”, University of Delaware, Newark, DE 19716, USA, December 2004.
- [28]Bessa, Ricardo J., “*Optimized Bidding of a EV Aggregation Agent in the Electricity Market*”, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1, March 2012.
- [29]Huang, Sikai, “*The Potential of Domestic Electric Vehicles to Contribute to Power System Operation through Vehicle to Grid Technology*”, 978-0-947649-44-9/09/\$26.00 © 2009 IEEE.
- [30]Wu, Qiuwei, “*Driving Pattern Analysis for Electric Vehicle (EV) Grid Integration Study*”, Technical University of Denmark, Elektrovej 325, Kgs. Lyngby, DK - 2800.
- [31]Barbosa, Fernando Maciel, “*Fiabilidade do Sistema de Produção/Transporte*”, Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.

- [32]Matos, Manuel, “*Probabilistic evaluation of reserve requirements of generating systems with renewable power sources: The Portuguese and Spanish cases*”, Electrical Power and Energy Systems 31 (2009) 562-569.
- [33]Bremermann, Leonardo Elizeire, “*Impact Evaluation of the Large Scale Integration of Electric Vehicles in the Security of Supply*”, PH.D. Thesis Progress Report, Porto, Outubro 2011.
- [34]Bremermann, L. E., “*Operating Reserve Assessment Incorporating a Stochastic Electric Vehicle Model*”, INESC TEC, FEUP 2012.
- [35]Qian, Kejun, “*Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems*”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 26, No. 2, May 2011.
- [36]Bae, Sungwoo, “*Spatial and Temporal Model of Electric Vehicle Charging Demand*”, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol. 3, No. 1, March 2012.
- [37]Kiviluoma, Juha, “*Methodology for modelling plug-in electric vehicles in the power system and cost estimates for a system with either smart or dumb electric vehicles*”, Energy 36 (2011) 1758-1767.
- [38]Poisson, Dennis S., “*Série: Processos Estocásticos - O Processo de Poisson*”, Métodos Matemáticos 1C.
- [39]Farkas, Csaba, “*Impact Assessment of Electric Vehicle Charging on a LV Distribution System*”, Development of quality-oriented and harmonized R+D+I strategy and functional model ate BME.
- [40]Monteiro, Vítor, “*Impact of Electric Vehicles on Power Quality in a Smart Grid Context*”, 978-1-4673-0378-1/11/\$26.00 © 2011 IEEE.
- [41]Marano, V., “*Vehicle Electrification: Implications on Generation and Distribution Network*”, Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011 International Conference on.
- [42]Rosa, Mauro Augusto da, “*Reliability Impact on Bulk Generation System Considering High Penetration of Electric Vehicles*”, Conference PowerTech, 2011 IEEE Trondheim.
- [43]Saber, Ahmed Yousuf, “*One million Plug-in Electric Vehicles on the Road by 2015*”, Proceedings of the 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, St. Louis, MO, USA, October 3-7, 2009.
- [44]http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=127596977&PUBLICACOESmodo=2, 27/04/2012, 14:03.
- [45]http://www.dlr.de/cs/en/desktopdefault.aspx/1177_read-2160/, 30/04/2012, 17:09.
- [46]NHTS, “*Highlights of the 2001 National Household Travel Survey*”, U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics.
- [47]Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Mobiliteitsonderzoek Nederland (MON), Databestand MON 2008.
- [48]CEN & CENELEC, “*Focus Group on European Electro-Mobility, Standardization for road vehicles and associated infrastructure*”, Report in response to Commission Mandate M/468 concerning the charging of electric vehicles, version 2, October 2011.
- [49]Instituto Nacional de Estatística, INE, “*Inquérito à Mobilidade da População Residente 2000*”, Direcção Geral de Transportes Terrestres.

- [50] Shahidinejad, Soheil, “*Statistical Development of a Duty Cycle for Plug-in Vehicles in a North American Urban Setting Using Fleet Information*”, 0018-9545/\$26.00 © 2010 IEEE.
- [51] Fluhr, Jonas, “*A Stochastic Model for Simulating the Availability of Electric Vehicles for Services to the Power Grid*”, 978-0-7695-3869-3/10 \$26.00 © 2010 IEEE.
- [52] Lojowska, Alicja, “*From Transportation Patterns to Power Demand: Stochastic Modeling of Uncontrolled Domestic Charging of Electric Vehicles*”, 978-1-4577-1002-5/11/\$26.00 © 2011 IEEE.
- [53] http://avt.inl.gov/pdf/fsev/sce_rpt/altra_report.pdf, 03/05/2012, 13:39.
- [54] <https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dG1LeWt4SGhHRWdldUFDSWxQakRfelE6MQ#gid=0>.
- [55] Morrow, Kevin, “*Plug-in Hybrid Electric Vehicle Charging Infrastructure Review*”, U.S. Department of Energy Idaho National Laboratory, Washington DC, November 2008.
- [56] Li, Zhengshuo, “*Study on Wind-EV Complementation in Transmission Grid Side*”, 978-1-4577-1002-5/11/\$26.00 © 2011 IEEE.
- [57] Weiller, Claire, “*Plug-in hybrid electric vehicle impacts on hourly electricity demand in the United States*”, Energy Policy 39 (2011) 3766-3778.
- [58] Camus, C., “*Potential impacts assessment of plug-in electric vehicles on the Portuguese energy market*”, Energy Policy 39 (2011) 5883-5897, July 2011.
- [59] <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/VeiculosElectricos/Paginas/RevogacaoIncentivosFinanceirosVE2012.aspx>, 14/06/2012, 18:02.
- [60] “*The IEEE Reliability Test System - 1996*”, A report prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 3, August 1999.
- [61] Green II, Robert C., “*Evaluating the Impact of Plug-in Hybrid Electric Vehicles on Composite Power System Reliability*”, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Toledo.

Anexos

Tabela 7.1 - Lista dos atuais EV no mercado.

Marca e Modelo	Preço, €
Audi e-Tron	Não definido
Citroen C-Zero	36998,07
Fiat 500 EV	Não definido
Mini E	Não definido
Mitsubishi i-MiEV	35250,00
Nissan Leaf	35850,00
Peugeot iOn	36350,00
Renault Fluence ZE	26620,000
Renault Kangoo ZE	24200,00
Renault Twizy ZE	6990,00
Renaul Zoe ZE	21750,00
Reva Standard	11980,00
Reva L-ion Basico	18700,00
Reva Deluxe	14750,00
Reva L-ion deluxe	22750,00
Beepo	18767,64
Piaggio Porter	21801,75
Smart ED	750 / mês
Tesla Roadster	Não definido
VW e-UP!	Não definido
Fiat Doblo cargo	57233,35
Fiat Doblo 5 passageiros	58195,76
Fiat Ducato Chassis Cabine	78962,00
Fiat Ducato Van	80447,00
Fiat Ducato Combi	78824,00
Fiat Ducato Minibus	90790,00
Fiat Fiorino Cargo	36761,76
Fiat Fiorino 5 lugares	37813,99
Fiat Qubo 4 lugares	50026,00
Mini Bus Bredaminarinibus Zeus	232000,00
Tazzari Zero Special Edition	27663,00
Tazzari Zero Evo	25830,00
Tazzari Zero	25584,00
Tazzari Zero Speedster	30012,00

Tabela 7.2 - Valores percentuais dos histogramas, λ , relativos aos primeiros 12 perfis de mobilidade.

[illegible]

Tabela 7.3 - Valores percentuais dos histogramas, λ , relativos aos perfis de mobilidade 13 a 16.

Hora	Perfis 13 e 14	Perfil 15 e 16	Perfil 17 e 18	Perfil 19 e 20
0	0.00	0.00	0.00	10.00
1	0.00	0.00	0.00	10.00
2	0.00	0.00	0.00	10.00
3	0.00	0.00	0.00	10.00
4	0.00	0.00	0.00	10.00
5	0.00	0.00	0.00	10.00
6	0.00	0.00	0.00	10.00
7	20.00	0.00	0.00	10.00
8	20.00	0.00	0.00	0.00
9	20.00	0.00	0.00	0.00
10	20.00	0.00	0.00	0.00
11	20.00	0.00	0.00	0.00
12	0.00	20.00	0.00	0.00
13	0.00	20.00	0.00	0.00
14	0.00	20.00	0.00	0.00
15	0.00	20.00	0.00	0.00
16	0.00	20.00	0.00	0.00
17	0.00	0.00	20.00	0.00
18	0.00	0.00	20.00	0.00
19	0.00	0.00	20.00	0.00
20	0.00	0.00	20.00	0.00
21	0.00	0.00	20.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	10.00
23	0.00	0.00	0.00	10.00
Total	100	100	100	100

Tabela 7.4 - Declives das retas m entre os intervalos de 2 horas considerados, para construção dos perfis 9 ao 12.

Períodos horários considerados	Chegadas a casa		Chegadas aos destinos considerados no inquérito à exceção da escola	
	semana	fim-de-semana	semana	fim-de-semana
[2 - 5]h a [6 - 9]h	-0.842044135	-1.592797784	-0.791022811	-0.782013685
[6 - 9]h a [10 - 13]h	0.087108014	-0.115420129	1.63723326	0.798305637
[10 - 13]h a [14 - 17]h	0.958188153	0.288550323	-0.919793966	1.360377973
[14 - 17]h a [18 - 21]h	3.542392567	1.650507849	2.152317881	-0.008145976
[18 - 21]h a [22 - 1]h	-3.339140534	0.19621422	-2.207505519	-0.830889541
[22 - 1]h a [2 - 5]h	-0.406504065	-0.427054478	0.128771155	-0.537634409

Tabela 7.5 - Ordenadas na origem b das retas entre os intervalos de 2 horas considerados, para construção dos perfis 9 ao 12.

Períodos horários considerados	Chegadas a casa		Chegadas aos destinos considerados no inquérito à exceção da escola	
	semana	fim-de-semana	semana	fim-de-semana
[2 - 5]h a [6 - 9]h	4.471544715	9.38365651	4.782928624	4.472140762
[6 - 9]h a [10 - 13]h	-0.261324042	2.112188366	-8.995584989	-4.227761486
[10 - 13]h a [14 - 17]h	-9.059233449	-1.81209603	14.93745401	-10.64679049
[14 - 17]h a [18 - 21]h	-46.19628339	-21.16805171	-27.15231788	7.15216683
[18 - 21]h a [22 - 1]h	74.12891986	3.358725762	49.17218543	21.96969697
[22 - 1]h a [2 - 5]h	12.95005807	16.8744229	-0.018395879	16.34897361

Tabela 7.6 - Consumo diário hora a hora, em MW, da carga convencional, considerando o dia em que ocorre a ponta do diagrama de cargas prevista para 2020.

Carga convencional

5728.5

5386.5

5130

5044.5

5044.5

5130

6327

7353

8122.5

8208

8208

8122.5

8122.5

8122.5

7951.5

8037

8464.5

8550

8550

8208

7780.5

7096.5

6241.5

5386.5

Tabela 7.7 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento direto.

Hora	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12
0	115.2	169.455	131.4	135	123.672	143.802	185.1	199.029	225.294	191.64	156.414	147.867
1	102.6	149.283	111	118.5	106.614	123.939	132.6	196.092	197.097	191.754	141.546	134.802
2	84.9	133.647	84.9	101.1	87.468	103.788	80.1	185.004	158.793	189.603	120.549	123.852
3	60.9	117.732	62.7	84.3	67.596	83.58	49.8	164.889	117.909	185.076	96.735	108.855
4	42.9	96.705	44.1	61.2	50.991	66.249	38.1	132.585	82.788	169.902	75.459	91.515
5	28.2	73.944	30.6	47.4	39.648	49.437	28.2	96.537	67.533	150.492	66.318	77.805
6	15.6	56.226	21.9	35.7	36.108	35.388	20.1	72.531	59.718	132.195	61.503	66.369
7	26.1	42.114	28.8	28.8	44.457	31.587	13.2	57.111	47.949	113.175	56.967	54.336
8	53.1	34.665	50.4	30	59.067	33.945	6.3	42.573	37.998	94.782	62.688	49.116
9	75.9	31.704	68.1	39.9	76.944	41.484	6.9	28.035	30.78	78.624	73.365	49.908
10	92.7	39.57	84	57	93.822	54.15	18.9	27.597	23.802	63.489	82.284	49.134
11	101.1	52.059	98.4	75	107.433	71.538	35.1	33.03	16.269	45.756	87.045	49.584
12	121.5	64.041	115.5	94.5	119.955	90.537	54	44.85	17.913	35.253	88.932	61.071
13	144.3	79.422	133.2	115.2	133.746	109.881	68.1	63.276	28.509	35.748	93.39	82.068
14	166.5	91.542	146.4	134.7	149.082	129.399	83.7	72.453	34.905	37.101	98.277	102.201
15	181.8	115.413	160.5	153.9	158.883	145.692	114	78.618	47.919	40.215	108.339	122.319
16	176.7	138.222	166.5	168.3	160.242	157.494	165.6	87.501	83.016	53.997	129.288	140.985
17	162	151.824	168.6	179.1	160.332	167.973	216.6	102.039	129.744	74.097	146.889	154.527
18	163.2	161.724	172.2	182.1	161.148	178.509	243.6	123.111	175.791	91.422	158.868	166.638
19	164.4	171.3	174.6	186.6	160.875	183.174	243.6	151.377	211.362	109.545	164.712	179.142
20	171.3	179.397	174.3	182.1	158.607	182.598	237.3	179.277	224.601	128.082	159.816	183.318
21	165.9	183.606	167.7	174.6	155.613	180.873	226.5	188.82	224.568	145.467	155.745	176.883
22	150.3	183.285	157.8	164.4	149.172	173.391	219.9	184.344	225.369	162.282	156.255	167.928
23	132.9	182.823	146.4	150.6	138.282	161.187	212.7	188.97	230.049	179.979	158.319	159.507

Tabela 7.8 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.

Hora	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12
0	224.1	268.263	231.9	260.1	223.029	258.471	293.1	271.926	269.184	221.34	226.602	250.062
1	224.1	273.258	232.8	263.1	224.934	259.677	293.1	279.192	276.978	239.313	236.4	258.048
2	224.1	276.681	233.7	264.9	226.839	260.883	293.1	283.962	286.827	260.646	247.356	268.125
3	224.1	279.456	234.9	266.4	228.744	262.089	293.4	288	293.7	276.498	255.603	275.493
4	224.1	280.866	235.5	267.9	230.649	263.295	293.7	290.79	294.966	282.285	258.888	277.869
5	224.7	282.114	237	269.4	232.554	264.501	293.7	292.845	295.266	285.012	260.568	278.862
6	227.1	283.362	240	271.2	240.447	268.932	294	294.24	295.935	289.449	261.816	279.846
7	244.8	285.72	255.3	276.3	258.051	278.199	294.9	295.56	296.829	293.526	265.533	282.231
8	53.1	34.665	50.4	30	59.067	33.945	6.3	42.573	37.998	94.782	62.688	49.116
9	75.9	31.704	68.1	39.9	76.944	41.484	6.9	28.035	30.78	78.624	73.365	49.908
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	224.1	256.512	229.8	254.7	219.945	255.132	290.1	254.307	260.256	202.128	217.197	240.6

Tabela 7.9 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.

Hora	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12
0	246.9	277.053	251.7	275.4	243.99	269.349	296.7	275.007	270.894	224.394	246.684	260.316
1	246.9	282.048	252.6	278.4	245.895	270.555	296.7	282.273	278.688	242.367	256.482	268.302
2	246.9	285.471	253.5	280.2	247.8	271.761	296.7	287.043	288.537	263.7	267.438	278.379
3	246.9	288.246	254.7	281.7	249.705	272.967	297	291.081	295.41	279.552	275.685	285.747
4	246.9	289.656	255.3	283.2	251.61	274.173	297.3	293.871	296.676	285.339	278.97	288.123
5	247.5	290.904	256.8	284.7	253.515	275.379	297.3	295.926	296.976	288.066	280.65	289.116
6	249.9	292.152	259.8	286.5	261.408	279.81	297.6	297.321	297.645	292.503	281.898	290.1
7	26.1	42.114	28.8	28.8	44.457	31.587	13.2	57.111	47.949	113.175	56.967	54.336
8	53.1	34.665	50.4	30	59.067	33.945	6.3	42.573	37.998	94.782	62.688	49.116
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	241.5	252.396	246.3	262.8	234.555	257.49	285.3	241.53	250.59	183.405	228.648	238.149
23	246.9	265.302	249.6	270	240.906	266.01	293.7	257.388	261.966	205.182	237.279	250.854

Tabela 7.10 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 1 a 12, considerando carregamento controlado.

Hora	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9	Perfil 10	Perfil 11	Perfil 12
0	246.9	277.053	251.7	275.4	243.99	269.349	296.7	275.007	270.894	224.394	246.684	260.316
1	246.9	282.048	252.6	278.4	245.895	270.555	296.7	282.273	278.688	242.367	256.482	268.302
2	49.38	57.0942	50.7	56.04	49.56	54.3522	59.34	57.4086	57.7074	52.74	53.4876	55.6758
3	49.38	57.6492	50.94	56.34	49.941	54.5934	59.4	58.2162	59.082	55.9104	55.137	57.1494
4	49.38	57.9312	51.06	56.64	50.322	54.8346	59.46	58.7742	59.3352	57.0678	55.794	57.6246
5	247.5	290.904	256.8	284.7	253.515	275.379	297.3	295.926	296.976	288.066	280.65	289.116
6	249.9	292.152	259.8	286.5	261.408	279.81	297.6	297.321	297.645	292.503	281.898	290.1
7	26.1	42.114	28.8	28.8	44.457	31.587	13.2	57.111	47.949	113.175	56.967	54.336
8	53.1	34.665	50.4	30	59.067	33.945	6.3	42.573	37.998	94.782	62.688	49.116
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	241.5	252.396	246.3	262.8	234.555	257.49	285.3	241.53	250.59	183.405	228.648	238.149
23	246.9	265.302	249.6	270	240.906	266.01	293.7	257.388	261.966	205.182	237.279	250.854

Tabela 7.11 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento direto.

Hora	Perfil 13	Perfil 14	Perfil 15	Perfil 16
0	0	60	300	90
1	0	0	300	120
2	0	0	240	150
3	0	0	180	180
4	0	0	120	210
5	0	0	60	240
6	0	0	0	270
7	60	0	0	270
8	120	0	0	240
9	180	0	0	210
10	240	0	0	180
11	300	0	0	150
12	300	60	0	120
13	300	120	0	90
14	300	180	0	60
15	300	240	0	30
16	240	300	0	0
17	180	300	60	0
18	120	300	120	0
19	60	300	180	0
20	0	300	240	0
21	0	240	300	0
22	0	180	300	30
23	0	120	300	60

Tabela 7.12 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.

Hora	Perfil 13	Perfil 14	Perfil 15	Perfil 16
0	120	300	300	90
1	120	300	300	120
2	120	300	300	150
3	120	300	300	180
4	120	300	300	210
5	120	300	300	240
6	120	300	300	270
7	180	300	300	300
8	120	0	0	240
9	180	0	0	210
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	120	300	300	60

Tabela 7.13 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.

Hora	Perfil 13	Perfil 14	Perfil 15	Perfil 16
0	180	300	300	90
1	180	300	300	120
2	180	300	300	150
3	180	300	300	180
4	180	300	300	210
5	180	300	300	240
6	180	300	300	270
7	60	0	0	270
8	120	0	0	240
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	180	300	300	30
23	180	300	300	60

Tabela 7.14 - Consumos diários de EV hora a hora, em MW, para os perfis 13 a 16, considerando carregamento controlado.

Hora	Perfil 13	Perfil 14	Perfil 15	Perfil 16
0	180	300	300	90
1	180	300	300	120
2	36	60	60	30
3	36	60	60	36
4	36	60	60	42
5	180	300	300	240
6	180	300	300	270
7	60	0	0	270
8	120	0	0	240
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	0	0	0	0
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	180	300	300	30
23	180	300	300	60

Tabela 7.15 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento direto.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000327	2.860395	0.0690325	604.7243	1.6077	1.7792
Perfis 3 e 4	0.000323	2.825111	0.0683837	599.0409	1.5827	1.785
Perfis 5 e 6	0.000318	2.788172	0.0670217	587.1105	1.557	1.7907
Perfis 7 e 8	0.000334	2.926723	0.0739486	647.7899	1.7007	1.7209
Perfis 9 e 10	0.000263	2.307731	0.0558828	489.5333	1.3747	1.6788
Perfis 11 e 12	0.000292	2.56124	0.061491	538.661	1.455	1.7603
Perfil 13	0.000436	3.81803	0.0928809	813.637	2.1617	1.7662
Perfil 14	0.000445	3.901545	0.1014301	888.5281	2.1454	1.8186
Perfil 15	0.000207	1.813064	0.0431128	377.6684	1.1293	1.6054
Perfil 16	0.000238	2.088842	0.0476482	417.3984	1.2367	1.6891

Tabela 7.16 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000191	1.671465	0.038909	340.8449	0.971667	1.720204
Perfis 3 e 4	0.00019	1.664057	0.038797	339.8661	0.966	1.722626
Perfis 5 e 6	0.000189	1.654153	0.038566	337.841	0.958	1.726673
Perfis 7 e 8	0.000191	1.669799	0.039234	343.6876	0.978333	1.706779
Perfis 9 e 10	0.00018	1.576436	0.036983	323.9697	0.935	1.686028
Perfis 11 e 12	0.000185	1.617222	0.037823	331.3285	0.940667	1.71923
Perfil 13	0.000203	1.777004	0.041845	366.5628	1.022	1.738751
Perfil 14	0.000202	1.772082	0.042086	368.6743	1.026	1.727176
Perfil 15	0.000173	1.512475	0.035218	308.5137	0.895667	1.688658
Perfil 16	0.000168	1.473626	0.034087	298.6047	0.864667	1.70427

Tabela 7.17 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000193	1.692212	0.039512	346.127	1.015667	1.66611
Perfis 3 e 4	0.000192	1.684771	0.03944	345.4975	1.010667	1.66699
Perfis 5 e 6	0.000191	1.675594	0.039208	343.4622	1.004667	1.667811
Perfis 7 e 8	0.000194	1.701841	0.040025	350.6213	1.03	1.652272
Perfis 9 e 10	0.000184	1.609521	0.037819	331.2948	0.988	1.62907
Perfis 11 e 12	0.000188	1.650612	0.038674	338.7874	0.998667	1.652816
Perfil 13	0.000201	1.760088	0.040973	358.9264	1.066333	1.650598
Perfil 14	0.000206	1.804883	0.042908	375.8773	1.078667	1.673254
Perfil 15	0.000176	1.545017	0.036042	315.7255	0.948	1.629764
Perfil 16	0.000172	1.50267	0.034965	306.2895	0.933333	1.610003

Tabela 7.18 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 22h às 8h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000193	1.690193	0.039817	348.7996	0.9674	1.747151
Perfis 3 e 4	0.000192	1.684744	0.039707	347.8329	0.9618	1.751657
Perfis 5 e 6	0.000191	1.673133	0.039472	345.7738	0.955	1.751972
Perfis 7 e 8	0.000193	1.692398	0.040151	351.7262	0.9748	1.736149
Perfis 9 e 10	0.000183	1.603878	0.037874	331.7742	0.934	1.717214
Perfis 11 e 12	0.000187	1.638663	0.038722	339.2088	0.94	1.743258
Perfil 13	0.000203	1.777004	0.041845	366.5628	1.022	1.738751
Perfil 14	0.000205	1.794888	0.043026	376.9043	1.0222	1.755907
Perfil 15	0.000175	1.53692	0.036082	316.0757	0.896	1.715313
Perfil 16	0.00017	1.491224	0.034939	306.0699	0.862	1.729959

Tabela 7.19 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 20% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000281	2.458059	0.059599	522.0841	1.3868	1.772468
Perfis 3 e 4	0.000278	2.432379	0.05922	518.7705	1.371	1.774164
Perfis 5 e 6	0.000271	2.37774	0.057685	505.3183	1.3416	1.772317
Perfis 7 e 8	0.000291	2.545174	0.063027	552.1201	1.486	1.712769
Perfis 9 e 10	0.000239	2.092989	0.050873	445.6478	1.2336	1.696651
Perfis 11 e 12	0.000258	2.256427	0.054557	477.9179	1.2838	1.757615
Perfil 13	0.000327	2.865108	0.06929	606.9828	1.633661	1.753796
Perfil 14	0.000375	3.285916	0.083924	735.1706	1.829492	1.796081
Perfil 15	0.0002	1.754305	0.041888	366.9396	1.0634	1.649713
Perfil 16	0.000174	1.520521	0.035713	312.8443	0.929	1.636729

Tabela 7.20 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 50% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000233	2.039929	0.04892	428.5357	1.1698	1.743828
Perfis 3 e 4	0.000232	2.028915	0.048711	426.7058	1.1664	1.739467
Perfis 5 e 6	0.000228	2.001235	0.047945	419.9952	1.1512	1.738391
Perfis 7 e 8	0.00024	2.098714	0.050911	445.983	1.221	1.718848
Perfis 9 e 10	0.00021	1.840415	0.044106	386.3668	1.0934	1.683204
Perfis 11 e 12	0.000221	1.935402	0.046307	405.6469	1.1206	1.727112
Perfil 13	0.000257	2.250231	0.053516	468.8027	1.3122	1.714854
Perfil 14	0.00028	2.450282	0.060653	531.3184	1.397128	1.753799
Perfil 15	0.000189	1.653479	0.03906	342.1657	1.0012	1.651497
Perfil 16	0.000174	1.520521	0.035713	312.8443	0.929	1.636729

Tabela 7.21 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva estática, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000195	1.710003	0.040344	353.4165	1.0098	1.693408
Perfis 3 e 4	0.000195	1.705618	0.040273	352.7908	1.006	1.695446
Perfis 5 e 6	0.000194	1.695177	0.040034	350.6943	1.0014	1.692808
Perfis 7 e 8	0.000197	1.723222	0.040871	358.033	1.0246	1.681849
Perfis 9 e 10	0.000187	1.635846	0.038634	338.4343	0.9852	1.66042
Perfis 11 e 12	0.000191	1.670765	0.039493	345.96	0.9946	1.679836
Perfil 13	0.000202	1.772823	0.041797	366.1458	1.0526	1.684233
Perfil 14	0.000208	1.825975	0.043775	383.4724	1.0724	1.7027
Perfil 15	0.000179	1.568152	0.036833	322.6537	0.9466	1.656616
Perfil 16	0.000174	1.520521	0.035713	312.8443	0.929	1.636729

Tabela 7.22 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento direto.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000669	5.861115	0.2055162	1800.322	3.9293	1.4917
Perfis 3 e 4	0.00066	5.778789	0.2032529	1780.496	3.8741	1.4917
Perfis 5 e 6	0.000662	5.79634	0.2031577	1779.661	3.8591	1.502
Perfis 7 e 8	0.000664	5.814779	0.2074368	1817.146	3.998	1.4544
Perfis 9 e 10	0.000568	4.971988	0.1695917	1485.624	3.5601	1.3966
Perfis 11 e 12	0.000621	5.437102	0.1878673	1645.718	3.697	1.4707
Perfil 13	0.000888	7.779264	0.2652059	2323.204	5.7347	1.3565
Perfil 14	0.000826	7.234942	0.2636686	2309.737	4.9135	1.4725
Perfil 15	0.000497	4.356687	0.1423105	1246.64	3.1703	1.3742
Perfil 16	0.000592	5.188567	0.1590046	1392.881	4.0004	1.297

Tabela 7.23 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento nas horas de vazio, das 22h às 8h.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000548	4.796801	0.134878	1181.531	3.895949	1.231228
Perfis 3 e 4	0.000556	4.872536	0.135061	1183.136	4.018297	1.212587
Perfis 5 e 6	0.000565	4.949009	0.134879	1181.54	4.150485	1.192393
Perfis 7 e 8	0.000562	4.92731	0.135278	1185.039	4.129699	1.19314
Perfis 9 e 10	0.00058	5.084545	0.13145	1151.5	4.470874	1.13726
Perfis 11 e 12	0.000601	5.261684	0.13441	1177.431	4.697885	1.120011
Perfil 13	0.000574	5.032218	0.141288	1237.685	4.17636	1.204929
Perfil 14	0.000589	5.15563	0.141756	1241.784	4.371418	1.179395
Perfil 15	0.000482	4.219267	0.123332	1080.39	3.264204	1.292587
Perfil 16	0.000958	8.392433	0.145008	1270.266	9.620455	0.872353

Tabela 7.24 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento nas horas de vazio, das 23h às 9h.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000671	5.877199	0.141326	1238.015	5.590692	1.051247
Perfis 3 e 4	0.000684	5.990274	0.142141	1245.156	5.77996	1.036387
Perfis 5 e 6	0.000708	6.200187	0.142557	1248.8	6.133224	1.010918
Perfis 7 e 8	0.000669	5.858485	0.142118	1244.955	5.594389	1.047207
Perfis 9 e 10	0.000682	5.971533	0.137577	1205.176	5.87084	1.017151
Perfis 11 e 12	0.000719	6.296632	0.141699	1241.286	6.338241	0.993435
Perfil 13	0.000743	6.505413	0.148051	1296.93	6.541944	0.994416
Perfil 14	0.00071	6.222551	0.149201	1306.999	6.04555	1.029278
Perfil 15	0.000668	5.854448	0.133525	1169.68	5.817761	1.006306
Perfil 16	0.001102	9.654486	0.156098	1367.419	11.64289	0.829217

Tabela 7.25 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 22h às 8h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000367	3.214773	0.1091	955.7189	2.106122	1.526394
Perfis 3 e 4	0.000369	3.235197	0.109299	957.4622	2.130653	1.518406
Perfis 5 e 6	0.000371	3.247542	0.109666	960.6718	2.139981	1.517556
Perfis 7 e 8	0.000384	3.360326	0.110262	965.8923	2.275459	1.476769
Perfis 9 e 10	0.000401	3.513505	0.113297	992.4835	2.422237	1.450521
Perfis 11 e 12	0.00038	3.327653	0.110943	971.8648	2.225316	1.495362
Perfil 13	0.000356	3.1206	0.106944	936.8283	2.044944	1.526008
Perfil 14	0.000377	3.306164	0.10785	944.7626	2.237187	1.477822
Perfil 15	0.000419	3.672558	0.116091	1016.959	2.584339	1.421082
Perfil 16	0.000421	3.686251	0.116806	1023.223	2.591963	1.422185

Tabela 7.26 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 20% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000388	3.397135	0.115346	1010.431	2.134831	1.59129
Perfis 3 e 4	0.000388	3.39833	0.115406	1010.96	2.148791	1.581508
Perfis 5 e 6	0.000387	3.388311	0.115418	1011.064	2.144267	1.580172
Perfis 7 e 8	0.000402	3.525743	0.115472	1011.538	2.341997	1.505443
Perfis 9 e 10	0.000409	3.586422	0.116808	1023.237	2.433995	1.473472
Perfis 11 e 12	0.000386	3.382494	0.115498	1011.761	2.164407	1.562781
Perfil 13	0.000395	3.456326	0.114503	1003.05	2.277606	1.517526
Perfil 14	0.000415	3.632433	0.113897	997.7346	2.466804	1.472526
Perfil 15	0.000426	3.731617	0.117727	1031.29	2.636333	1.415458
Perfil 16	0.000434	3.804961	0.11671	1022.382	2.730743	1.393379

Tabela 7.27 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 50% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.00036	3.152205	0.108059	946.5983	2.012966	1.56595
Perfis 3 e 4	0.000361	3.166035	0.108294	948.6564	2.028463	1.560805
Perfis 5 e 6	0.000362	3.168268	0.108631	951.6095	2.033839	1.557777
Perfis 7 e 8	0.000375	3.284874	0.10823	948.095	2.193232	1.497732
Perfis 9 e 10	0.000392	3.431528	0.112085	981.865	2.334192	1.470114
Perfis 11 e 12	0.000365	3.197967	0.109326	957.6933	2.071564	1.543745
Perfil 13	0.000355	3.113157	0.105104	920.7142	2.049227	1.519186
Perfil 14	0.000376	3.290184	0.104651	916.7408	2.237262	1.47063
Perfil 15	0.000415	3.631803	0.114973	1007.161	2.558132	1.419709
Perfil 16	0.000433	3.789331	0.116272	1018.54	2.709459	1.398556

Tabela 7.28 - Índices de fiabilidade da avaliação da adequação da reserva operacional, considerando carregamento controlado nas horas de vazio, das 23h às 9h, considerando 80% dos EV com capacidade de controlo.

	LOLP (prob.)	LOLE (h/ano)	EPNS (MW)	LOEE (MWh/ano)	LOLF (oc.ano)	LOLD (h/oc.)
Perfis 1 e 2	0.000368	3.21994	0.108942	954.3308	2.113665	1.523392
Perfis 3 e 4	0.00037	3.240433	0.109348	957.8882	2.138214	1.515486
Perfis 5 e 6	0.000372	3.256293	0.109721	961.1547	2.155598	1.510622
Perfis 7 e 8	0.000379	3.323977	0.109578	959.9018	2.241935	1.482637
Perfis 9 e 10	0.000397	3.474289	0.112566	986.0771	2.3883	1.454713
Perfis 11 e 12	0.000376	3.29494	0.110258	965.856	2.19886	1.498477
Perfil 13	0.00036	3.150306	0.107407	940.8846	2.088263	1.508577
Perfil 14	0.000373	3.265817	0.107072	937.9521	2.20231	1.482905
Perfil 15	0.000415	3.633592	0.11535	1010.465	2.55106	1.424346
Perfil 16	0.000431	3.778699	0.11594	1015.638	2.706081	1.396373

Tabela 7.29 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 500 MW, sem considerar EV.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	1233.36	140.79	364.13	9.29
Hídrica	5358.52	611.7	683.75	68.5
Térmica	4379	499.89	499.91	99.98

Tabela 7.30 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 1005 MW, sem considerar EV.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	149.09	17.02	364.13	1.12
Hídrica	2691.74	307.28	683.98	34.4
Térmica	8661.82	988.79	3059.92	32.31

Tabela 7.31 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 500 MW, considerando.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	2495.17	284.84	364.13	18.79
Hídrica	5919.08	675.69	683.75	75.66
Térmica	4379	499.89	499.91	99.98

Tabela 7.32 - Resultados da simulação do desperdício de eólica, para um mínimo técnico de 1005 MW, considerando.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	1541.92	176.02	364.13	11.61
Hídrica	4789.09	546.7	683.98	61.2
Térmica	13321.87	1520.76	3059.93	49.7

Tabela 7.33 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 500 MW, sem considerar EV.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	3011.81	343.81	364.13	22.69
Hídrica	3580.04	408.68	683.75	45.76
Térmica	4379	499.89	499.91	99.98

Tabela 7.34 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 1005 MW, sem considerar EV.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	1752.69	200.08	364.13	13.2
Hídrica	1088.15	124.22	683.98	13.91
Térmica	8661.83	988.79	3059.93	32.31

Tabela 7.35 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 500 MW, considerando.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	3173.19	362.24	364.13	23.9
Hídrica	5241.07	598.3	683.75	66.99
Térmica	4379	499.89	499.91	99.98

Tabela 7.36 - Resultados da simulação do desperdício de hídrica, para um mínimo técnico de 1005 MW, considerando.

Tecnologia	Energia fornecida (GWh/ano)	Potência fornecida (MW)	Potência disponível (MW)	Fator de utilização (%)
Eólica	2823.15	322.28	364.13	21.26
Hídrica	3507.88	400.44	683.98	44.83
Térmica	13321.83	1520.76	3059.93	49.7

Inquérito de Mobilidade

Perguntas para a semana

1. Qual o principal motivo das suas viagens num dia da semana (entenda-se de 2^a a 6^a-feira)*

- ☐ Trabalho
- ☐ Lazer
- ☐ Escola
- ☐ Compras
- ☐ Outros

2. Qual o modo de transporte que mais utiliza nas viagens, devido ao motivo considerado na pergunta anterior? *

- ☐ Automóvel
- ☐ Transporte público
- ☐ A pé
- ☐ Outros (bicicleta, ciclomotor/motociclo)

3. Em média, quantas viagens costuma efetuar diariamente devido ao motivo considerado na pergunta 1?*

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ mais que 4

4. Selecione o(s) intervalo(s) de horas a que costuma chegar frequentemente ao seu destino, devido ao motivo considerado na pergunta 1?*

- ☐ [0 - 4] h
- ☐ [4 - 8] h
- ☐ [8 - 12] h
- ☐ [12 - 16] h
- ☐ [16 - 20] h
- ☐ [20 - 24] h

5. Selecione o(s) intervalo(s) de horas a que costuma regressar frequentemente à sua residência semanal?*

- ☐ [0 - 4] h
- ☐ [4 - 8] h
- ☐ [8 - 12] h

- ☐ [12 - 16] h
- ☐ [16 - 20] h
- ☐ [20 - 24] h

Perguntas para o fim-de-semana

6. Qual o principal motivo das suas viagens num dia de fim-de-semana.*

- ☐ Trabalho
- ☐ Lazer
- ☐ Religião
- ☐ Compras
- ☐ Outros

7. Qual o modo de transporte que mais utiliza nas viagens, devido ao motivo considerado na pergunta anterior? *

- ☐ Automóvel
- ☐ Transporte público
- ☐ A pé
- ☐ Outros (bicicleta, motociclo/ciclomotor)

8. Em média, quantas viagens costuma efetuar diariamente devido ao motivo considerado na pergunta 6?*

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ mais que 4

9. Seleccione o(s) intervalo(s) de horas a que costuma chegar frequentemente ao seu destino, devido ao motivo considerado na pergunta 6?*

- ☐ [0 - 4] h
- ☐ [4 - 8] h
- ☐ [8 - 12] h
- ☐ [12 - 16] h
- ☐ [16 - 20] h
- ☐ [20 - 24] h

10. Seleccione o(s) intervalo(s) de horas a que costuma regressar frequentemente à sua residência de fim-de-semana?*

- ☐ [0 - 4] h
- ☐ [4 - 8] h

☐	[8 - 12] h
☐	[12 - 16] h
☐	[16 - 20] h
☐	[20 - 24] h