

Laboratório  
Gestão de Energia

Departamento de Engenharia  
Electrotécnica e de Computadores

Nuno Miguel Marçal dos Reis

Desenvolvimento de algoritmos de  
controlo de carregamento de Veículos  
Eléctricos controlados por Energy Box  
no local de consumo

Setembro 2011



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

• U



C •

FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA



DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

# **Desenvolvimento de algoritmos de controlo de carregamento de Veículos Eléctricos controlados por Energy Box no local de consumo**

Nuno Miguel Marçal dos Reis

Júri:

Presidente: Professor Doutor Carlos Alberto Henggeler de Carvalho Antunes

Orientador: Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge

Vogal: Professor Doutor Fernando Santos Perdigão

Coimbra, Setembro de 2011

*Esta página foi deixada em branco intencionalmente*

## **Resumo**

O trabalho apresentado no âmbito desta dissertação teve como objectivo o desenvolvimento de estratégias de controlo de cargas de armazenamento, nomeadamente, baterias de veículos eléctricos, considerando o conceito de gestão inteligente de cargas domésticas e o controlo destas por entidades externas.

Começou-se pelo desenvolvimento de um estudo para avaliar o impacto no consumo da rede eléctrica nacional da não adopção de estratégias de controlo de carregamento de baterias. Este impacto foi estimado tendo em conta vários factores: as características tecnológicas dos veículos eléctricos, das suas baterias e dos métodos de carregamento; a previsão da evolução da penetração das tecnologias dos veículos eléctricos; os modelos comportamentais das deslocações pendulares em Portugal; as características do parque eléctrico português; e a política energética para Portugal.

Foram avaliados os vários conceitos de redes inteligentes de gestão de energia eléctrica e apresentou-se o modelo de funcionamento da Energy Box como uma solução para a resolução do problema do controlo de cargas domésticas, definindo-se o seu papel como auxiliar de aquisição de dados e operações de comunicação e controlo.

Com base nos conceitos e características técnicas explanadas ao longo da dissertação, desenvolveu-se um algoritmo para controlar o carregamento das baterias no contexto da Energy Box. O seu desempenho foi analisado para situações de recursos abundantes, falhas de sistema e intermitência da produção de energia eólica.

## **Abstract**

Considering the concept of smart domestic load management, either by the owners or third-party entities, the project presented in the dissertation focuses on the development of load control strategies when charging electric vehicles batteries.

We start by analyzing the impact of electric vehicles in the Portuguese national electric grid consumption in an uncontrolled environment. This impact is estimated considering: electric vehicles characteristics, their batteries and methods of charging; the evolution of market penetration of such technologies; Portuguese vehicles users behavioral models and distances traveled; national electric grid characteristics and energy policy.

Concepts of smart management of electric grid were studied and the operation architecture of the Energy Box was presented as a solution for smart management of domestic loads. The Energy Box contribution in this dissertation was also presented.

Based on the above developed concepts and explored technical characteristics, an algorithm was presented to control electric vehicle batteries charging, based on the Energy Box concepts and integration.

The algorithm's performance was evaluated for electric generation abundance, system failure and wind electric generation intermittence.

# Conteúdo

|   |           |
|---|-----------|
| Conteúdo.....   | I         |
| Lista de Figuras.....   | III       |
| Lista de Tabelas .....  | IV        |
| Acrónimos .....   | V         |
| <b>1. Introdução.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2. Parque Automóvel e Mobilidade em Portugal.....</b>          | <b>3</b>  |
| <b>2.1. Caracterização do parque automóvel português.....</b>     | <b>3</b>  |
| <b>2.2. Estimação da evolução do parque automóvel.....</b>        | <b>4</b>  |
| <b>2.3. Caracterização da mobilidade Casa-Trabalho-Casa .....</b> | <b>4</b>  |
| <b>2.3.1. Deslocação Casa-Trabalho-Casa.....</b>                  | <b>5</b>  |
| <b>3. Veículos de Propulsão Eléctrica.....</b>                    | <b>6</b>  |
| <b>3.1. Definição Geral.....</b>                                  | <b>6</b>  |
| <b>3.2. Veículos Eléctricos Puros.....</b>                        | <b>6</b>  |
| <b>3.3. Veículos Eléctricos Híbridos .....</b>                    | <b>7</b>  |
| <b>3.4. Veículos Eléctricos Híbridos Plug-in .....</b>            | <b>7</b>  |
| <b>3.4.1. Arquitecturas VEHP.....</b>                             | <b>8</b>  |
| <b>3.4.2. Modos de operação.....</b>                              | <b>8</b>  |
| <b>3.4.3. Terminologia VEHP.....</b>                              | <b>9</b>  |
| <b>4. Fontes de Energia.....</b>                                  | <b>10</b> |
| <b>4.1. Baterias.....</b>   | <b>11</b> |
| <b>4.2. Estado de Carga e Profundidade de Descarga .....</b>      | <b>14</b> |
| <b>4.3. Baterias usadas em Veículo Eléctricos .....</b>           | <b>15</b> |
| <b>5. Infra-Estrutura de carregamento .....</b>                   | <b>16</b> |
| <b>5.1. Tipos de Carregamento .....</b>                           | <b>16</b> |
| <b>5.1.1. Carregamento Padrão.....</b>                            | <b>17</b> |
| <b>5.1.2. Carregamento Semi-rápido .....</b>                      | <b>18</b> |
| <b>5.1.3. Carregamento Rápido.....</b>                            | <b>18</b> |
| <b>5.2. Tipo de carregamento considerado.....</b>                 | <b>19</b> |
| <b>6. Sistema Eléctrico Nacional (SEN).....</b>                   | <b>20</b> |
| <b>6.1. Características do SEN .....</b>                          | <b>22</b> |
| <b>6.2. Renováveis em Portugal.....</b>                           | <b>25</b> |
| <b>6.3. Política Energética Nacional .....</b>                    | <b>25</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>7. Redes Inteligentes</b> .....                                      | 28 |
| <b>7.1. Conceitos e definições</b> .....                                | 28 |
| <b>7.1.1. Capacidade de auto avaliação e análise</b> .....              | 29 |
| <b>7.1.2. Participação do consumidor</b> .....                          | 29 |
| <b>7.1.3. Acomodação de geração e de armazenamento de energia</b> ..... | 30 |
| <b>7.1.4. Operação eficientemente e otimização de recursos</b> .....    | 30 |
| <b>8. Energy Box</b> .....  | 32 |
| <b>8.1. Definição</b> .....   | 32 |
| <b>8.2. Arquitectura</b> .....  | 32 |
| <b>8.3. Função da Energy Box</b> .....                                  | 34 |
| <b>9. Algoritmo de Controlo de Cargas</b> .....                         | 36 |
| <b>9.1. Definição de recursos</b> .....                                 | 36 |
| <b>9.2. O Veículo Eléctrico na Rede</b> .....                           | 37 |
| <b>9.3. Algoritmo de controlo</b> .....                                 | 37 |
| <b>9.3.1. Arquitectura</b> .....  | 37 |
| <b>9.3.2. Descrição de funcionamento</b> .....                          | 38 |
| <b>10. Estudo de caso</b> .....   | 42 |
| <b>10.1. Definição de estudo de caso</b> .....                          | 42 |
| <b>10.2. Modelo Base</b> .....  | 44 |
| <b>10.2.1. Carregamento Não Controlado</b> .....                        | 45 |
| <b>10.2.1.1. Carregamento em Horas de Vazio</b> .....                   | 46 |
| <b>10.2.1.2. Resultados do Modelo Base</b> .....                        | 46 |
| <b>10.3. Modelo Controlado</b> .....                                    | 48 |
| <b>10.3.1. Cenário 1</b> .....  | 50 |
| <b>10.3.2. Cenário 2</b> .....  | 50 |
| <b>10.3.3. Impacto na rede</b> .....                                    | 51 |
| <b>11. Conclusão</b> .....  | 52 |
| <b>11.1. Trabalho futuro</b> .....                                      | 53 |
| Referências.....  | 54 |
| Anexos.....   | 56 |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Evolução do número de veículos matriculados e segurados em Portugal .....   | 3  |
| Figura 2 – Evolução da venda de veículos ligeiros em Portugal .....  | 3  |
| Figura 3 – Distribuição de viagens nos dias úteis, por hora de início e hora de fim .....                                      | 5  |
| Figura 4 – Densidade de energia vs. Potência .....   | 10 |
| Figura 5 – Características de várias tecnologias de várias fontes de energia .....   | 11 |
| Figura 6 – Evolução da densidade de energia (Wh/L) das baterias de íões de lítio comparada às tecnologias de NiMH e NiCD ..... | 12 |
| Figura 7 – Tipos de carregamento versus potência .....   | 17 |
| Figura 8 – Diagrama de carga de 11 de Janeiro de 2010 .....  | 22 |
| Figura 9 – Diagramas de carga médios de cada estação em 2010 .....   | 23 |
| Figura 10 – Contributo de cada fonte no consumo em 2010 .....  | 24 |
| Figura 11 – Rede eléctrica descentralizada .....   | 28 |
| Figura 12 – Conceito de Energy Box .....   | 32 |
| Figura 13 – Arquitectura da Energy Box .....   | 33 |
| Figura 14 – Definição de recursos.....   | 36 |
| Figura 15 – Exemplo de recursos disponíveis.....   | 37 |
| Figura 16 – Algoritmo Principal .....  | 40 |
| Figura 17 – Sub-rotina <i>Move carro para lista de serviço</i> .....   | 41 |
| Figura 18 – Sub-rotina <i>Remove carro para lista de serviço</i> .....   | 41 |
| Figura 19 – Densidade de probabilidade Carregamento não controlado .....   | 45 |
| Figura 20 – Densidade de Probabilidade para as horas de vazio .....  | 46 |
| Figura 21 – Densidade de probabilidade usado para Carregamento em horas de vazio. ....   | 46 |
| Figura 22 – Impacto do carregamento não controlado dos VE para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050.....                          | 47 |
| Figura 23 - Impacto do carregamento em horas de vazio dos VE para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050.....                       | 47 |
| Figura 24 – Definição dos recursos disponíveis (Modelo controlado).....  | 48 |
| Figura 25 – Resultados do cenário 1 .....  | 50 |
| Figura 26 – Resultados do cenário 2 .....  | 51 |
| Figura 27 – Valores de consumo acumulados dos cenários 1 e 2 .....   | 51 |



## Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Projecção da evolução do número de veículos em circulação em Portugal .....      | 4  |
| Tabela 2 - Caracterização das baterias típicas para os diferentes veículos eléctricos. .... | 13 |
| Tabela 3 – Suposições sobre VEHP e metas a longo prazo para as suas baterias. ....          | 13 |
| Tabela 4 – Características técnicas de baterias usadas em VE.....                           | 15 |
| Tabela 5 – Opções de Carregamento dos VE .....  | 17 |
| Tabela 6 – Potência instalada em Portugal por fonte de energia.....                         | 23 |
| Tabela 7 – Características dos veículos usados na simulação: Nissan Leaf; Opel Ampera ..... | 42 |
| Tabela 8 – Modo de alimentação considerados na dissertação .....                            | 43 |
| Tabela 9 – Tempo de carregamento para a carga total .....                                   | 43 |
| Tabela 10 – Tempos de carregamento para condições de simulação .....                        | 44 |
| Tabela 11 – Projecção do número de veículos eléctricos até 2050 .....                       | 44 |
| Tabela 12 – Consumos máximos para o modelo base – carregamento não controlado .....         | 46 |
| Tabela 13 – Consumos máximos para o modelo base – Carregamento em horas de vazio .....      | 47 |
| Tabela 14 – Proporção de veículos usados na simulação do algoritmo .....                    | 48 |

## **Acrónimos**

AER - All Electric Range

CD - Charge Depleting Mode

DR - Demand-Response

DSM - Demand Side Management

EB - Energy Box

EDF - Europa a Électricité de France

ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

Li-Ion - Iões de Lítio

MCI - Motores de Combustão Interna

MIBEL - Mercado Ibérico de Electricidade

NiMH - Hidreto Metálico de Níquel

PRE - Produção em Regime Especial

PRO - Produção em Regime Ordinário

SEM - Sistema Eléctrico Nacional

SG - Smart Grids

SoC - Estado de Carga

VE - Veículos Eléctricos ou Veículos de Propulsão Eléctrica

VEH - Veículos Eléctricos Híbridos

VEHP - Veículos Eléctricos Híbridos Plug-in

VEHP - Veículos Eléctricos Híbridos Plug-in

VEP - Veículos Eléctricos Puros

VEP - Veículos Eléctricos Puros

EDP – Energias de Portugal

# 1. Introdução

## 1.1. Contexto

Prevê-se que nos próximos 50 anos a população mundial vá aumentar de 6 para 10 mil milhões e estima-se que o número de veículos aumente de 700 milhões para 2,5 mil milhões [1]. Se todos estes veículos forem movidos a motores de combustão interna (MCI), há grande probabilidade de não termos combustíveis fósseis suficientes para alimentar este imenso parque automóvel. Para além disso, as emissões de gases nocivos destes veículos para a atmosfera poderão comprometer o nosso planeta de forma irremediavelmente. Esta crescente preocupação com as questões ambientais está a impulsionar o desenvolvimento de veículos de propulsão eléctrica (ou veículos eléctricos – VE). Os VE são livres de emissões durante a sua locomoção e são energeticamente mais eficientes quando comparados com os veículos de MCI (cerca de 3 vezes maiores, se tivermos em consideração o consumo de energia desde a sua fonte primária até à energia despendida na locomoção) [2].

O governo Português assumiu, no Pacote Energia-Clima, o compromisso de reduzir a sua dependência energética face ao exterior até 74% e a sua emissão de gases de efeito de estufa em pelo menos 20% até ao ano de 2020 [3]. Uma vez que a grande dependência energética portuguesa face ao exterior provém do consumo de combustíveis fósseis, a implementação de uma rede de mobilidade rodoviária eléctrica pode vir a contribuir bastante para que Portugal consiga atingir estas metas a que se propôs.

Os VE, devido às suas características de armazenamento de energia, podem ser vistos como uma oportunidade para que os operadores da rede eléctrica controlem a geração intermitente (ex.: geração eólica). O impacto do carregamento não controlado das baterias dos VE poderia vir a ser um factor de risco para as redes eléctricas e daí derivarem mais investimentos em infra-estruturas de geração de energia eléctrica apenas para suprir um aumento momentâneo de consumo.

A renovação das redes de distribuição de energia eléctrica está a mudar o paradigma de distribuição centralizada para uma mais descentralizada e traz consigo novidades tecnológicas de telecomando e monitorização à distância. Associando estes novos conceitos de gestão de redes eléctricas às novas tecnologias de comunicação e à

sua grande disponibilidade de largura de banda, surgem novas formas de olhar para a gestão de energia que até à data seriam impensáveis.

O uso de dispositivos móveis com acesso à internet veio revolucionar a forma como as sociedades olham para a informação. Nos dias de hoje, as pessoas estão cada vez mais habituadas a ter *“toda a informação na palma da mão”*. A capacidade de comunicação sem fios e os interfaces gráficos apelativos que os mais recentes dispositivos móveis proporcionam, estão a tornar o desenvolvimento de tecnologias de controlo e monitorização de aparelhos eléctricos caseiros numa realidade *“apetecível”*.

Neste contexto, os VE representam um desafio tanto para a rede distribuidora como para o próprio utilizador. A falta de infra-estruturas públicas de carregamento rápido vai levar a que os utilizadores de VE tenham que carregar as suas baterias em casa. Se tivermos em conta que os VE são ligados à rede assim que chegam a casa ao final do dia, da mesma forma que um utilizador de um telemóvel sem bateria chega a casa e deseja carregar o aparelho imediatamente, a rede eléctrica terá de produzir energia eléctrica suplementar numa altura de ponta em que a sua produção é mais cara.

Esta dissertação pretende dar uma resposta a esta problemática através do desenvolvimento de estratégias e algoritmos de controlo para o carregamento das baterias dos VE no local de consumo.

## **1.2. Estrutura da dissertação:**

Esta dissertação está dividida em onze capítulos:

- Nos capítulos 1 e 2 é feita a introdução do problema a abordar e desenvolve-se um estudo sobre mobilidade automóvel.
- Nos capítulos 3, 4 e 5 faz-se uma contextualização dos vários tipos de VE e respectivos sistemas de armazenamento de energia e estruturas de carregamento.
- Nos capítulos 6 definem-se as características do Sistema Eléctrico Nacional e respectivas políticas nacionais
- Nos capítulos 7 e 8 introduz-se o conceito de Redes Inteligentes e define-se o papel da Energy Box como interligação entre a rede eléctrica, aparelhos a controlar e consumidor de energia eléctrica.
- No capítulo 9, 10 e 11 desenvolve-se um algoritmo de controlo e define-se um caso de estudo para estudar o impacto dos VE na rede eléctrica para os cenários de carregamento não controlado e carregamento em horas de vazio. Define-se um caso de estudo para provar o funcionamento do algoritmo proposto e procedem-se às conclusões.

## 2. Parque Automóvel e Mobilidade em Portugal

### 2.1. Caracterização do parque automóvel português

Os veículos de transportes ligeiros são o meio de transporte mais utilizado em Portugal. Mais de metade das viagens casa-trabalho (54%) são feitas com auxílio do automóvel ligeiro de passageiros [14].

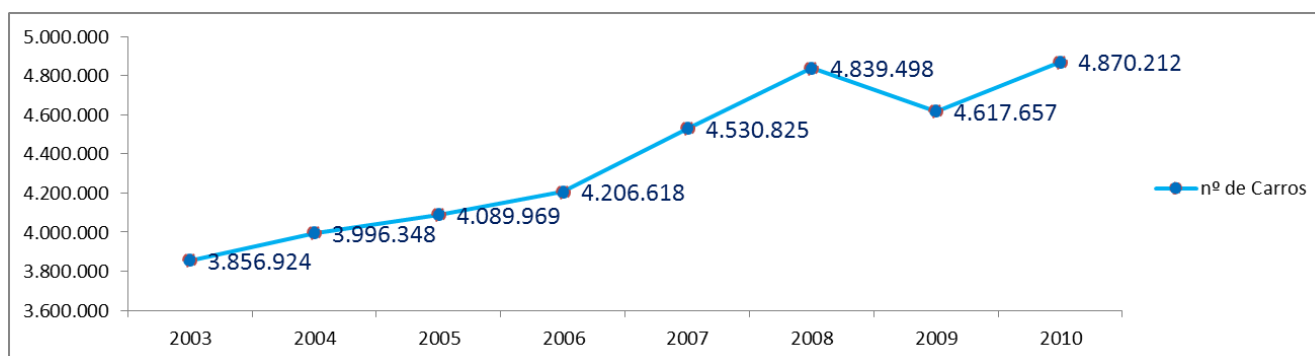


Figura 1 – Evolução do número de veículos matriculados e segurados em Portugal [5]

Em 2010, existiam em Portugal cerca 6.703.179 de veículos matriculados e segurados, destes 4.870.212 são veículos ligeiros de uso particular [4]. Tendo em conta os valores das vendas anuais apresentados na figura 2, podemos ver que a tendência para o valor do número de veículos é de ligeira subida ou estagnação (figura 1).

Se considerarmos que o total da população portuguesa residente é de 10.555.853 habitantes [6], vemos que existe aproximadamente um veículo ligeiro por cada duas pessoas. Isto demonstra que este tipo de transporte tem muita importância na vida quotidiana portuguesa.

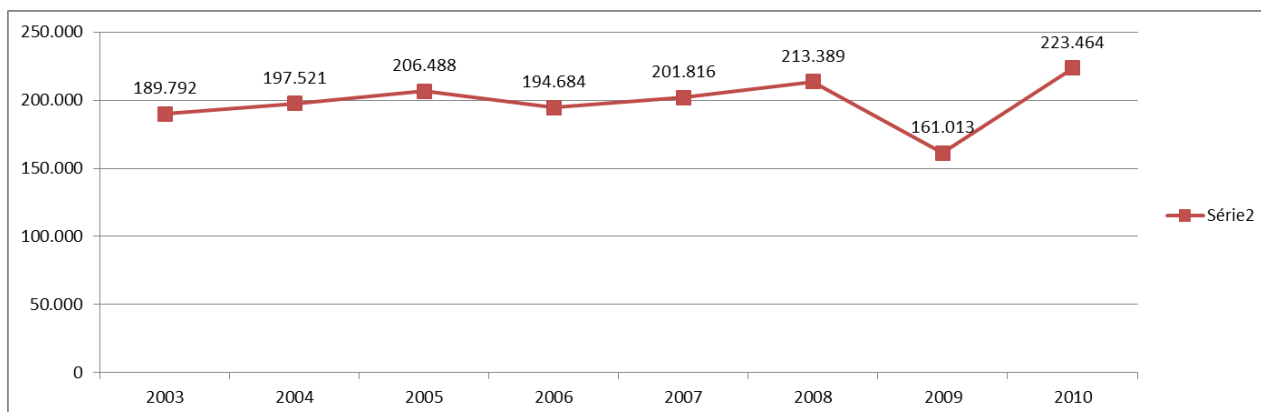


Figura 2 – Evolução da venda de veículos ligeiros em Portugal [5]

## 2.2. Estimação da evolução do parque automóvel

A estimação do aumento de veículos em circulação não é uma tarefa fácil. O abate de veículos em fim de vida não requer que o veículo ainda se encontre em circulação, ou seja, não requer seguro [7]. O que quer dizer que existe um número indeterminado de veículos com capacidade de serem reintegrados no parque automóvel que não estão contabilizados nas estatísticas apresentadas. Para além deste problema, os dados estatísticos disponibilizados não representam um histórico representativo, apenas temos dados de 2003 a 2010, o que dificulta a tarefa de estimar valores para datas muito avançadas.

Para os trabalhos realizados nesta tese, considera-se um aumento anual de 1% do valor total de veículos matriculados e segurados em Portugal. Este valor mostrou ser a opção mais realista para o panorama português. A tabela 1 mostra a projecção adoptada para os anos de 2020, 2030, 2040 e 2050.

**Tabela 1 – Projecção da evolução do número de veículos em circulação em Portugal**

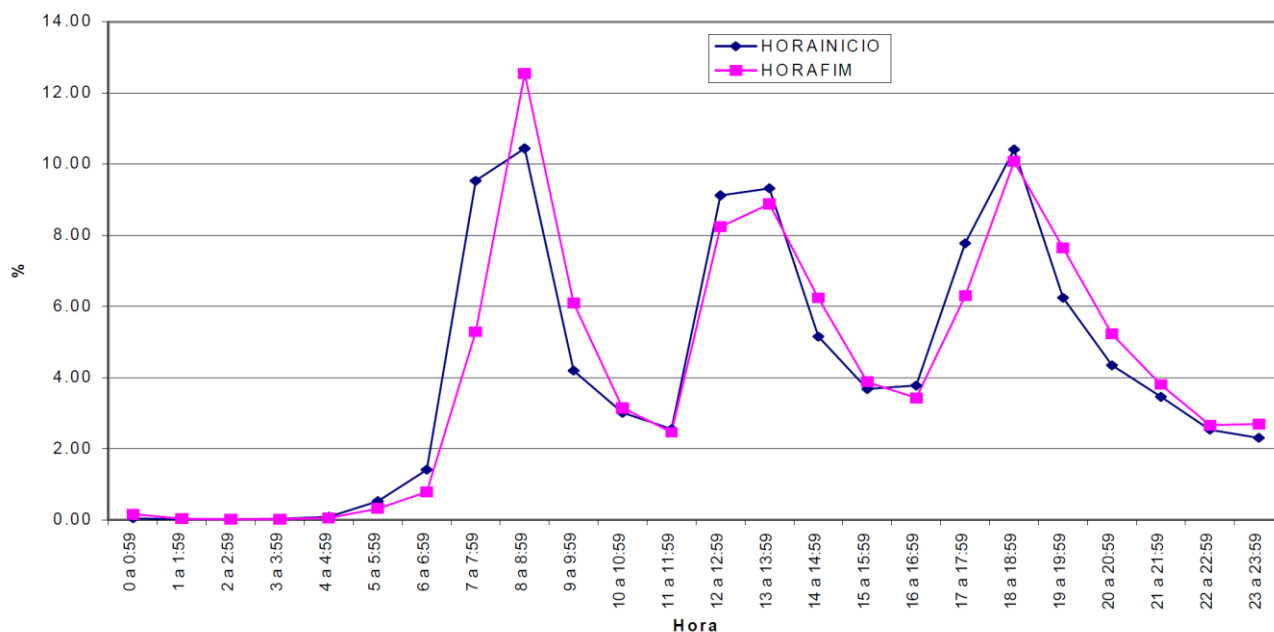
| <b>Ano</b> | <b>Veículos</b> |
|------------|-----------------|
| 2010       | 4.870.212       |
| 2020       | 5.379.744       |
| 2030       | 5.942.584       |
| 2040       | 6.564.310       |
| 2050       | 7.251.082       |

## 2.3. Caracterização da mobilidade Casa-Trabalho-Casa

A mobilidade das populações, principalmente a que se representa na forma de fluxos diários, dá-nos uma representação das relações que estas populações têm com os diferentes espaços da sua vida quotidiana. As deslocações quotidianas de casa-trabalho-casa, também conhecidas como deslocações pendulares, são caracterizadas pela sua alta frequência e ritmo, o seu estudo serve de instrumento para o planeamento de investimentos de utilidade pública e comercial.

No âmbito desta tese, o estudo da mobilidade vai servir para modelizar o comportamento dos condutores de veículos eléctricos ligeiros de passageiros.

### 2.3.1. Deslocação Casa-Trabalho-Casa



**Figura 3 – Distribuição de viagens nos dias úteis, por hora de início e hora de fim [13]**

A figura 3 descreve a distribuição de viagens da população residente na área metropolitana do Porto, nos dias úteis, por hora de início e hora de fim.

Como podemos ver, identificam-se neste gráfico três períodos de grande percentagem de viagens. Durante o período da manhã, as viagens casa-trabalho, estão no período das 7h00 às 10h00, das 12h00 às 14h00 dá-se um novo aumento de viagens. Embora estas últimas possam representar o movimento pendular trabalho-casa, estas representam essencialmente a deslocação casa-trabalho-casa das pessoas que almoçam em casa. Entre as 17h00 e as 20h00 surge um novo pico que representa o movimento trabalho-casa.

Se considerarmos o gráfico isolado de início de viagem casa-trabalho, podemos ver que este se dá às 4h00, no entanto, a maior percentagem de início ocorre entre as 7h00 e as 9h00.

O fim da viagem trabalho-casa ocorre entre as 17h00 e as 22h00, mas a maior percentagem ocorre entre as 17h00 e as 20h00.

A duração média destas viagens, para o meio de transporte automóvel, é de 23,5 minutos [14].

## **3. Veículos de Propulsão Eléctrica**

### **3.1. Definição Geral**

Um veículo diz-se de propulsão eléctrica (ou veículo eléctrico – VE) se o binário aplicado às rodas é fornecido por um motor eléctrico alimentado apenas por baterias ou em associação com um motor de combustão interna (MCI).

Esta definição aplica-se aos Veículos Eléctricos Híbridos (VEH), Veículos Eléctricos Puros (VEP), Veículos Eléctricos Híbridos Plug-in (VEHP), mas também aos Veículos Eléctricos Fotovoltaicos e Veículos Eléctricos de Células de Combustível.

Devido à baixa utilização destas duas últimas arquitecturas, estas serve apenas de referência.

### **3.2. Veículos Eléctricos Puros**

Veículos Eléctricos Puros (VEP), ou Veículos Eléctricos de Bateria (VEB), são veículos propulsionados apenas por motores eléctricos. A fonte de potência deriva da energia química armazenada em baterias que têm a capacidade de serem carregadas através da rede eléctrica.

Os primeiros VEP foram inventados em 1834 e foram alvo de produção por parte de algumas empresas na última década do século XIX. No entanto, as limitações associadas às baterias e o rápido desenvolvimento dos veículos movidos a MCI fizeram com que os VEP saíssem de cena por volta de 1930. Foi só durante a crise energética dos anos 70 que os VEP voltaram a ter notoriedade e voltaram a estar em cima de mesa como uma solução de transporte viável. [23,25,16]

Actualmente, estes veículos têm como características principais o facto não usarem, de forma directa, combustíveis fósseis na sua propulsão, o que faz com que não emitam qualquer gás nocivo para a atmosfera. Estão disponíveis comercialmente veículos com capacidade para percorrer entre 100 a 200 km, dependendo das condições de condução. Embora sejam muito mais eficientes que os veículos de MCI, o futuro destes veículos vai estar fortemente ligado aos futuros desenvolvimentos das baterias, tanto em termos de performance como de custo e infra-estruturas de carregamento. [16, 23]



### **3.3. Veículos Eléctricos Híbridos**

Veículos Eléctricos Híbridos são veículos que usam um MCI assistido por um motor eléctrico, que usa apenas combustíveis fósseis como energia externa armazenada.

Curiosamente, o conceito de VEH é tão antigo como o de automóvel. No entanto, nas primeiras arquitecturas, o motor eléctrico não tinha o intuito de diminuir o consumo de combustível, mas sim o de assistir o MIC a atingir um nível de desempenho melhor. Isto porque houve uma altura em que a engenharia dos motores eléctricos estava mais avançada que a engenharia do MCI. Mais uma vez, estas configurações acabaram por “desaparecer” com o rápido desenvolvimento do MCI. O interesse das arquitecturas de VEH voltou nos anos 90, quando se tornou claro que os VEP não conseguiam atingir os objectivos pretendidos como alternativa energética. A indústria automóvel virou as suas atenções para este tipo de veículo eléctrico e, poucos anos depois, foram lançados no mercado alguns modelos, entre eles encontra-se o Toyota Prius e o Honda Insight [18, 23].

Os VEH usam normalmente um motor de 2.5kW a 12 V. A sua função principal na locomoção restringe-se a arranque e paragem do veículo, sendo que o ganho de eficiência de combustível apenas se situa entre 5-10%, considerando uma condução citadina em que existem muitas situações de pára-arranca. Um exemplo do uso desta tecnologia é o Citroen C3 híbrido. [23]

### **3.4. Veículos Eléctricos Híbridos Plug-in**

Veículos Eléctricos Híbridos Plug-in (VEHP) são veículos que podem usar, de forma independente ou não, electricidade e combustíveis fósseis, ambos recarregáveis de fontes externas. Os VEHP podem ser vistos como uma tecnologia intermédia entre VEP e VEH. Pode ser visto como um VEP suportado por um MCI para aumentar a distância percorrida por carga de bateria, ou como VEH convencional em que a distância percorrida só com bateria é estendida como resultado de baterias com maior capacidade que podem ser recarregadas da rede. [23, 19]

O IEEE define VEHP como “*qualquer veículo eléctrico híbrido que contém pelo menos: um sistema de armazenamento de baterias, com capacidade de 4kWh ou maior, usado para propulsionar o veículo*”; um meio de recarregar o sistema de baterias

através de uma fonte externa de electricidade; e a capacidade para se mover pelo menos 16 quilómetros (10 milhas) usando apenas energia eléctrica sem o uso de combustível [32].

Existem uma larga variedade de opções desenvolvidas actualmente que variam em termos de grupo motopropulsor (power train), modo de gestão de energia e tipo de bateria. Estas opções influenciam a performance e o custo dos veículos.

### **3.4.1. Arquitecturas VEHP**

O modelo de um VEHP pode ser de vários tipos de arquitectura, nomeadamente, híbrido-série, híbrido-paralelo ou combinação híbrido série-paralelo [19]:

**Híbrido-série** - nesta configuração apenas o motor eléctrico fornece força motriz às rodas do veículo. A fonte eléctrica do motor neste tipo de configuração será um sistema de baterias ou um gerador eléctrico alimentado por um motor de combustão. Estes veículos são também denominados por Veículos Eléctricos de Alcance Estendido (Extended-Range Electric Vehicles).

**Híbrido-paralelo** - nesta configuração, ambos os motores, eléctrico e de combustão, fornecem força motriz em paralelo à transmissão do veículo.

**Híbrido série-paralelo** - esta configuração combina as vantagens de ambas as arquitecturas anteriores. Esta arquitectura permite ao veículo otimizar a condução optando entre usar apenas a força motriz do motor eléctrico ou uma combinação dos dois, dependendo das condições de viagem.

### **3.4.2. Modos de operação**

Quando em condução o estado de carga<sup>1</sup> dos VEP e VEHP varia dentro de um certo intervalo, esta é dada pela diferença entre o máximo e o mínimo SoC. A vantagem tecnológica dos PHEV deriva da sua capacidade de conduzir em diferentes modos de energia, de onde resultam diferentes níveis de SoC. São possíveis dois modos básicos [20]:

**Modo de Esgotamento/Descarga de Carga (CD - Charge Depleting Mode)**

Neste modo de operação o veículo é alimentado apenas, ou quase apenas, pela energia armazenada na bateria, e neste caso o estado de carga (SoC) vai decair para um valor mínimo dependente do tamanho da bateria.

Assim, o veículo comporta-se como um carro puramente eléctrico, o que o torna particularmente adequado para viagens urbanas. Este modo de operação pode ser ainda de dois tipos: em modo CD misto o motor de combustão está ligado; e em modo CD exclusivamente eléctrico o motor de combustão é desligado.

### **Modo de Sustentação de Carga (CS Charge sustaining Mode)**

Neste modo de operação o estado de carga, ou SoC, vai aumentar ou diminuir durante a condução, mas a sua média vai manter-se igual ao seu estado inicial. O SoC da bateria vai manter-se dentro de um limite de operação e pode ser recarregada através de travagem regenerativa ou através do MCI. Neste caso os VEHP comportam-se como VEH convencionais.

Dependendo das condições de condução, estes dois modos podem ser combinados durante a viagem por forma a colher o que de melhor há na tecnologia PHEV e assim estender o alcance de condução.

### **3.4.3. Terminologia VEHP**

Os VEHP são diferenciados de acordo com a distância que percorrem apenas com auxílio do sistema eléctrico (All Electric Range - AER) até ao ponto em que é necessário o auxílio do motor a combustão interna. Também pode ser descrito como a troca do modo CD para CS.

A terminologia “VEHPxx” é normalmente usada para descrever a distância supracitada. Por exemplo PHEV30 corresponde a um VEHP com 30 milhas (48 km) de capacidade eléctrica. Os valores típicos para um VEHP estão na gama das 20-60 milhas (32-96 km).

É de notar que este número é apenas indicativo, pois na prática o tipo de condução e o sistema de gestão de energia influenciam a AER. Por isso, a distância indicada por “xx” não implica que seja realmente percorrida apenas a usar electricidade das baterias.

## 4. Fontes de Energia

As fontes de energia vão ser um factor de extrema importância no crescimento da comercialização dos veículos eléctricos. Ao contrário dos veículos eléctricos que podem ser alimentados durante a sua locomoção (ex.: Comboios eléctricos, tróleys), os veículos eléctricos de transporte rodoviário necessitam de transportar energia consigo e em quantidade suficiente. Por esta razão, a escolha da fonte de energia deve ter em conta características como: densidade de energia (Wh/kg) para garantir uma boa autonomia do veículo; e densidade potência (W/kg) para que o carro tenha capacidade de aceleração. Existem no entanto, outro tipo de características a ter em conta, estas são: rápido carregamento, descarregamento completo, baixo custo, ciclo de vida elevado, taxa de auto descarga e de carregamento de alta eficiência, segurança, livre de manutenção, amigas do ambiente e recicláveis.

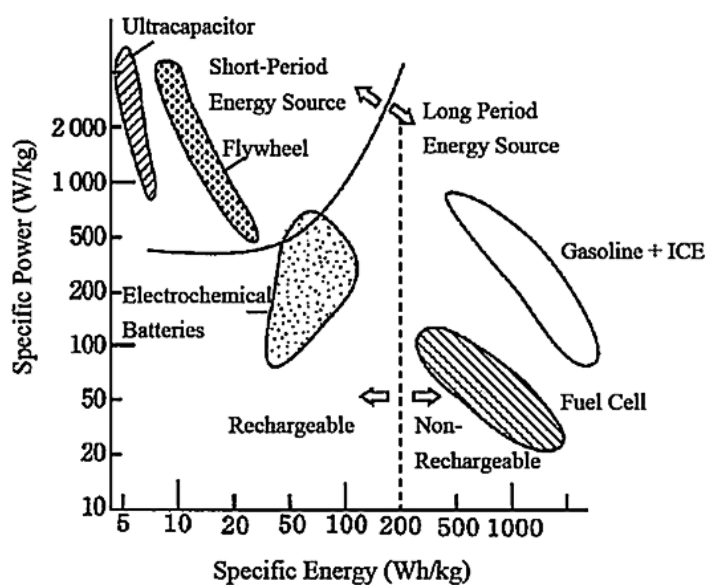


Figura 4 – Densidade de energia vs. Potência [17]

Na figura 4 está representado um gráfico de densidade de energia versus de potência de várias fontes de energia.

O uso de múltiplas fontes de energia permite reduzir o compromisso entre a densidade de energia e de potência. Tal pode ser observado ao escolher fontes de energia em extremos opostos do gráfico apresentado (elevado valor de energia específica vs. elevado valor de potência específica). No caso do VEH a gasolina é uma

fonte de elevada energia específica usada para aumentar a autonomia do veículo e a bateria é uma fonte recarregável com o objectivo de auxiliar durante as acelerações e reduzir as emissões de gases. Normalmente, nos sistemas com baterias e supercondensadores, a locomoção é feita através das baterias e os supercondensadores servem essencialmente para colmatar picos gerados durante as cargas e descargas das baterias. Desta forma consegue-se reduzir as necessidades potência a fornecer pelas baterias e assim aumentar a eficiência.

Embora existam opiniões que defendem que a densidade de energia e potência das baterias e dos condensadores, no actual estado de arte, são suficientes para conceber veículos eléctricos atractivos, os críticos continuam a afirmar que ainda é cedo para se poder fazer essa afirmação. Outros problemas associados a estas fontes de energia são o ciclo de vida e o custo.

#### 4.1. Baterias

As tecnologias principais das baterias mais usadas actualmente na indústria automóvel são: hidreto metálico de níquel (NiMH) e iões de lítio (Li-Ion), ácido chumbo e nano titanato. A maioria das baterias, usadas em VEH vendidos nos Estados Unidos da América, é de NiMH. Estas têm como características mais fortes a sua longevidade, o seu ciclo de vida e a sua segurança, no entanto, têm algumas limitações em termos de densidade de energia e potência. É estimado que estas baterias tenham chegado ao seu potencial máximo de crescimento e não são previstas melhorias técnicas ou reduções de custo de futuro [19, 20].

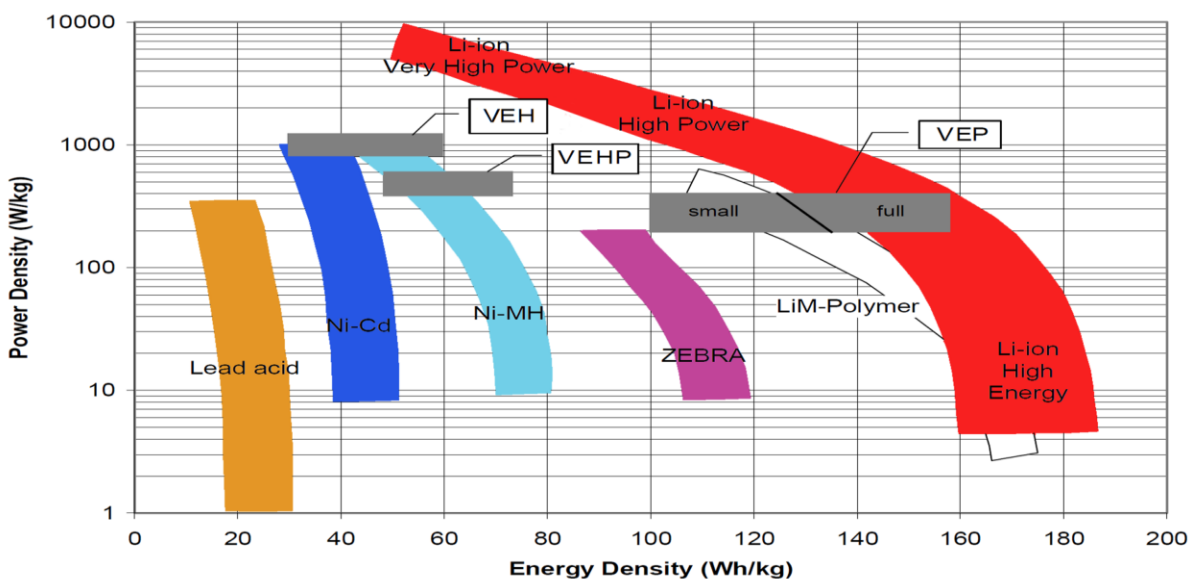


Figura 5 – Características de várias tecnologias de várias fontes de energia (escala logarítmica) [20]

Actualmente, os fabricantes de automóveis estão a apostar nas baterias de lítio, especialmente por oferecerem uma densidade de energia superior à de NiMH. As baterias de íões de lítio são caracterizadas pela ausência de memória e baixa taxa de auto-descarga e são vistas como a melhor opção para atingir os requisitos de armazenamento de energia não só para os VEHP, mas também para os VEP e VEH, pelo menos no curto médio prazo.

As baterias de lítio oferecem um campo vasto para novos desenvolvimentos, uma vez que ainda não atingiram o nível de maturidade das baterias NiMH. Tal como foi sublinhado pela Agência Internacional de Energia: “*aparentemente para os VEHP, o avanço chave adicional parece ser a tecnologia de baterias de lítio, uma vez que a densidade de energia continua a melhorar nos últimos anos. Ao mesmo tempo, a densidade de energia de outras tecnologias de baterias mantiveram-se constantes*”.

Embora haja necessidade de investigação e desenvolvimento para suprir os problemas como a longevidade e controlo de tensão, as baterias de lítio têm sido testadas intensivamente por todo o mundo e já são usadas em alguns protótipos VEHP.

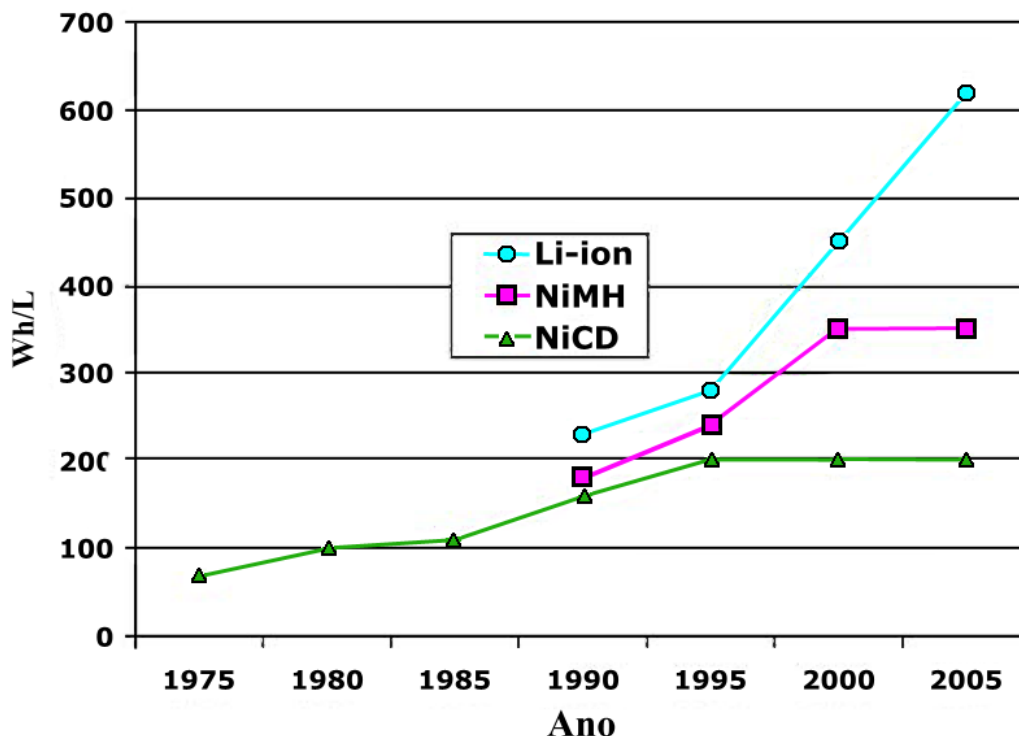


Figura 6 – Evolução da densidade de energia (Wh/L) das baterias de íões de lítio comparada às tecnologias de NiMH e NiCD [19]

A figura 6 mostra a evolução da densidade de energia esperada para as baterias de várias tecnologias. Como se pode ver a tecnologia de íões de lítio apresenta-se como a mais promissora. Na tabela 2 são indicadas as características das baterias para diferentes tipos de veículos eléctricos.

**Tabela 2 - Caracterização das baterias típicas para os diferentes veículos eléctricos. [19]**

|                               | VEH  | VEHP20 | VEHP30 | VEHP40 | VEHP60 |
|-------------------------------|------|--------|--------|--------|--------|
| <b>AER (km)</b>               | 0    | 32,19  | 48,28  | 64,37  | 96,56  |
| <b>Material</b>               | NiMH | Lítio  | Lítio  | Lítio  | Lítio  |
| <b>Capacidade Total (kWh)</b> | 1,3  | 4-8    | 8-12   | 12-16  | 20-30  |

**Tabela 3 – Suposições sobre VEHP e metas a longo prazo para as suas baterias. [19]**

| Suposições dos veículos               | Unidades | USABC        | MIT          | EPRI   |              |              |
|---------------------------------------|----------|--------------|--------------|--------|--------------|--------------|
| <b>Alcance CD</b>                     | Km       | 16           | 64           | 48     | 32           | 97           |
| <b>Modo CD</b>                        |          | Só eléctrico | Só eléctrico | Misto  | Só eléctrico | Só eléctrico |
| <b>Uso de electricidade</b>           | kWh/Km   | 0,26         | 0,19         | 0,12   | 0,15         | 0,15         |
| <b>Profundidade de descarga (DOD)</b> | %        | 70%          | 70%          | 70%    | 80%          | 80%          |
| <b>Peso total da bateria</b>          | kg       | 60           | 120          | 60     | 159          | 302          |
| <b>Peso total do veículo</b>          | kg       | 1950         | 1600         | 1350   | 1664         | 1782         |
| <b>Pico de potência</b>               | kW       | 50           | 46           | 44     | 54           | 99           |
| <b>Densidade do pico de potência</b>  | W/kg     | 830          | 380          | 730    | 340          | 330          |
| <b>Capacidade de Energia total</b>    | kWh      | 6            | 17           | 8      | 6            | 18           |
| <b>Densidade de Energia total</b>     | Wh/kg    | 100          | 140          | 130    | 40           | 60           |
| <b>Esperança média de vida</b>        | ano      | 15           | 15           | 15     | 10           | 10           |
| <b>Ciclo de Vida em CD</b>            | ciclos   | 5000         | 5000         | 2500   | 2400         | 1400         |
| <b>Ciclo de Vida em CS</b>            | ciclos   | 300000       | 300000       | 175000 | <200000      | <2 00000     |

O desenvolvimento de baterias de íões de lítio é limitado pelos compromissos entre densidade de potência e de energia, durabilidade, segurança e custo. Por exemplo, o aumento da densidade de potência requer maior tensão, o que leva à redução da longevidade e segurança e ao aumento do custo. O aumento da densidade de energia tende a reduzir a densidade de potência. A optimização da densidade de potência e energia, longevidade e segurança resulta num aumento do custo da bateria.

Na tabela 3 são indicadas as metas a longo prazo de baterias para VEHP estabelecidas por USABC (United States Advanced Battery Consortium), MIT (Massachusetts Institute of Technology) e EPRI (Electric Power Research Institute). As aspirações que estas entidades têm para as baterias são enormes, quer em termos das características energéticas, bem como para o ciclo de vida da bateria.

## 4.2. Estado de Carga e Profundidade de Descarga

O SoC (State of Charge) de uma bateria é a medida da quantidade de carga que resta em relação à sua capacidade nominal.

$$SoC = \frac{Q}{Q_0}$$

Em que  $Q$  é a quantidade de carga num dado momento e  $Q_0$  é a capacidade nominal.[3]

A determinação do estado de carga (SoC) de uma bateria é um processo de extrema importância para a estimação do tempo total de recarga. Sem uma boa estimação do SoC, corre-se o risco de sobrecarregar ou subcarregar as baterias e assim diminuir a performance e segurança dos VE. No decurso da locomoção dos veículos, a tensão  $V$  aos terminais da bateria, a corrente  $I$  e a temperatura  $T$  podem ser lidas directamente. Todavia o SoC não pode ser lido directamente, mas pode ser estimado pela sua relação com a tensão, corrente e temperatura. Como esta relação não é linear, o valor do SoC vai ser sempre um valor estimado. [22]

A profundidade de descarga (DoD – Depth of Discharge) é a medida da quantidade de energia que se consegue obter de uma bateria num ciclo de descarga. O DoD é igual à variação do SoC num ciclo de descarga,

$$DoD = \Delta SoC = \frac{1}{Q_0} \int I(t) dt$$

onde  $I$  é a corrente de descarga. Um DoD de 60% significa que a bateria com um SoC inicial de 100% considera-se descarregada quando o SoC atinge 40%.



### 4.3. Baterias usadas em Veículo Eléctricos

A seguinte tabela mostra as características dos vários tipos de baterias usadas em veículos eléctricos e os respectivos fabricantes:

Tabela 4 – Características técnicas de baterias usadas em VE

| Tecnologia          | Aplicação | Carga [Ah] | Tensão [V] | Wh/kg a C/3 | Resistência [mΩ] | Impedância correspondente W/kg | SoC Usável |
|---------------------|-----------|------------|------------|-------------|------------------|--------------------------------|------------|
| <b>Ácido Chumbo</b> |           |            |            |             |                  |                                |            |
| Panasonic           | VEH       | 25         | 12         | 26,3        | 7,8              | 389                            | 28%        |
| Panasonic           | VEP       | 60         | 12         | 34,2        | 6,9              | 250                            | ...        |
| <b>NiMH</b>         |           |            |            |             |                  |                                |            |
| Panasonic           | ...       | 65         | 12         | 68          | 8,7              | 240                            |            |
| <b>EV</b>           |           |            |            |             |                  |                                |            |
| Panasonic           | VEH       | 6,5        | 7,2        | 46          | 11,4             | 1093                           | 40%        |
| Ovonic              | VEP       | 85         | 13         | 68          | 10               | 200                            | ...        |
| Ovonic              | VEH       | 12         | 12         | 45          | 10               | 1000                           | ...        |
| Saft                | VEH       | 14         | 1,2        | 47          | 1,1              | 900                            | 30%        |
| <b>Li-ion</b>       |           |            |            |             |                  |                                |            |
| Saft                | VEH       | 12         | 4          | 77          | 7                | 1550                           | 20%        |
| Saft                | VEP       | 41         | 4          | 140         | 8                | 476                            | ...        |
| Shin-Kobe           | VEP       | 90         | 4          | 105         | 0,93             | 1244                           | ...        |
| Shin-Kobe           | VEH       | 4          | 4          | 56          | 3,4              | 3920                           | 18%        |

## 5. Infra-Estrutura de carregamento

### 5.1. Tipos de Carregamento

Um dos grandes desafios para o desenvolvimento dos mercados de veículos eléctricos prende-se com a infra-estrutura de carregamento. O desenvolvimento de *standards* é um dos processos que deverá ajudar a tornar a infra-estrutura de carregamento mais comum, reduzir custos de produção e melhorar o sentimento de segurança que os utilizadores têm da tecnologia dos veículos eléctricos.

Tradicionalmente, a partilha de tecnologia na indústria automóvel é muito reservada, isto na óptica do desenvolvimento de MCI. Os padrões que regulam hoje a indústria surgiram inicialmente para melhorar a segurança dos passageiros, evitando assim custos com processos litigiosos e de retoma de veículos. Já as empresas do sector energético são muito reguladas.

Actualmente, devido à crescente preocupação em reduzir a emissão de gases de efeito de estufa, os governos de diversos países obrigaram a indústria a desenvolver *standards* mais estritos. A necessidade para electrificar os transportes rodoviários vai impulsionar os governos mundiais a formarem novas alianças e parcerias económicas por forma a garantir o sucesso da sua tecnologia. O desenvolvimento de *standards* pode servir de ferramenta para ganharem alguma vantagem competitiva.

Já estão disponíveis diferentes tipos de tomadas e são usadas duas terminologias para definir os tipos de carregamento, “*Nível*”, que é usada essencialmente na América do Norte, e “*Modo*”, que é usada pelas organizações Europeias de Standards, embora “*Nível*” também seja muito usado na Europa. Os requisitos de ligação à terra também variam consoante o país e fabricante automóvel.

Alguns produtores de veículos eléctricos (ex.: Ford, General Motors, Volkswagen, Fiat, Toyota e Mitsubishi) acordaram em usar uma tomada de 3 pontos (fase, neutro e terra). Na Europa a Électricité de France (EDF) prevê uma tomada de uma fase e uma de três fases que envolvem a Nissan e a Renault. A harmonização da tomada e ficha de ligação é vital mas vai ser necessário um período de tentativa e erro para que se possa alcançar o melhor sistema. É sugerido que a ligação à terra e os requisitos de segurança sejam remetidos para o sector eléctrico, uma vez que esta questão é particular às práticas e procedimentos de cada área geográfica. Os interfaces

gráficos de pagamento e de utilização das estações de públicas de carregamento deverão ser padronizados de forma semelhante ao sector das caixas multibanco.

Internacionalmente esperam-se três modos de carregamento. Isto vai variar de país para país, dependendo da tensão, frequência e *standards* de transmissão.

A tabela seguinte dá uma indicação das necessidades de potência e opções de carregamento.

Tabela 5 – Opções de Carregamento dos VE [23]

|               | Tipo                        | Ligação                    | Carga Resultante | Tempo de Carregamento | Potência     |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|------------------|-----------------------|--------------|
| <b>Modo 1</b> | Standard                    | 230 V 16 A<br>1 ou 2 fases | 100%             | 6 a 8 horas           | 3 kW a 10 kW |
| <b>Modo 2</b> | Emergência/<br>Oportunidade | 400 V 32 A                 | 20 km ou 50%     | 10 a 30 minutos       | 22 kW        |
| <b>Modo 3</b> |                             | 400 V 63 A                 | 80%              | 30 minutos            | 44 kW        |

Será possível carregar os VE em casa, no trabalho, em estações de carregamento público e em grandes infra-estruturas de carregamento, tais como parques de estacionamento e centros comerciais. [25]

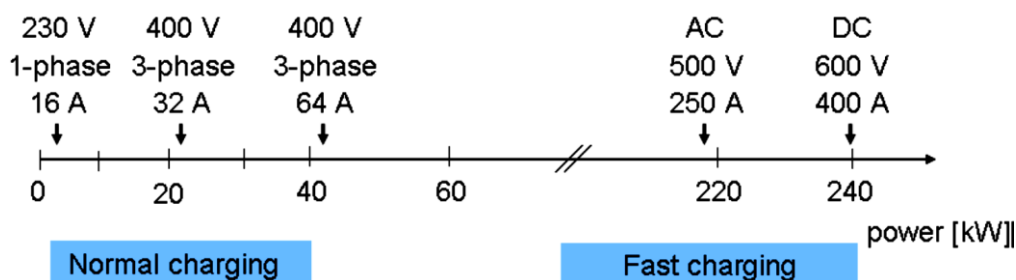


Figura 7 – Tipos de carregamento versus potência [24]

### 5.1.1. Carregamento Padrão

Para a Europa o carregamento padrão para veículos eléctricos, significa que se usa uma ligação de 3,5 kW, correspondente a uma tomada de 230 V e 16 A, este é o tipo de ligação mais generalizada na Europa. [25] Este tipo de carregamento destina-se a um carregamento normal de 6 a 8 horas, feito através de um módulo de carregamento

localizado dentro do veículo. Devido à sua simplicidade, este é o tipo de ligação preferencial para uso doméstico ou no local de trabalho.

### **5.1.2. Carregamento Semi-rápido**

O carregamento semi-rápido é definido por um nível de potência de 7 a 22 kW, que corresponde a uma tomada de ligação de uma fase a 32 A ou a uma de três fases a 16 A. Isto permite uma duplicação da potência no carregamento, com restrições infra-estruturais não muito pesadas ou dispendiosas. Este tipo de carregamento permite um tempo de carregamento de 2 a 6 horas para uma bateria de 30 kWh.

### **5.1.3. Carregamento Rápido**

O carregamento rápido, que a alta potência pode atingir dezenas de quilowatts, pode ser feito através de uma ligação de corrente contínua ou alternada. Em corrente alternada usa-se um transformador e um rectificador. Estas estações tendem a ser pesadas e dispendiosas. Veículos equipados com drives AC podem ter a capacidade para carregar as baterias a alta potência quando ligados a uma fonte AC. O carregamento rápido pode ainda ser qualificado em três categorias:

**Carregamento rápido** – Na Europa as estações de carregamento rápido pertencem ao modo 3. Este é o modo mais dispendioso. O seu uso está limitado apenas para estações de carregamento público. O tempo de carregamento completo da bateria situa-se entre 25-35 minutos. O pico de potência neste tipo de estação é de 50 a 75 kW.

**Carregamento Super Rápido** – o objectivo deste tipo de carregamento é o de igualar o tempo de carregamento de uma estação de combustível convencional. O tempo de carregamento é comparável ao da troca de baterias estabelecida pela Renault no projecto Better Place.

**Carregamento AC alto** – Este modo usa uma ligação de alta potência que pode ir até 250 A. Devido às complicações deste sistema, este tipo de carregamento é apenas usado em algumas ocasiões especiais.

Neste trabalho apenas serão consideradas ligações que possam servir estruturas privadas de média e baixa tensão.

## **5.2. Tipo de carregamento considerado**

No âmbito desta tese são considerados dois modos de carregamento, normal e semi-rápido. Estes carregamentos podem ser feitos em habitações domésticas com uma ligação monofásica de 230 V a 16 A e 32 A, respectivamente. O que representa uma potência de 3,5 kW e 7 kW, considerando um factor de potência de 0,95.

Supõe-se que o carregamento rápido será usado, apenas em situações de grande emergência. Isto deve-se ao facto deste tipo de carregamento necessitar de cabos pesados, de reduzir do tempo de vida das baterias e de criar um grande constrangimento à rede se for usado em grande escala.

## 6. Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

O SEN é um sistema complexo devido a uma série de condicionalismos a que está sujeito. A geração de electricidade tem que acompanhar o consumo devido à falta de sistemas de armazenamento, facto que resulta num sobredimensionamento do sistema e num ligar e desligar de geradores. A segurança do sistema e a qualidade da energia eléctrica têm que ser igualmente asseguradas. Estas realidades tornam a operação e optimização do sistema difícil, tornando o mercado de energia eléctrica único. O SEN pode ser dividido em cinco actividades principais [8], [9]:

- **Produção de Electricidade** - A produção está dividida em dois regimes, produção em regime ordinário (PRO) e produção em regime especial (PRE). A PRO refere-se à produção de electricidade com base em fontes tradicionais não renováveis e em grandes centros electroprodutores hídricos. A PRE refere-se à co-geração e produção a partir de fontes de energia renováveis. Beneficia de tarifas especiais. O comercializador de último recurso é obrigado a comprar a energia produzida sob este regime (actualmente EDP Serviço Universal).
- **Transporte de Electricidade** - Actividade de transmissão de electricidade através da rede nacional de transmissão. Concessão à REN (Redes Energéticas Nacionais), responsável pelo planeamento, implementação e operação da rede.
- **Distribuição de Electricidade** – A distribuição tem por base a rede nacional de distribuição, constituída por alta, média e baixa tensão. Esta está concessionada à EDP Distribuição.
- **Comercialização de Electricidade** - Existem comercializadores que podem comprar e vender energia eléctrica e têm o direito de aceder às redes de transporte e de distribuição mediante o pagamento de tarifas de acesso estabelecidas pela ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos).
- **Operação dos Mercados de Electricidade** - Fazem parte deste mercado os produtores em regime ordinário, os comercializadores, entre outros. O MIBEL (Mercado Ibérico de Electricidade) opera em Portugal e Espanha e tem actualmente dois operadores de Mercado.

As especificações dos vários tipos de mercados ou geração diferem em termos de regime de controlo, tempo de resposta, tempo de despacho, termos de contrato e preço. Embora estes mercados difiram consoante o país ou região, as características das centrais de produção e os de serviços de sistema disponíveis no mercado englobam-se essencialmente nestas quatro categorias [15].

- Carga Base – é a produção ligada constantemente ao consumo mínimo ou médio que ocorre a tempo inteiro. Esta produção provém, normalmente, de centrais com baixo custo variável por kWh e a sua venda é usualmente realizada com contractos de longo prazo e geração constante.
- Ponta – é a geração de energia necessária nos períodos de maior consumo. Provem de centrais que funcionam durante pouco tempo. O tempo típico de uma chamada a uma central deste tipo é de 3 a 5 horas. Como estas centrais só funcionam algumas centenas de horas por ano, o preço por kWh é elevado.
- Reserva girante – é proveniente de geradores que funcionam a carga parcial, sincronizados com a rede e com rápida capacidade de resposta. São usados para colmatar perturbações na rede. O preço deste tipo de geração depende da energia produzida, disponibilidade e prontidão.
- Regulação – a regulação, também referida como controlo de geração automático, tem como objectivo o controlo de tensão e frequência de uma rede. O controlo de frequência é feito através do equilíbrio entre carga e geração, isto implica uma regulação em ambos os sentidos da potência activa. Este tipo de controlo tem uma duração de alguns minutos. O controlo de tensão realiza-se por injeção ou absorção de potência reactiva. Este é conseguido através da introdução de elementos capacitivos, indutivos ou por acção de electrónica.

## 6.1. Características do SEN

Na figura 8 é representado o diagrama de carga do dia 11 de Janeiro de 2010, correspondente ao dia em que foi registada a potência máxima solicitada à rede, 9403 MW. A ponta em 2010 corresponde a um acréscimo de 186 MW à registada no ano anterior, 9217 MW. Em 2011, e, segundo os dados disponíveis até à data, é de 9192 MW – dia 24 de Janeiro (decréscimo de 25 MW).

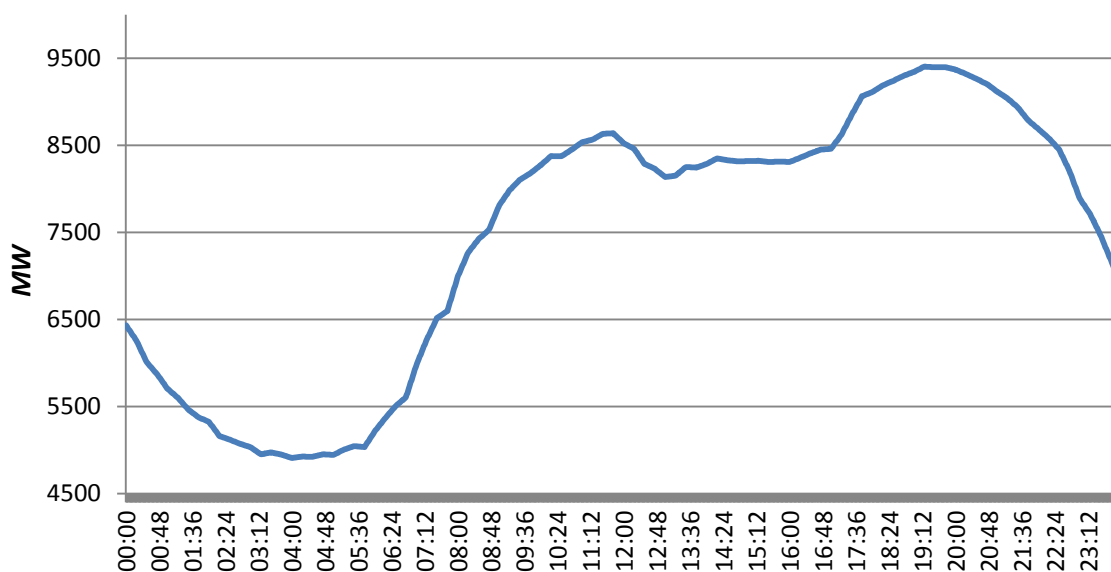


Figura 8 – Diagrama de carga de 11 de Janeiro de 2010 [8]

Na figura 9 são indicados os diagramas de carga médios nas diferentes épocas do ano: Primavera, Verão, Outono e Inverno. A média foi calculada somando todos os dias de cada estação. Verifica-se que os níveis de potência médios requisitados à rede sofrem grandes variações durante o ano e são típicos em cada estação do ano.



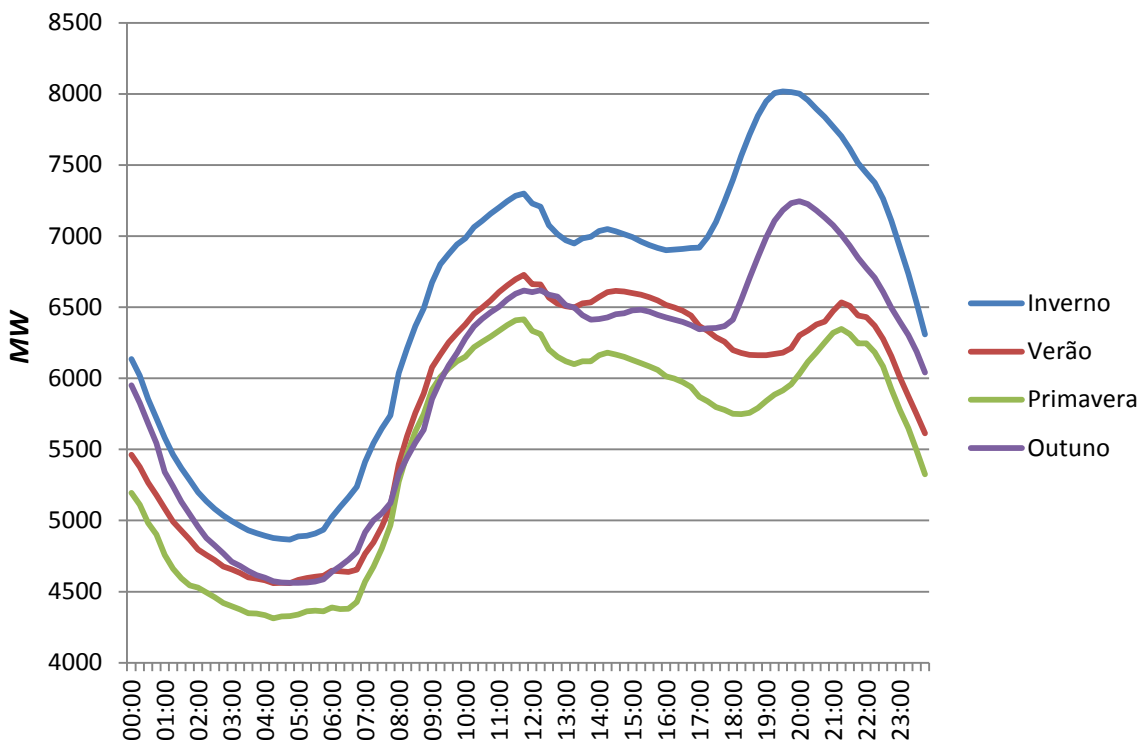


Figura 9 – Diagramas de carga médios de cada estação em 2010 [8]

Para a mesma hora e para épocas diferentes, o consumo pode ter uma variação até 3 GW e, analisando o dia de ponta máxima (24 de Janeiro de 2010), chega-se a uma diferença de 4 GW entre o vazio e a ponta. Isto reflecte a necessidade de previsão dos diagramas de carga de modo a planear a mobilização dos meios necessários de produção, a cada momento, em prol do bom funcionamento do sistema. Os equipamentos de climatização têm uma grande influência nos diagramas de carga e é por essa razão os maiores consumos são registados no Inverno.

Tabela 6 – Potência instalada em Portugal por fonte de energia [8]

| [MW]                     | 2010  |
|--------------------------|-------|
| Potência Instalada Total | 17920 |
| Potência Instalada PRO   | 11985 |
| Centrais Hidroeléctricas | 4578  |
| Centrais Hidroeléctricas | 7407  |
| Carvão                   | 1756  |
| Gás natural              | 3829  |
| Fuel / Gás natural       | 1657  |
| Gasóleo                  | 165   |
| Potência Instalada PRE   | 5935  |
| Produtores Térmicos      | 1698  |
| Produtores Hidráulicos   | 410   |
| Produtores Eólicos       | 3705  |
| Produtores Fotovoltaicos | 122   |

O potencial dos veículos eléctricos, como um meio de redução das emissões e da dependência dos combustíveis fósseis, centra-se nas variações diárias e sazonais do consumo. Isto significa que as baterias podem ser carregadas durante as horas de vazio, quando existe bastante geração disponível sem necessidade de expansão d sistema produtor. Nos períodos de vazio, o consumo do SEN é baixo e pode ser consideravelmente aumentado sem causar grandes constrangimentos ao sistema. Para além disto, as baterias dos veículos eléctricos podem ser carregadas aproveitando excessos de produção proveniente de fontes de energia menos poluentes ajudando a cumprir as metas ambientais.

Na tabela 6 indica-se a potência total instalada em Portugal no ano de 2010 que perfaz 17920 MW. Existe ainda a interligação com Espanha que nesse ano apresentou uma capacidade média para importação de 1261 MW e para exportação de 1165 MW.

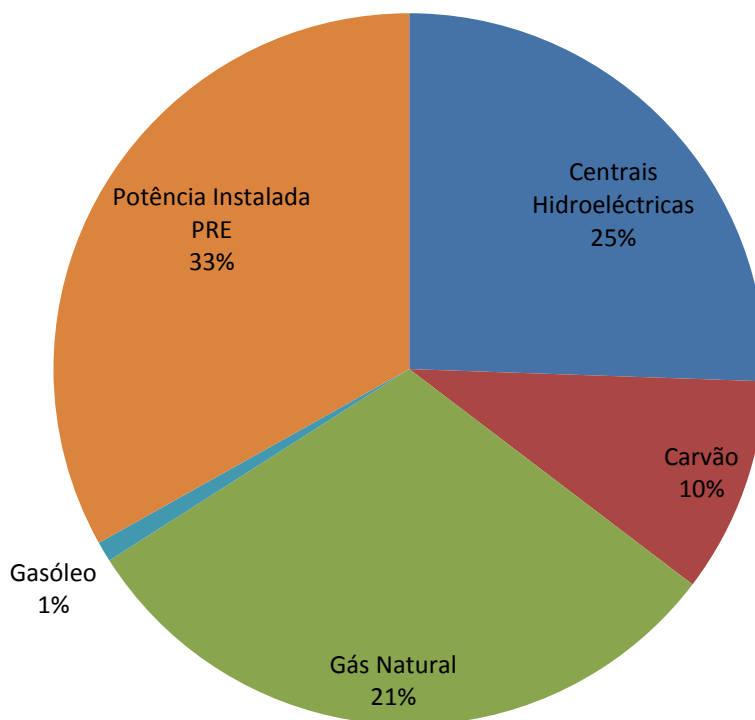


Figura 10 – Contributo de cada fonte no consumo em 2010 [8]

Na figura 9 representa-se a distribuição de produção por fonte de energia em 2010, para satisfazer um consumo final total de 52,2 TWh. Portugal apresenta um mix energético diversificado, 33% da energia fornecida teve origem em PRE e o peso somado do carvão e gás natural foi idêntico, cerca de 31%. É um país maioritariamente importador, sobretudo nos períodos de vazio, devido ao custo marginal da energia nuclear em Espanha.

## **6.2. Renováveis em Portugal**

As fontes de energia renovável, pela sua disponibilidade, pelo seu carácter endógeno e disperso, assumem um lugar de destaque nas políticas nacionais para o sector energético. Para um país que não dispõe de recursos fósseis conhecidos, o papel das fontes renováveis é essencial para reforçar os níveis de segurança de abastecimento, promove a diversificação do mix energético e contribui para aumentar a sustentabilidade associada à produção, transporte e consumo de energia [12].

Nos últimos anos tem-se vindo a verificar um forte desenvolvimento da energia eólica em Portugal, tendo a potência instalada aumentado dos 506 MW em 2004 para cerca de 3705 MW em 2010. Esta progressão deverá continuar, prevendo-se que até 2012 sejam instalados 2000 MW adicionais, resultantes da capacidade atribuída através de concursos. Prevê-se ainda que até 2020, se encontrem instalados 6900 MW de potência, sendo 50 MW referentes a eólico offshore [12].

Em relação à energia fotovoltaica, é reconhecido o seu potencial devido à disponibilidade deste recurso no país e será uma aposta durante próxima década.

## **6.3. Política Energética Nacional**

Em 2009, o governo português iniciou esforços para promover o desenvolvimento da mobilidade eléctrica. Para isso definiu um Programa para a Mobilidade Eléctrica que estabeleceu com as seguintes fases:

- Fase piloto: esta fase já se encontra em curso e inclui a construção de uma infra-estrutura mínima experimental de mobilidade eléctrica a nível nacional, abrangendo 25 municípios e os principais eixos viários, a qual permitirá testar soluções de carregamento. Esta fase deverá ser concluída até ao final de 2011;

- Fase de crescimento: que terá início em 2012 e implicará o alargamento da infra-estrutura experimental, com adopção das soluções testadas com sucesso na fase piloto, em particular no domínio da rede de carregamento;
- Fase de consolidação: terá início logo que a procura de veículos eléctricos atinja um nível sustentado e estejam criadas as condições para a introdução de um sistema bidireccional de interligação entre VE e rede eléctrica (conceito de V2G – Vehicle to Grid).

Adicionalmente o governo desenvolveu uma série de incentivos para promover a penetração do mercado de automóveis eléctricos, estes são:

- Atribuição de um subsídio de 5000 euros, aos primeiros 5000 particulares que adquiram automóvel eléctrico, podendo esse incentivo ser acrescido de mais 1500 euros no caso de se proceder ao abate de automóvel de combustão interna. De momento, a forma de como este incentivo será dado, está a ser objecto de estudo. Este poderá vir a ser dado de forma directa ao comprador ou descontado no momento da compra;
- Redução de 50% em sede de IRC, em aquisições de frotas de veículos eléctricos pelas empresas;
- Dedução fiscal para pessoas singulares: Dedução de 30% do preço do VE, até 796 €, com ou sem bateria, em sede de IRS (não aplicável aos VEHs);
- Isenção tanto de Imposto sobre Veículos como de Imposto Único de Circulação;
- Electricidade gratuita durante 6 meses. Durante este período, a EDP vai disponibilizar energia gratuita a todos os automobilistas que possuem carros totalmente eléctricos;
- Promoção da prioridade à circulação de veículos eléctricos em vias de alta ocupação e de estacionamentos preferenciais nas cidades;
- Medidas estruturais de apoio ao veículo eléctrico:
- Criação de 320 postos públicos de carregamento em 2010, e de 1350 até ao final de 2011;
- Compra anual de 20% de automóveis eléctricos na renovação da frota da Administração Central;
- Criação de Plataforma de investigação, desenvolvimento e teste de Sistemas de Gestão da Mobilidade Eléctrica;

- Garantir que novos edifícios tenham obrigatoriamente pré-instalação de postos de abastecimento para carregamento dos carros eléctricos nas garagens [2].

Os compromissos assumidos por Portugal no Pacote Energia-Clima visam o desenvolvimento dos mercados de energias renováveis, a eficiência energética e a redução de gases de efeito de estufa. Mais concretamente:

- Reduzir dependência energética face ao exterior para 74% em 2020;
- Garantir que em 2020 60% da energia eléctrica produzida seja de fontes renováveis (31% do consumo de energia final), bem como uma redução em 20% do consumo final);
- Reduzir, em 25%, o saldo importador energético com a energia produzida em base de fontes endógenas.

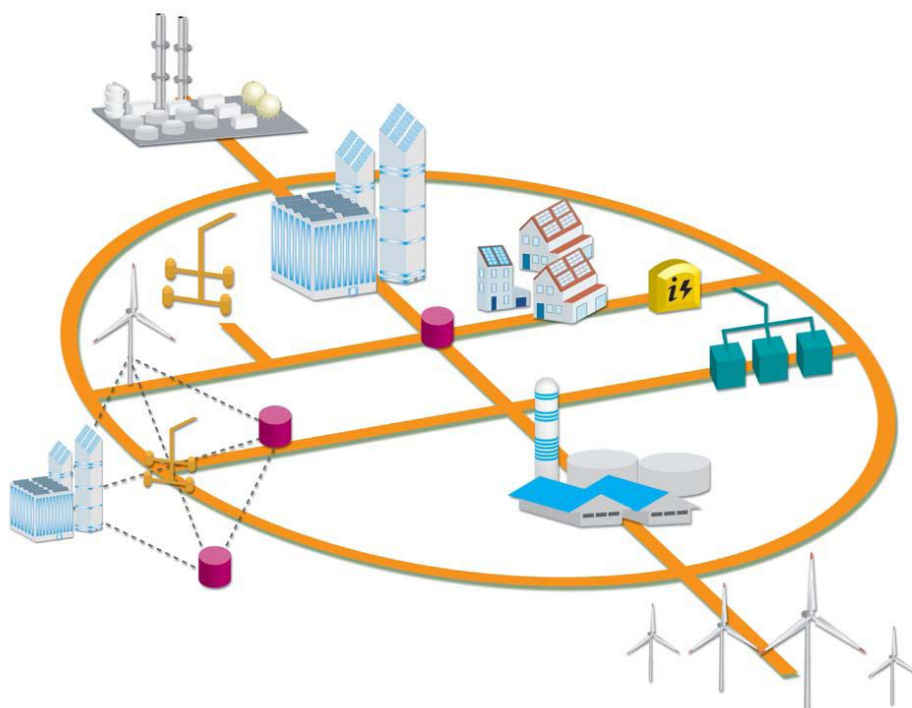
Todos estes incentivos e compromissos demonstram de forma patente a aposta séria de diversos agentes, a nível nacional e internacional, no conceito de mobilidade eléctrica [3].

## 7. Redes Inteligentes

### 7.1. Conceitos e definições

Os sistemas eléctricos Europeus e os seus mercados estão a ser alvo de uma grande transformação, movida pela necessidade de fornecer energia eléctrica mais económica, mais fiável e de forma mais ecológica e eficiente, assegurando o seu abastecimento no futuro.

A liberalização dos mercados de energia, o aumento do uso de fontes de energia renovável associadas a geração distribuída e as novas tecnologias para a geração e distribuição de energia eléctrica, são algumas das mudanças a que os produtores, distribuidores e consumidores de energia eléctrica se deparam.



**Figura 11 – Rede eléctrica descentralizada**

Todas estas mudanças indicam que os actuais sistemas de energia eléctrica estão a evoluir de uma estrutura centralizada para uma mais descentralizada e inteligente, as Smart Grids (SG).

A operação do sistema vai conter um misto de geradores centrais e distribuídos. O controlo dos sistemas distribuídos podem ser agregados para formar centrais eléctricas “virtuais”, por forma a facilitar a sua integração, quer no sistema físico, quer no mercado de energia. [27]

### **7.1.1. Capacidade de auto avaliação e análise**

No conceito de SG a rede eléctrica tem a capacidade de se auto avaliar e analisar. Esta capacidade permite que o sistema dê resposta a problemas mais complexos e a uma velocidade superior ao da intervenção humana. A rede tem a capacidade de se “imunizar” melhorando assim a fiabilidade, segurança, acessibilidade, qualidade da energia e eficiência da rede.

Uma rede com as características acima referidas consegue minimizar as quebras do serviço, através da implementação de tecnologias modernas de aquisição de dados e execução de algoritmos de suporte de decisão. Estes componentes e algoritmos permitem evitar ou limitar interrupções, controlar fluxos de potência dinamicamente e um restauro de serviço mais rápido.

A estimação probabilística de risco, baseada num sistema de dados em tempo real, vai identificar o equipamento, central eléctrica ou linhas de transmissão com a maior probabilidade de falhar. Estas análises de contingência em tempo real vão determinar a “saúde” global do sistema, despoletar avisos antecipados de componentes que possam falhar e identificar a necessidade de investigação e acção.

A comunicação com aparelhos locais ou remotos vai ajudar a analisar as falhas como: tensão baixa, baixa qualidade de potência, sobrecarga e outras condições indesejáveis para o sistema. Depois destas análises são postos em acção processos de controlo, que podem ser tanto automáticos como manuais, dependendo das necessidades e análise efectuada.

### **7.1.2. Participação do consumidor**

A participação activa dos consumidores no mercado de energia traz benefícios tangíveis para a rede e para o ambiente e vão baixar o custo com o transporte de energia. Nas SG, os consumidores bem informados vão poder modificar o seu consumo baseando-se na capacidade do sistema eléctrico para satisfazer as necessidades dos

consumidores e na flexibilidade que os consumidores apresentam para as suas necessidades.

Programas de Demand-Response (DR) vão estimular os consumidores a flexibilizarem as suas necessidades tirando partido de ofertas de preços de energia variáveis que se aproveitadas poderão conduzir a uma redução da factura energética do consumidor. A capacidade em reduzir ou deslocar os consumos para períodos menos onerados tem como consequência a redução da ponta do sistema, permitindo minimizar os gastos e despesas de operação aos produtores e distribuidores de energia eléctrica. Enquanto proporciona benefícios substanciais em termos ambientais, reduzindo perdas nas linhas e permitindo um maior factor de carga, ou seja, a funcionarem num regime mais próximo da capacidade instalada e assim, tirando partido do investimento feito.

Muitos dos produtos “plug-in” de grande acumulação energética, tais como os VE, vão ajudar a melhorar o factor de carga e ajudar em muito a reduzir as emissões prejudiciais ao ambiente.

### **7.1.3. Acomodação de geração e de armazenamento de energia**

As SG devem ser capazes de incorporar várias formas de geração de energia eléctrica e de pontos de armazenamento, de uma forma semelhante ao modo simplificado análogo “Plug-and-Play” nos sistemas informáticos.

O estabelecimento de normas de interligação será a chave para proporcionar uma rede com uma gama variada de geração e armazenamento. Várias capacidades de produção de energia eléctrica vão estar interligadas a todos os níveis de tensão, entre os quais, se encontrarão recursos energéticos distribuídos tais como fotovoltaico, eólico, baterias, VE e células de combustível. As SG vão tornar a instalação de aparelhos de geração e armazenamento de energia mais fáceis aos utilizadores. No entanto, as grandes centrais eléctricas, incluindo as amigas do ambiente, tais como parques solares e eólicos e centrais nucleares, vão continuar a desempenhar um papel muito importante nas SG.

### **7.1.4. Operação eficientemente e optimização de recursos**

A gestão dos recursos das SG são modeladas para proporcionar as funcionalidades desejadas ao menor custo. Isto não implica que os seus recursos sejam



levados ao limite continuamente, mas que serão geridos eficientemente para garantirem que as necessidades energéticas são satisfeitas.

Melhorar os factores de potência e diminuir as perdas vão ser os aspectos essenciais para a boa optimização de recursos. Adicionalmente, tecnologias de informação avançadas vão fornecer uma vasta quantidade de dados e informação que serão integrados nos sistemas pré-existentes de análise, habilitando os produtores/distribuidores de energia a optimizar as suas operações e processos de manutenção.

Esta informação vai oferecer aos engenheiros e *designers* uma nova visão de como melhor investir na rede de forma a melhorá-la. Como resultado, os grandes investimentos e operações de fundo na rede vão poder actuar de forma mais cirúrgica e económica.

## 8. Energy Box

### 8.1. Definição

Como forma de maximizar a eficiência das SG de distribuição de energia, surge o conceito de Energy Box (EB).

A EB é um equipamento ou software de gestão de energia consistido por um banco de algoritmos que permitem coordenar o uso da electricidade de pequenos consumidores, permitindo assim um uso flexível de electricidade.

Este controlador pretende constituir-se como uma importante ferramenta de controlo de carga, aplicável a residências e pequenos edifícios comerciais, facilitando a parametrização de diferentes módulos de controlo de diferentes cargas [28, 29, 30].

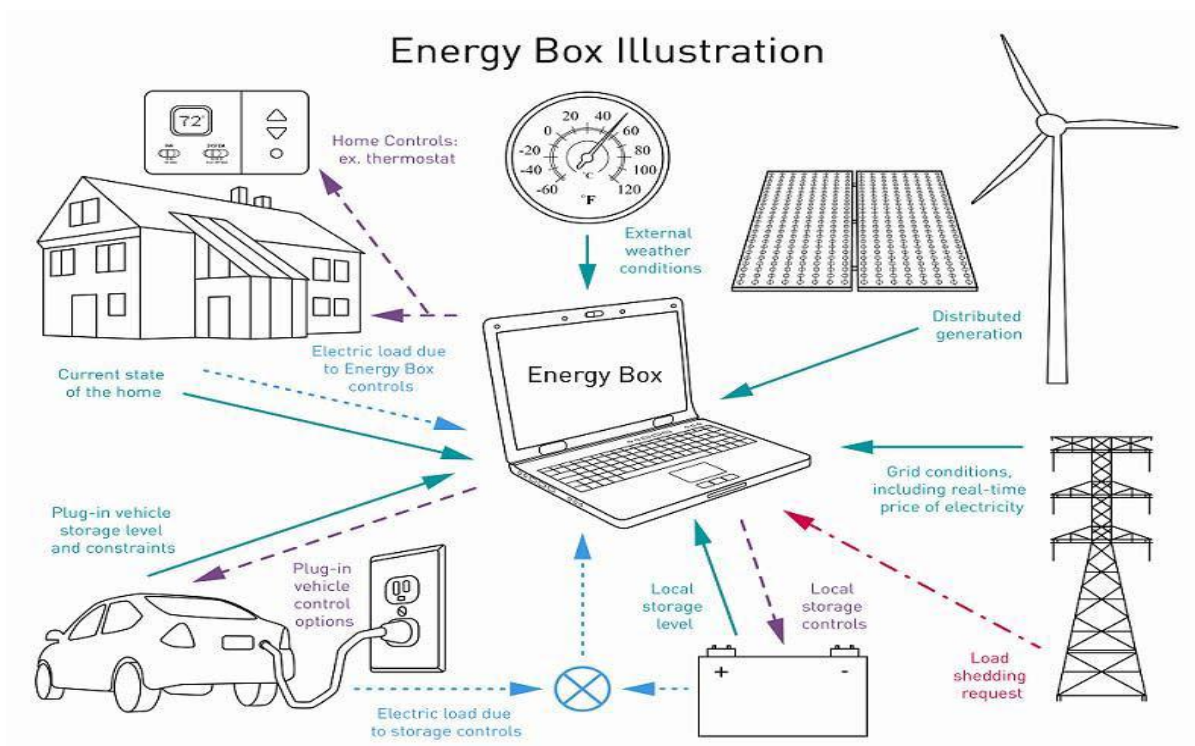


Figura 12 – Conceito de Energy Box [29]

### 8.2. Arquitectura

A EB pode ser vista como um aparelho *standalone* que comunica com diferentes equipamentos, tais como *smart-meters*, iluminação, máquinas de lavar, carros eléctricos.

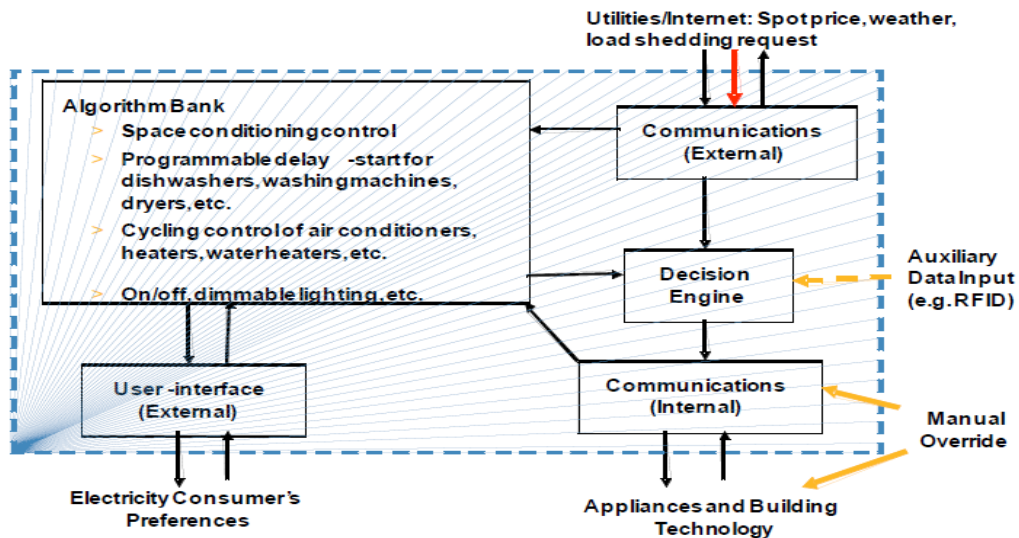


Figura 13 – Arquitectura da Energy Box [28]

As componentes principais da EB são:

- Interface com o utilizador – componente principal do software, onde o utilizador vai programar as suas preferências e consultar as diversas tarefas disponibilizadas pelo sistema.
- Comunicações Internas – A EB vai necessitar de comunicar com os aparelhos e sensores espalhados pela casa. Estes últimos vão poder comunicar o seu estado (ex.: temperatura, luminosidade, ligado/desligado) para a EB os poder gerir de forma eficiente.
- Comunicações Externas – Este bloco serve para comunicar com entidades externas à casa, tais como a rede eléctrica, permitindo assim a implementação de políticas de *real-time-pricing*, e serviços disponibilizados através da internet (ex.: serviços de previsão atmosférica).
- Banco de Algoritmos – Depois de recolhida toda a informação dos blocos anteriores, esta é fornecida ao banco de algoritmos para que este possa elaborar o plano de acção para a gestão dos aparelhos sob controlo. Devido à estrutura modular da EB, espera-se que este banco consiga satisfazer todas as necessidades dos diferentes tipos de utilizadores.

- Motor de Decisão – Este bloco é responsável por saber pela coordenação dos sinais de controlo que são enviados para os aparelhos domésticos. O motor de decisão pode operar em dois modos distintos: modo de controlo pelo utilizador, modo de controlo pela rede. No primeiro modo o motor de decisão envia para os aparelhos os sinais determinados pelo banco de algoritmos, já no segundo, tal como o nome indica, os sinais que são enviados resultam das necessidades da rede eléctrica. Este modo pode ser usado em situações de emergência da rede.

### **8.3. Função da Energy Box**

Como já foi referido anteriormente a Energy Box pode servir de ponte de comunicação entre o operador da rede eléctrica e o consumidor final. Para isso a EB vai recolher as condições, definidas pelo utilizador, em que se pretende carregar o veículo eléctrico e comunicá-las à rede. Depois da comunicação, o controlo do carregamento do veículo é transferido para o operador da rede e a EB limita-se a cumprir os sinais de controlo enviadas pela rede, excepto quando a ligação é interrompida do lado do utilizador.

As informações necessárias ao operador de rede são:

- Hora de Saída Prevista (HSP) – é a hora, definida pelo utilizador da EB, em que o veículo eléctrico vai ser desligado da rede.
- Tempo de Carregamento (TdC) – é o tempo necessário para carregar a bateria do veículo. Este valor pode ser calculado no banco de algoritmos da EB através do conhecimento do SoC e da potência de alimentação, ou pode ser uma informação disponibilizada pelo próprio VE.
- Tipo de Tarifário (TT) – esta informação vai servir para reconhecer aqueles clientes que querem ter uma prioridade inicial superior aos restantes clientes da rede aquando da sua ligação, isto garante que o seu carro vai ser dos primeiros a ser servido. No âmbito desta tese consideram-se dois tipos de contrato: um contrato Premium em que se considera que o consumidor paga uma taxa suplementar sobre o seu contrato normal, o que faz com que a rede eléctrica garanta que o veículo é carregado na totalidade em detrimento de outros; e um contrato Normal sem quaisquer regalias em comparação com outros clientes.

As preferências de carregamento são pré processadas pela EB antes de serem apresentadas ao utilizador. Esta vai comunicar com o veículo e determinar o SoC da sua bateria e, com a informação adicional do tipo de alimentação disponível na habitação, vai definir o TdC necessário para carregar a bateria na totalidade.

Quando o utilizador vai programar a percentagem de carga desejada a EB apresenta ao utilizador o TdC necessário, para que este escolha uma HSP para além do TdC. Isto garante que o algoritmo de controlo de cargas não receba dados incongruentes, tais como TdC superior à HSP.

Este interface pode ser feito através de um interface de uma unidade central de processamento ou usando plataformas de serviços de internet, ficando, nesta última, disponível em todos os aparelhos com ligação à internet.

## 9. Algoritmo de Controlo de Cargas

O objectivo principal deste algoritmo é o de alocar a carga dos VEs para as horas de menor consumo energético. No entanto o sistema deve garantir energia disponível de modo a poder servir todos os veículos. Caso este objectivo seja inatingível por alguma razão, deve garantir que os carros sejam servidos com equidade.

### 9.1. Definição de recursos

A disponibilidade dos recursos para o carregamento dos veículos eléctricos é prevista pelo operador em janelas de 12 horas. Esta previsão é ilustrada na figura seguinte.

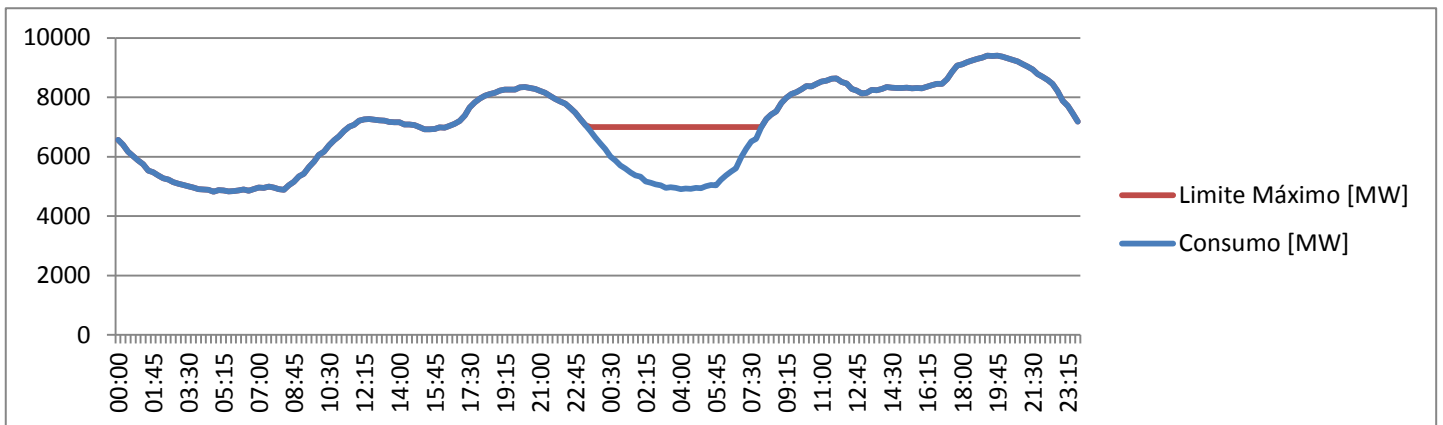
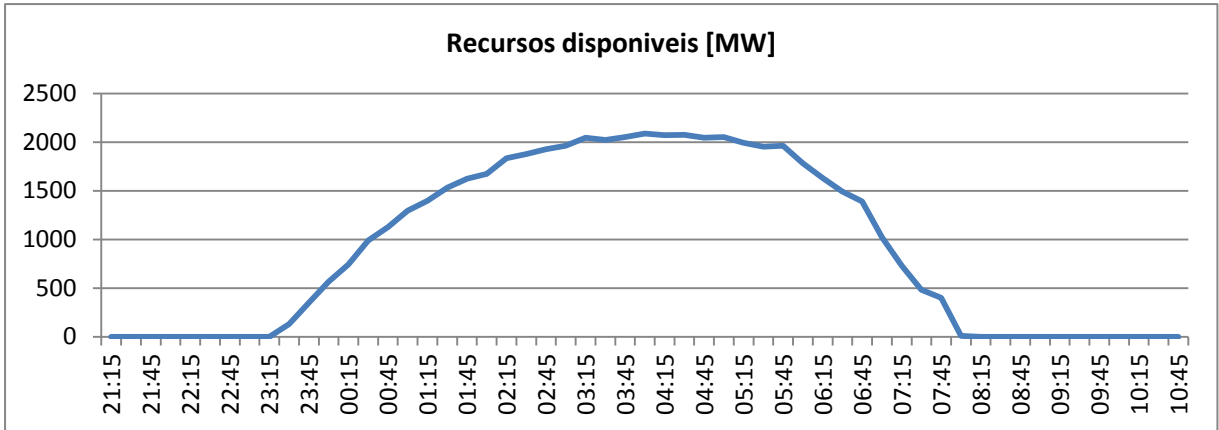


Figura 14 – Definição de recursos

Como podemos ver nas figuras 14 e 15 o operador estabelece um limite máximo de produção de energia eléctrica (por exemplo, 7000 MW) e determina a disponibilidade eléctrica para carregar os veículos em função do “vale” criado pela diferença entre o limite máximo e o consumo de energia. A figura 14 mostra-nos os valores obtidos para este exemplo. A disponibilidade máxima pode ser variável, em função da produção intermitente que estiver disponível (Produção eólica).



**Figura 15 – Exemplo de recursos disponíveis**

Como pode ser visto, pelas especificações deste exemplo, a energia disponível para os VE só poderiam neste caso começar a ser carregados a partir das 23 horas e 15 minutos, até às 8 horas.

## **9.2. O Veículo Eléctrico na Rede**

Considera-se que para o operador de rede o VE vai ser visto como uma carga que necessita de ser alimentada a uma potência e um período de tempo predeterminado.

Como vimos na secção 8.3, o veículo é caracterizado por um número de identificação único, uma hora de saída (disponível para o utilizador usar), um tempo de carregamento mínimo e um tipo de contrato. Esta informação é transmitida ao controlador de rede assim que o veículo é ligado e a Energy Box reconhece que o veículo está pronto para ser carregado.

## **9.3. Algoritmo de controlo**

### **9.3.1. Arquitectura**

O algoritmo proposto usa internamente um conjunto de listas que mantêm a informação acerca dos estados dos VE, a arquitectura é a seguinte:

- Lista de Espera – tal como o nome indica, esta lista serve para guardar os veículos que deram entrada no sistema e que, por não haver recursos disponíveis, estão à espera de ser servidos.

- Lista de Serviço – quando o algoritmo de controlo envia um sinal de início de carregamento a um VE, este último vai ser colocada nesta lista e lá permanecerá enquanto existirem recursos suficientes ou o seu TdC tenha chegado ao fim.
- Lista de Saída – Esta lista serve para guardar informações de histórico. Sempre que um carro acaba de ser carregado, ou abandona a rede eléctrica, as suas informações de hora de entrada, hora de saída e tempo que esteve a carregar vão ser guardadas nesta lista.

### **9.3.2. Descrição de funcionamento**

Depois de determinada a previsão dos recursos disponíveis para carregar os VE, o algoritmo vai ficar à espera que estes últimos comuniquem o seu estado ao centro de controlo.

Assim que um veículo está disponível para carregar, o algoritmo atribui-lhe a sua prioridade e coloca-o primeiro na lista de espera para processamento posterior. Esta prioridade é determinada pela diferença entre a HPS e a hora actual para os veículos que tenham um tarifário normal, quanto menor a diferença maior a prioridade. No caso dos veículos com tarifário premium, esta prioridade vai ser máxima, isto quer dizer que a diferença HPS-hora actual vai ser zero. O sistema vai identificar este veículo como se fosse um dos que está no limite do tempo necessário para que consiga atingir a carga desejada.

Sempre que existam recursos disponíveis para o carregamento dos VE o algoritmo vai percorrer a lista de espera, ordenada pela ordem de prioridades dos VE (do mais para o menos prioritário), e vai servir os VE de acordo com a sua prioridade até esgotar a sua potência disponível, colocando-os numa lista de serviço e atribuindo-lhe um tempo mínimo de carregamento em que o carro não pode ser desligado da rede. Este procedimento ocorre uma vez por minuto.

Antes do sistema alocar recursos a um veículo, correrá duas simulações: uma para determinar se o veículo não interrompe o carregamento durante o tempo mínimo de segurança; e uma simulação do processo de carregamento para averiguar se o sistema consegue servir todos os carros ligados à rede nesse instante sem violar as restrições temporais definidas pelos utilizadores e enviadas pelas EB ao gestor do sistema



Surtem três cenários possíveis:

- O sistema dá uma resposta satisfatória às duas simulações e o processo continua.
- O sistema dá uma resposta negativa à primeira simulação mas dá uma resposta positiva à segunda. Nesta situação o sistema de controlo prevê que os recursos são suficientes, mas por circunstâncias momentâneas o sistema não pode alocar mais recursos sem violar o tempo mínimo de carregamento. Nesta situação o processo continua, mas sem alocar mais recursos.
- Independentemente da resposta da primeira simulação, o sistema dá uma resposta negativa à segunda simulação. Nesta situação o sistema vai ter de tomar uma de duas decisões: ou aumenta a produção de energia para as necessidades; ou reduz o TdC de todos os veículos que tenham contrato normal e se em serviço ou em espera. A decisão vai depender se o sistema tem ou não capacidade de aumentar a produção de energia eléctrica.

A cada minuto, o sistema corre sub-rotina, com o intuito de:

- Actualizar as prioridades dos veículos. Prioridade esta que depende da diferença entre a HSP e a hora actual, quanto maior esta diferença menor será a prioridade do VE.
- Verificar se existem veículos totalmente carregados e prontos a serem desligados da rede. Nesta situação, os veículos vão sair da lista de serviço e vão ser colocados na lista final.
- Verificar se houve diminuição dos recursos disponíveis para a quantidade de veículos que está a servir. Esta situação é muito importante para garantir a estabilidade do sistema eléctrico. Caso os recursos não sejam suficientes, o sistema de controlo vai ter que desligar alguns veículos da rede. Este procedimento desliga os veículos não premium que tenham menor prioridade em primeiro lugar. Se mesmo assim o sistema continuar a não ter recursos suficientes, este vai desligar os veículos premium que estejam ligados à rede há mais tempo, ordenados pela HSP (maior HSP fica em primeiro).

A figuras seguintes descrevem o sistema o adoptado.

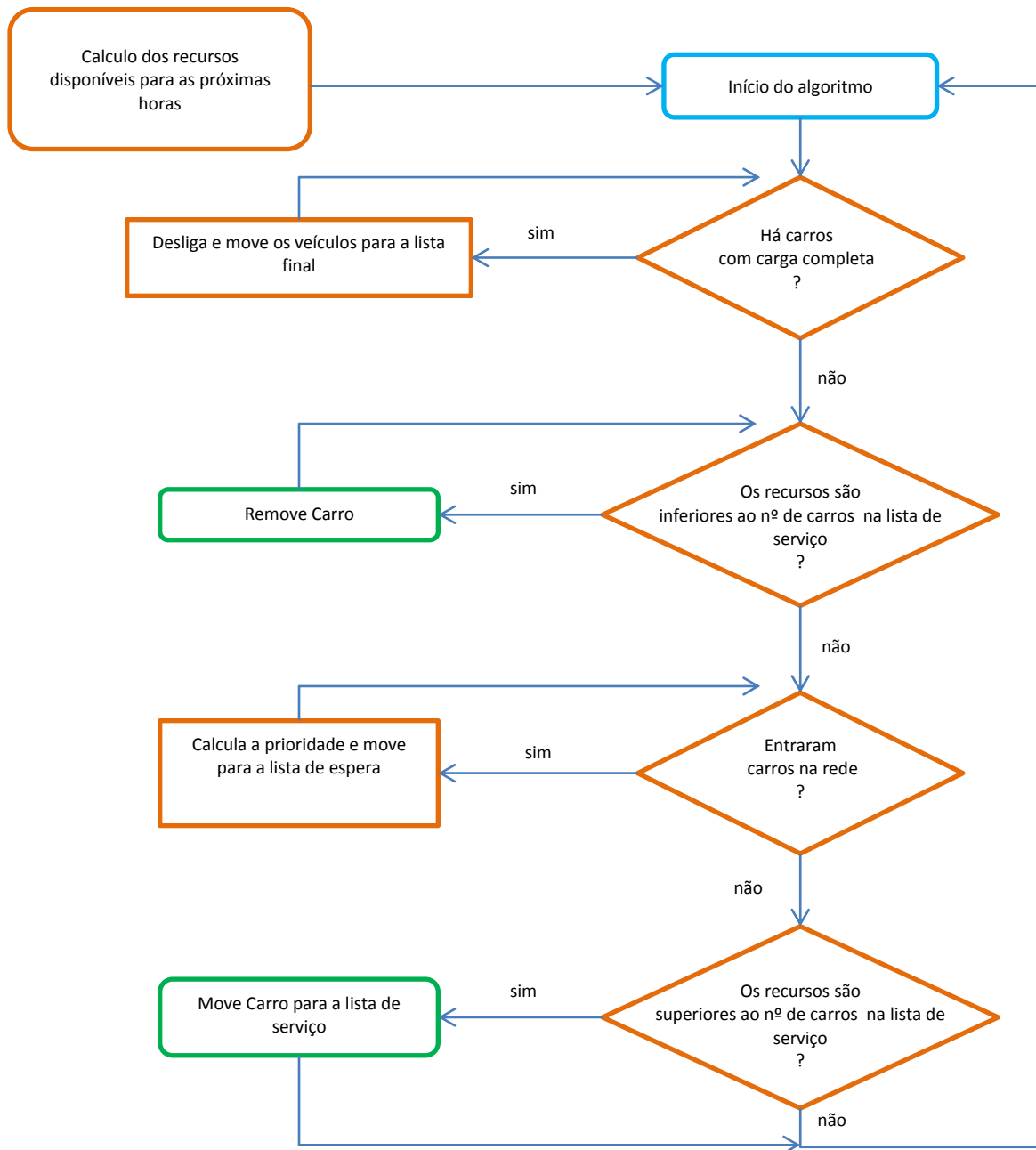


Figura 16 – Algoritmo Principal

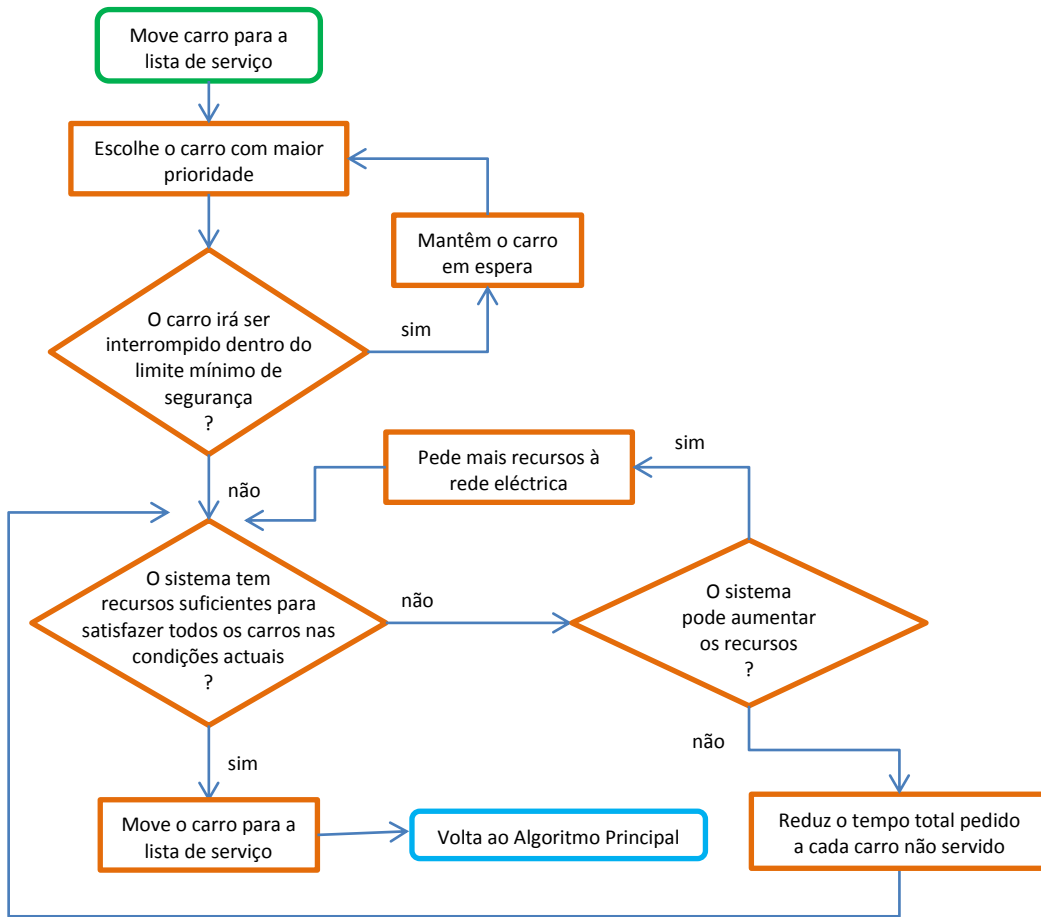


Figura 17 – Sub-rotina *Move carro para lista de serviço*

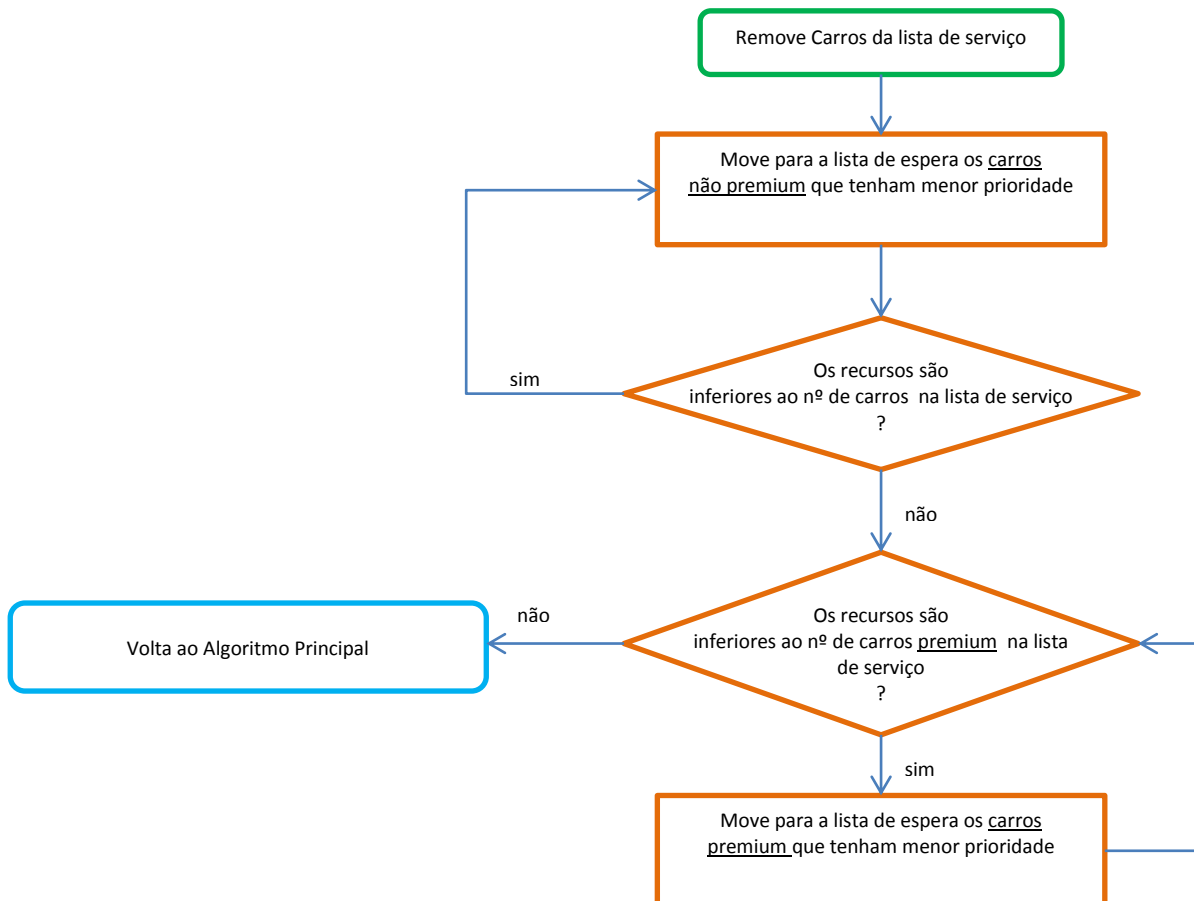


Figura 18 – Sub-rotina *Remove carro para lista de serviço*

## 10. Estudo de caso

### 10.1. Definição de estudo de caso

As características dos veículos considerados nesta tese são apresentadas na seguinte tabela.

Tabela 7 – Características dos veículos usados na simulação: Nissan Leaf; Opel Ampera [10, 11]

|                          |          | Nissan Leaf          | Opel Ampera          |
|--------------------------|----------|----------------------|----------------------|
| <b>Tipo</b>              |          | VEP                  | VEHP                 |
| <b>Motor Eléctrico</b>   | Tipo     | AC Síncrono          | AC Síncrono          |
|                          | Potência | 80 kW                | 111 kW               |
|                          | Binário  | 180 Nm               | 370 Nm               |
| <b>Gerador</b>           |          | ...                  | 55 kW                |
| <b>MCI</b>               | MCI      | ...                  | Gasolina             |
|                          | Potência | ...                  | 82 cv                |
| <b>Baterias</b>          | Tipo     | Iões de Lítio        | Iões de Lítio        |
|                          | Potência | +90 kW               | 130 a 140 kW         |
|                          | Energia  | 24 kWh               | 16 kWh               |
|                          | DOD      | 80%                  | 55%                  |
|                          | Garantia | 8 anos ou 160.000 km | 8 anos ou 160.000 km |
| <b>Velocidade Máxima</b> |          | +140 km/h            | 160 km/h             |
| <b>Autonomia</b>         |          | 160 km               | 60 km (modo CD)      |
| <b>Preço</b>             |          | 35.250 €             | 42.900 €             |

De modo a prolongar o tempo de vida das baterias, existe um SoC mínimo e máximo que determina efectivamente a energia disponível e usada na propulsão do veículo. Tendo em conta a tabela 7, a capacidade das baterias do Nissan Leaf e do Opel Ampera são de 24 e 16 kWh, respectivamente.

Quanto ao Nissan Leaf não existem valores entre que SoC é que a carga da bateria irá variar, mas foi anunciado um DoD aproximado de 80%, ou seja, a bateria tem cerca de 19,2 kWh disponíveis para uso.

O Opel Ampera está limitado (por software) a um SoC máximo de 85% e mínimo de 30%, resultando num DoD de 55%, ou seja, 8,8 kWh.

**Tabela 8 – Modo de alimentação considerados na dissertação**

| <b>Factor de potência</b> |                     |   |                                |  |
|---------------------------|---------------------|---|--------------------------------|--|
|                           | <b>0,95</b>         |   |                                |  |
| <b>Tensão [V]</b>         | <b>Corrente [A]</b> | <b>Potência entregue à Bateria [kW]</b> | <b>Potência na tomada [kW]</b> | <b>Potência no Centro Electroprodutor [kW]</b> |
| 230                       | 16                  | 3                                       | 3,5                            | 3,9  |
| 230                       | 32                  | 6,1                                     | 7                              | 7,7  |

O tempo de carregamento é calculado em função do SoC da bateria. A tabela seguinte apresenta os tempos de carregamento das baterias, nos diferentes modos de carregamento, quando as baterias estão sem carga, ou seja, o SoC é mínimo.

**Tabela 9 – Tempo de carregamento para a carga total**

| <b>Modo</b>     | <b>Modelo</b> | <b>Carga</b> | <b>1ª Hora</b> | <b>2ª Hora</b> | <b>3ª Hora</b> | <b>4ª Hora</b> | <b>5ª Hora</b> | <b>6ª Hora</b> | <b>7ª Hora</b> |
|-----------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>230V/16A</b> | Ampera        | 8,8 kW       | 3              | 3              | 2,8            |                |                |                |                |
| <b>230V/16A</b> | Leaf          | 19,2 kW      | 3              | 3              | 3              | 3              | 3              | 3              | 1,2            |
| <b>230V/32A</b> | Ampera        | 8,8 kW       | 6,1            | 2,7            |                |                |                |                |                |
| <b>230V/32A</b> | Leaf          | 19,2 kW      | 6,1            | 6,1            | 6,1            | 0,9            |                |                |                |

Para o caso de estudo em questão vai ser considerado que:

- Os VEHP (Opel Ampera) descarregam completamente a sua bateria. Isto deve-se ao facto destes veículos serem a melhor opção de compra para utilizadores que tenham que percorrer distâncias diárias que se encontrem no limite da autonomia dos VEP. Optando por este modelo de veículo, o utilizador fica sempre salvaguardado pelo MCI.
- Os VEP (Nissan Leaf) são descarregados parcialmente. Para se calcular a carga remanescente é necessário tem em conta diversos factores, tais como, estilo de condução, percurso efectuado, tráfego rodoviário e equipamentos eléctricos do veículo (ex.: ar condicionado, rádio). Embora não seja possível determinar com exactidão os perfis de condução destes veículos, podemos fazer uma estimativa tendo em conta a distância média percorrida em Portugal no percurso pendular casa-trabalho-casa. Considerando o tempo médio de 23,5 minutos na deslocação casa-trabalho a uma velocidade média mista de 70km/h, temos uma distância diária de 55 km no movimento pendular. Se tivermos em consideração que a eficiência do Nissan Leaf é de

0,2 kWh/km isto dá-nos um consumo de 11 kWh, ou seja, no final do dia o SoC mínimo é 8,2 kWh.

Na tabela seguinte são apresentados os tempos de carregamento tendo em conta as suposições nos parágrafos anteriores.

**Tabela 10 – Tempos de carregamento para condições de simulação**

| Modo     | Modelo | Carga  | 1ª Hora | 2ª Hora | 3ª Hora | 4ª Hora |
|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 230V/16A | Ampera | 8,8 kW | 3       | 3       | 2,8     |         |
| 230V/16A | Leaf   | 11 kW  | 3       | 3       | 3       | 2       |
| 230V/32A | Ampera | 8,8 kW | 6,1     | 2,7     |         |         |
| 230V/32A | Leaf   | 11 kW  | 6,1     | 4,9     |         |         |

## 10.2. Modelo Base

Para podermos ter uma ideia do impacto que o carregamento destas baterias representa no consumo eléctrico, vamos desenvolver uma simulação para dois cenários: Carregamento Não Controlado; e Carregamento em Horas de Vazio.

O diagrama de carga diário de controlo vai ser o do dia 11 de Janeiro de 2010 por se ter registado, nesse dia, a maior ponta de consumo.

A previsão para a penetração dos VE no parque automóvel português para 2020 é de cerca de 750.000 unidades [2]. Nos cenários apresentados nesta dissertação este facto representa uma percentagem de aproximadamente 14 % do número total de veículos. Este valor de crescimento de 14 % vai ser usado para estimar as penetrações para as décadas subsequentes. Os valores estimados para o número de unidades de VE até 2050 estão representados na tabela seguinte.

**Tabela 11 – Projecção do número de veículos eléctricos até 2050**

| Ano  | Veículos  | % VE | nº de VE  |
|------|-----------|------|-----------|
| 2010 | 4.870.212 |      |           |
| 2020 | 5.379.744 | 14   | 750.000   |
| 2030 | 5.942.584 | 28   | 1.663.924 |
| 2040 | 6.564.310 | 42   | 2.757.010 |
| 2050 | 7.251.082 | 56   | 4.060.606 |

### 10.2.1. Carregamento Não Controlado

Neste cenário supõe-se que todos os consumidores de energia têm um tarifário de tarifa simples e que, por não terem qualquer incentivo, começam o carregamento dos VE imediatamente assim que chegam a casa. Para a simulação vai ser usada uma distribuição normal de ponto central às 19h30 e desvio padrão de 22,5 minutos.

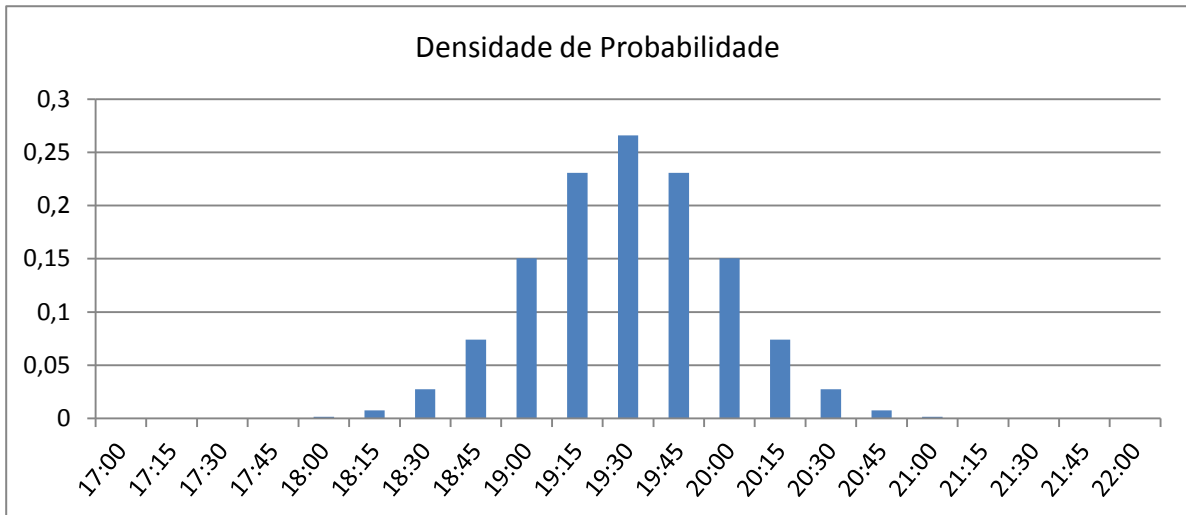


Figura 19 – Densidade de probabilidade Carregamento não controlado. Média = 19h30, Desvio Padrão = 1,5

Como podemos ver na figura 19, a hora em que a maior número de veículos começam a carregar as baterias é às 19h30. Isto corresponde à hora a em que a maioria das viagens trabalho-casa são terminadas.

### 10.2.1.1. Carregamento em Horas de Vazio

Neste cenário supõe-se que todos os consumidores de energia têm o tarifário bi-horário ou tri-horário (consultar anexo A.1) e que vão estar mais inclinados a programar o carregamento das baterias dos VE para as horas de vazio. Com uma forte incidência sobre os inícios das horas de vazio.

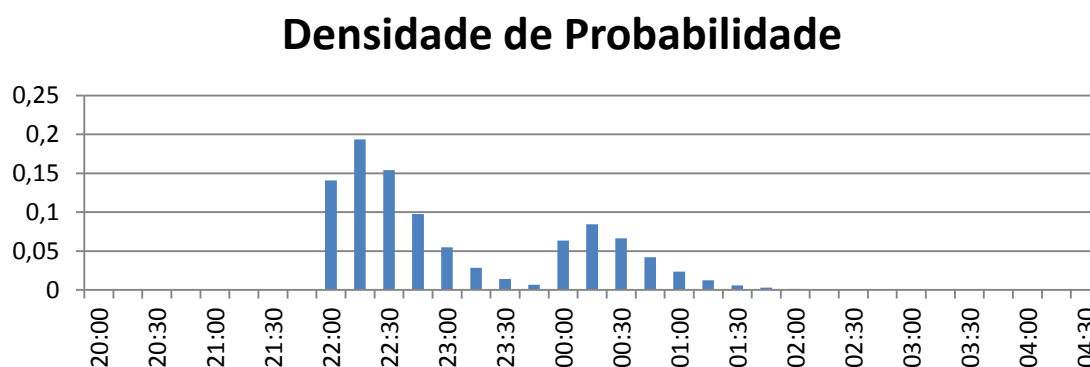


Figura 20 – Densidade de Probabilidade para as horas de vazio

As horas de vazio que vão ser consideradas são: das 22h00 às 8h00, para o tarifário bi-horário; e das 00h00 às 7h00, para o tarifário tri-horário. Como podemos ver no gráfico da figura 20, vão surgir dois picos do início do carregamento dos veículos, um pelas 22h00 e outro pelas 0h00. As densidades de probabilidade foram calculadas usando uma distribuição Gama com parâmetros  $\alpha = 2,9$  e  $\beta = 1$ , obtidos experimentalmente. Considerou-se adicionalmente que 70% dos carregamentos são feitos num regime bi-horário e 30% em tri-horário.

### 10.2.1.2. Resultados do Modelo Base

Como se pode ver nas figuras 22 e 23 a ponta resultante de consumo em ambos os casos é superior à ponta inicial de consumo.

Tabela 12 – Consumos máximos para o modelo base – carregamento não controlado

| Ponta Base [MW] | 9402  |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 2020  | 2030  | 2040  | 2050  |
| Ponta [MW]      | 11763 | 14742 | 18305 | 22553 |
| Aumento [MW]    | 2361  | 5339  | 8902  | 13151 |
| %               | 25%   | 57%   | 95%   | 140%  |

Face a estes resultados, torna-se imperativo o desenvolvimento de estratégias que permitam deslocar estas cargas para horas de vazio, por forma a adiar a necessidade



de investimento em novas infra-estruturas de geração de energia eléctrica para fazer face às necessidades do consumo.

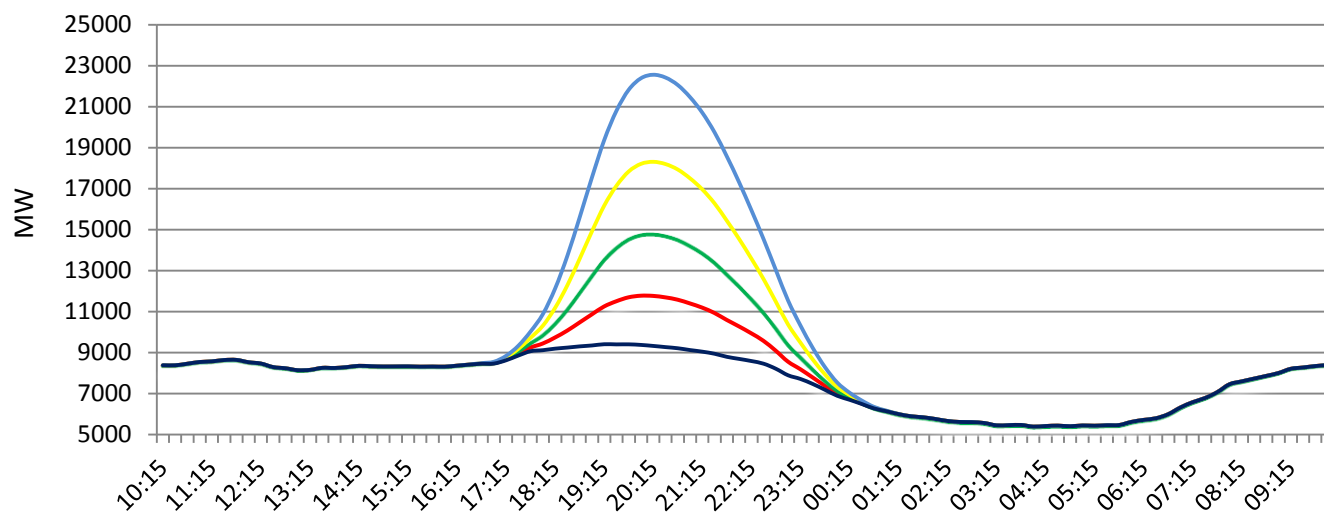


Figura 22 – Impacto do carregamento não controlado dos VE para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050

| Ponta Base [MW] | 9402,6   |          |          |         |
|-----------------|----------|----------|----------|---------|
|                 | 2020     | 2030     | 2040     | 2050    |
| Ponta [MW]      | 9795,272 | 11733,73 | 14188,37 | 17168,7 |
| Aumento [MW]    | 393      | 2331     | 4786     | 7766    |
| %               | 4%       | 25%      | 51%      | 83%     |

Tabela 13 – Consumos máximos para o modelo base – Carregamento em horas de vazio

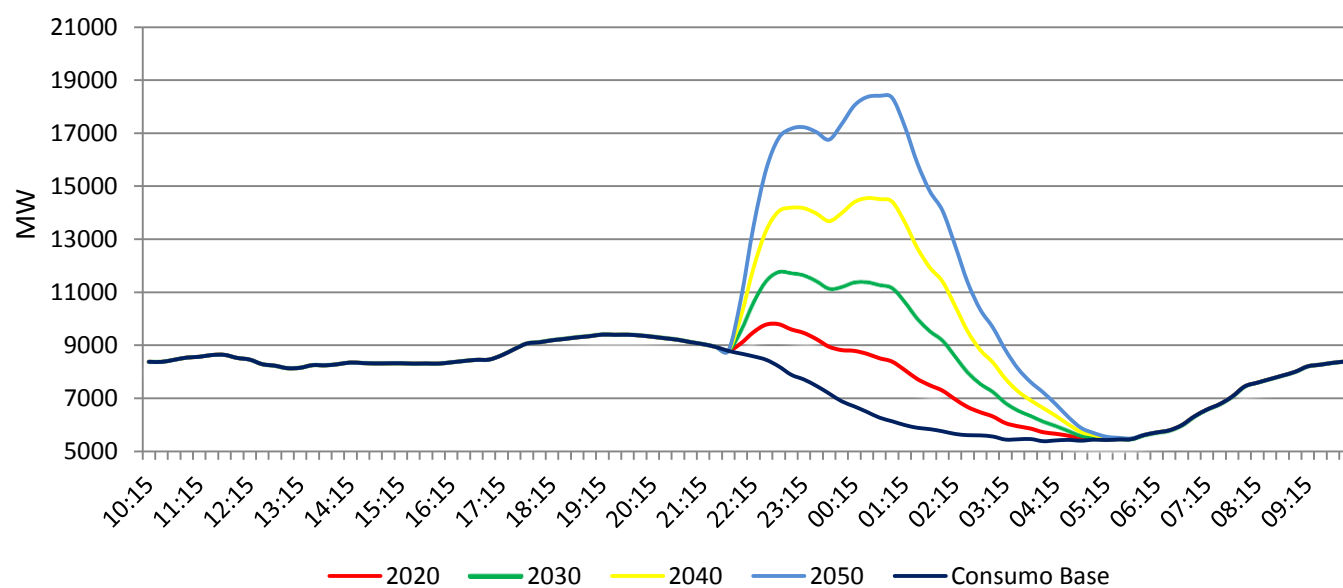


Figura 23 - Impacto do carregamento em horas de vazio dos VE para os anos de 2020, 2030, 2040, 2050

### 10.3. Modelo Controlado

Para testar o algoritmo de controlo desenvolvido, o carregamento de VE foi simulado num modelo de uma área residencial com o diagrama de carga apresentado na figura 24.

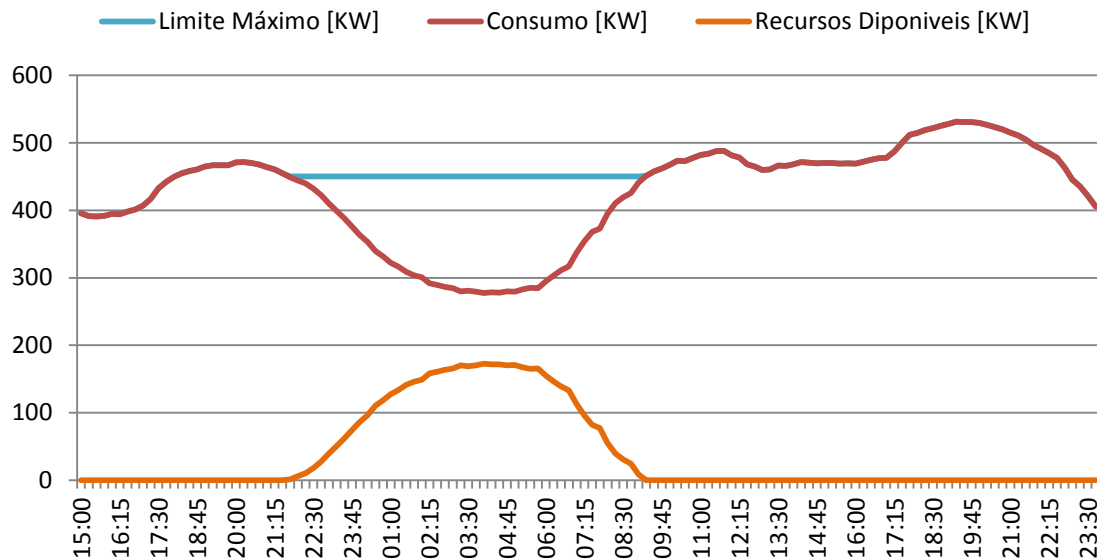


Figura 24 – Definição dos recursos disponíveis (Modelo controlado)

O diagrama de carga foi adaptado de um posto de transformação de 500 kVA, de uma zona residencial de 99 moradias [94]. Os recursos disponíveis estão representados na figura 24, estes representam o limite máximo de energia disponível, que para a simulação será de 450 kW.

São usados na simulação 100 VE com especificações de carregamento definidas na tabela 14.

Tabela 14 – Proporção de veículos usados na simulação do algoritmo

| Modo     | Modelo | Carga kW | % de cada modelo |
|----------|--------|----------|------------------|
| 230V/16A | Ampera | 8,8      | 36%              |
| 230V/16A | Leaf   | 11       | 64%              |

Os VE vão ser carregados através de uma tomada de 3,5 kW, pelo que os valores dos tempos de carregamento considerados vão ser semelhantes aos considerados para a simulação base (secção 11.2): 2 horas e 56 minutos para o VE Opel Ampera; e valores variáveis para o Nissan Leaf entre as 2 horas e as 4 horas.

As horas de chegada e de saída dos VE seguem a distribuição usada na secção 10.2.1, com pontos centrais de distribuição 19 horas e 30 minutos e 8 horas e 30 minutos, respectivamente.

Foram testados 2 cenários:

- Cenário 1: Neste cenário os recursos vão ser suficientes para satisfazer as necessidades de carregamento. O algoritmo vai começar com um limite máximo de previsão de consumo inferior ao estipulado e vai alocar novos recursos à medida que os VE vão entrando na rede e assim seja necessário.
- Cenário 2: Neste cenário são tidas em consideração algumas limitações de rede de indisponibilidade momentânea de energia. Pretendendo-se simular a resposta do algoritmo à intermitência da produção eólica, este será iniciado com um valor máximo de previsão de consumo, no limite das capacidades da rede, e durante a sua execução serão introduzidas falhas momentâneas da rede e reduções nos recursos disponíveis.

Em ambos os cenários é considerada a distinção entre clientes Premium e não Premium. Os horários de entrada e saída da rede dos VE são iguais para os dois cenários.

### 10.3.1. Cenário 1

A figura 25 mostra os dados de consumo dos VE usando o algoritmo de controlo desenvolvido e tendo em consideração a disponibilidade total de recursos.

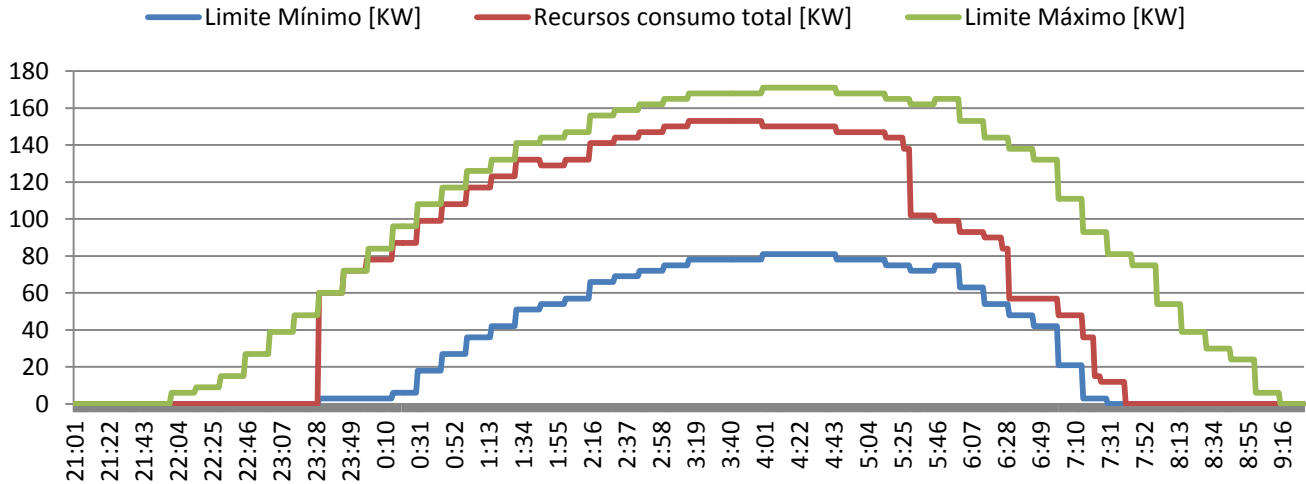


Figura 25 – Resultados do cenário 1

Como se pode ver, a alocação de recursos é feita consoante as necessidades de recursos e encontra-se dentro dos limites definidos para máximo e mínimo.

Nesta simulação todos os VE foram servidos na totalidade dentro das metas temporais e apenas com uma interrupção de serviço (anexo A.2), de realçar também, que os veículos com contrato Premium foram os primeiros a acabarem o tempo de carregamento.

### 10.3.2. Cenário 2

A figura 26 mostra os resultados obtidos para o consumo de energia quando se usa o algoritmo de controlo com recursos limitados e intermitência na rede eléctrica.

O tempo total que cada veículo esteve a carregar foi inferior aquele que os utilizadores haviam programado, pois como neste cenário a rede já se encontrava no limite da sua capacidade de produção, o algoritmo de controlo mudou o seu comportamento para a redução equilibrada de tempos de carregamento dos VE.

De realçar mais uma vez que embora o carregamento programado pelos veículos Premium não tenha sido cumprido na totalidade, estes voltam a ser os primeiros a acabarem o carregamento.

A média da redução do tempo de carregamento que os VE sofreram foi de 16 minutos e 44 segundos com apenas quatro VE a atingirem uma perda de 41 minutos.

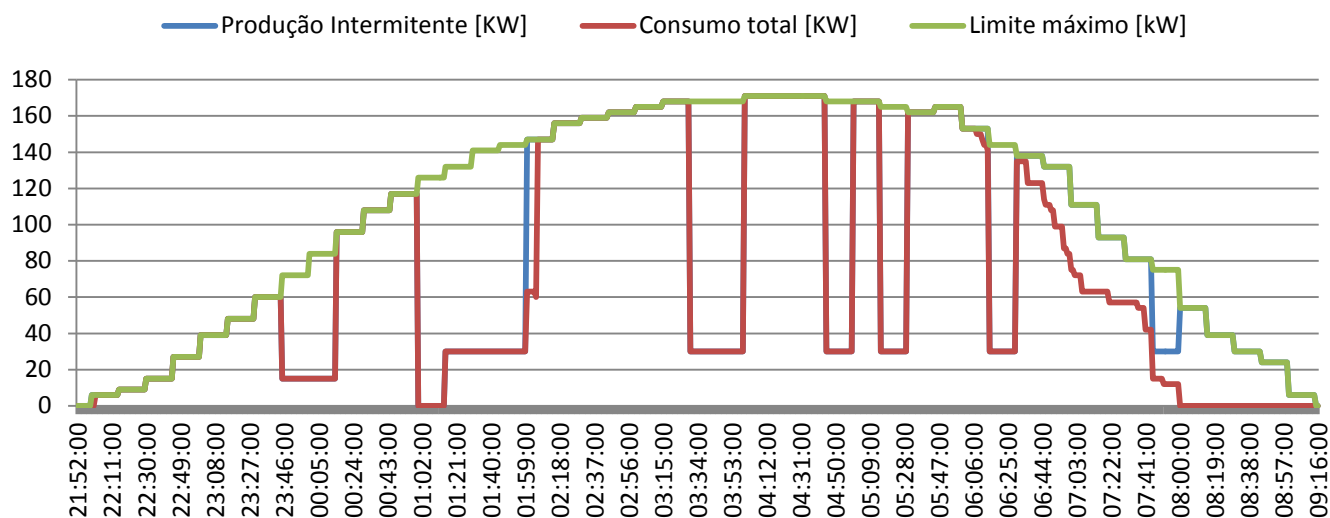


Figura 26 – Resultados do cenário 2

Como podemos ver pela figura 26 o consumo total acompanha a praticamente na perfeição a produção intermitente.

### 10.3.3. Impacto na rede

Da análise da figura 27 podemos concluir que o algoritmo proposto cumpre as especificações para as quais foi desenvolvido, uma vez que faz deslocar o consumo de energia para as horas de vazio, sem ultrapassar os limites máximos definidos.

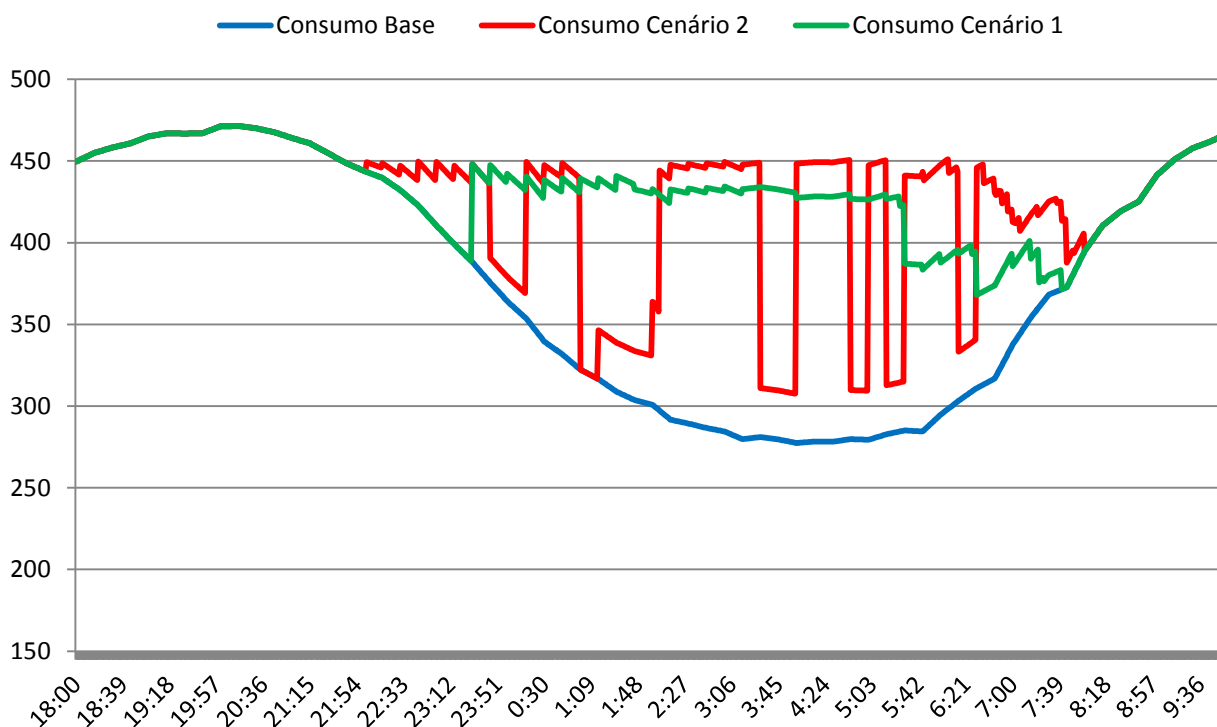


Figura 27 – Valores de consumo acumulados dos cenários 1 e 2

## 11. Conclusão

Os VE desempenham um papel fundamental nos objectivos de Portugal para atingir as metas propostas na União Europeia. A aposta no desenvolvimento de estruturas de mobilidade eléctrica visa reduzir a dependência energética externa de combustíveis fósseis, que deterioram substancialmente a balança comercial do País e a redução da poluição atmosférica e das emissões de CO<sub>2</sub>, em particular.

O estudo da penetração dos VE realizado na secção 10.2, veio provar que do ponto de vista do SEN, os impactos indesejáveis dos VE residem na forma como as baterias destes veículos são carregadas. No carregamento não controlado o aumento de consumo máximo registado, para o ano de 2020, seria de 11763 MW. Isto representa um aumento de 2361 MW. Na simulação de carregamento em horas de vazio, a diferença entre o máximo de consumo, para o ano de 2020 demonstrou que a curto prazo esta pode ser uma boa estratégia de carregamento para os VE. O aumento registado foi de apenas 4%, ou seja, 393MW (inferior a 1% ao ano).

No entanto, se não se adoptarem estratégias que permitam deslocar os consumos dos VE para as horas de vazio, corre-se o risco de nas próximas décadas existir um aumento desequilibrado dos consumos. O que vai levar a que os operadores da rede tenham que investir em novas unidades de produção eléctrica, que funcionam com baixo factor de carga.

As novas tecnologias de comunicação vão permitir a monitorização e controlo de aparelhos à distância. Para isso, a EB servirá de ponte ligação entre os operadores de rede, os aparelhos que controla e os utilizadores. Desta forma, as empresas de distribuição de energia vão ter ao seu dispor novos métodos de interacção com o cliente e assim poderão desenvolver, com maior eficácia, políticas que visem o deslocamento deste tipo de cargas para horas de menor consumo.

O papel das SG neste contexto vai ser muito importante. Vai-se poder implementar controlo remoto de cargas, feito por um controlador central que tem em consideração, não só as necessidades do consumidor, mas também as necessidades da rede eléctrica, tais como a garantia do serviço e a qualidade da energia.

Para que este controlo seja uma realidade os algoritmos desenvolvidos nesta dissertação podem muito bem vir a ser a solução para um controlo mais eficiente destas cargas.

## **11.1. Trabalho futuro**

Ao contrário de outros países que estão a criar uma rede de pontos de carregamento em algumas cidades, Portugal está a dar os primeiros passos do que será uma rede integrada de pontos de carregamentos em todo o território português. Esta aposta de futuro pode colocar o nosso país na vanguarda da investigação da mobilidade eléctrica e sua interacção com a rede, criando assim oportunidades de negócio numa tecnologia que aparenta ser o futuro da mobilidade.

Existem algumas áreas não abordadas nesta dissertação que poderão vir a ser desenvolvidas no futuro, estas são:

- Considerar no algoritmo de controlo outros modelos de tarifário eléctrico, nomeadamente, o real-time-pricing.
- Considerar no processo de decisão métodos de análise de fluxo de potências e assim escalonar o carregamento dos veículos de forma a diminuir as perdas na rede eléctrica.

## Referências

1. *The State of the Art of Electric Vehicles Technology*. **Chan, C.C. e Wong, Y.S.** s.l. : The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. Vol. 1. 7-5605-1869-9.
2. **European Association for Battery Electric Vehicles**. *Energy consumption, CO2 emissions and other considerations related to Battery Electric Vehicles*. [www.going-electric.org](http://www.going-electric.org) : s.n., 2010.
3. **Seixas, J., Simões, S. e Fortes, P.** *Avaliação do impacto da proposta energia-clima da comissão europeia para Portugal*. s.l. : Agência Portuguesa para o Ambiente, 2008.
4. ACAP - Associação Automóvel de Portugal. [Online] Maio de 2011. [www.acap.pt](http://www.acap.pt).
5. ISP - Instituto de Seguros de Portugal. [Online] Junho de 2011. [www.isp.pt](http://www.isp.pt).
6. Instituto Nacional de Estatística. [Online] Julho de 2011. [www.ine.pt](http://www.ine.pt).
7. ValorCar - Sociedade de Gestão de veículos em fim de vida. [Online] Maio de 2011. [www.valorcar.pt](http://www.valorcar.pt).
8. REN - Redes Energéticas Nacionais. [Online] Agosto de 2011. [www.ren.pt](http://www.ren.pt).
9. EDP - Electricidade de Portugal. [Online] Agosto de 2011. [www.EDP.pt](http://www.EDP.pt).
10. Nissan Portugal. [Online] Março de 2011. [www.nissan.pt](http://www.nissan.pt).
11. Opel Ampera Energy Hub. [Online] Março de 2011. [www.opel-ampera.com](http://www.opel-ampera.com).
12. **República Portuguesa**. Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis. s.l. : Directiva 2009/28/CE, 2010. versão para consulta pública.
13. *Inquérito à Mobilidade da População Residente*. **Estatística, Instituto Nacional de**. 2001.
14. *Mobilidade Casa - Trabalho da População Empregada Residente na Área Metropolitana do Porto*. **Melo, Carla e Calheiros, F. L.** s.l. : INE – Direcção Regional do Norte, 2010.
15. **Kempton, Willett e Tomic, Jasna** . Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue. s.l. : Journal of Power Sources, 144 (1), pp 268-279 2005, 2004.
16. **C., Chan C.** The state of the art of electric and hybrid vehicles. s.l. : Proceedings of the IEEE, 2002. Vols. 90, issue: 2.
17. **C.C., Chan**. The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. s.l. : Proceedings of the IEEE , 2007. Vols. 95 , Issue:4.
18. **M. Ehsani, Y. Gao, A. Emadi**. *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. s.l. : CRC Press - second edition, 2010.



19. **Françoise Nemry, Guillaume Leduc, Almudena Muñoz.** *Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency.* s.l. : European Commission JRC-IPTS, 2009.
20. **F.R.Kalhammer, B.M.Kopf, D.H.Swan, V.P.Roan, M.P.W.** *Status and Prospects for Zero Emissions Vehicle Technology.* s.l. : State of California Air Resources Board, 2007.
21. *Characterization of Li-Ion Batteries for Intelligent Management of Distributed Grid-Connected Storage.* **Dogger, J.D. ; Roossien, B. ; Nieuwenhout, F.D.J. .** s.l. : IEEE Transactions on Energy Conversion, 2011, Vols. 26 , Issue:1.
22. *Hybrid/electric vehicle battery manufacturing: The state-of-the-art.* **Guerrero, C.P.A., et al., et al.** pp 281 - 286, s.l. : IEEE Conference on Automation Science and Engineering, 2010.
23. *State-of-the-art in electric vehicle charging infrastructure.* **Foley, A.M., Winning, I.J. e Gallachoir, B.P.O.** pp 1 - 6, s.l. : IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, 2010.
24. *Requirements on electrical power infrastructure by electric vehicles.* **Hable, M., et al., et al.** pp 1 - 6, s.l. : Emobility - Electrical Power Train, 2010.
25. **Peter Van den Bossche, Joeri Van Mierlo, Gaston Maggetto.** *The Brussels Capital Region: A Case Study for Electric Vehicle Infrastructure Deployment.* s.l. : <http://etecmc10.vub.ac.be/etecphp/publications/EVS18infravdb.pdf>.
26. **Glanzer, G., et al., et al.** *Cost-efficient integration of electric vehicles with the power grid by means of smart charging strategies and integrated on-board chargers.* s.l. : 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2011.
27. **Directorate-General for Research Sustainable Energ.** *European Technology Platform - SmartGrids - Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future.* s.l. : <http://www.smartgrids.eu/documents/vision.pdf>.
28. **Donnelly, Kathy e Livengood, Daniel.** *To Intelligent Energy Infrastructure: Achieving Energy Efficiency through Behavioral Economics and Energy Box Technology Implementation.* 2008.
29. *The Energy Box: Locally Automated Optimal Control of Residential Electricity Usage.* **Livengood, Daniel e Larson, Richard.** pp. 1-16, s.l. : Service Science, 2009, Vol. 1.
30. **Livengood, Daniel.** *Overview of the Energy Box v1.0 Model for the Baseline Report of the FCT-funded Energy Box Project.* 2010.
31. **Dias, André.** Programa da mobilidade eléctrica. s.l. : <http://roadshow.greenprojectawards.pt/>, 2010.

## Anexos

### A.1

**Escalões de potência das opções tarifárias em BTN**

| Opções Tarifárias            | Escalões de Potência Contratada (kVA)                              |
|------------------------------|--|
| Tarifa Social                | 1,15 - 2,3   |
| Tarifa Simples               | 1,15 - 2,3 - 3,45 - 4,6 - 5,75 - 6,9 - 10,35 - 13,8 - 17,25 - 20,7 |
| Tarifa Bi-Horária            | 3,45 - 4,6 - 5,75 - 6,9 - 10,35 - 13,8 - 17,25 - 20,7              |
| Tarifa Tri-Horária           | 3,45 - 4,6 - 5,75 - 6,9 - 10,35 - 13,8 - 17,25 - 20,7              |
| Tarifa de Médias Utilizações | 27,6 - 34,5 - 41,4   |
| Tarifa de Longas Utilizações | 27,6 - 34,5 - 41,4   |
| Tarifa Sazonal Tri-Horária   | 27,6 - 34,5 - 41,4   |
| Tarifa Sazonal Simples       | 3,45 - 4,6 - 5,75 - 6,9 - 10,35 - 13,8 - 17,25 - 20,7              |
| Tarifa Sazonal Bi-Horária    | 3,45 - 4,6 - 5,75 - 6,9 - 10,35 - 13,8 - 17,25 - 20,7              |
| Tarifa Sazonal Tri-Horária   | 3,45 - 4,6 - 5,75 - 6,9 - 10,35 - 13,8 - 17,25 - 20,7              |

O período tarifário de fora de vazio aplicável nas tarifas com dois períodos tarifários engloba os períodos tarifários de ponta e cheias.

**Ciclo semanal**

| Período de hora legal de Inverno   | Período de hora legal de Verão   |
|--|--|
| <b>De segunda-feira a sexta-feira</b>  | <b>De segunda-feira a sexta-feira</b>  |
| Ponta: 09.30/12.00 h<br>18.30/21.00 h  | Ponta: 09.15/12.15 h   |
| Cheias: 07.00/09.30 h<br>12.00/18.30 h<br>21.00/24.00 h                        | Cheias: 07.00/09.15 h<br>12.15/24.00 h   |
| Vazio normal: 00.00/02.00 h<br>06.00/07.00 h                                   | Vazio normal: 00.00/02.00 h<br>06.00/07.00 h                                   |
| Super vazio: 02.00/06.00 h   | Super vazio: 02.00/06.00 h   |
| <b>Sábado</b>  | <b>Sábado</b>  |
| Cheias: 09.30/13.00 h<br>18.30/22.00 h   | Cheias: 09.00/14.00 h<br>20.00/22.00 h   |
| Vazio normal: 00.00/02.00 h<br>06.00/09.30 h<br>13.00/18.30 h<br>22.00/24.00 h | Vazio normal: 00.00/02.00 h<br>06.00/09.00 h<br>14.00/20.00 h<br>22.00/24.00 h |
| Super vazio: 02.00/06.00 h   | Super vazio: 02.00/06.00 h   |
| <b>Domíngo</b>   | <b>Domíngo</b>   |
| Vazio normal: 00.00/02.00 h<br>06.00/24.00 h                                   | Vazio normal: 00.00/02.00 h<br>06.00/24.00 h                                   |
| Super vazio: 02.00/06.00 h   | Super vazio: 02.00/06.00 h   |

**Ciclo diário**

| Período de hora legal de Inverno                        | Período de hora legal de Verão                          |
|---|---|
| Ponta: 09.00/10.30 h<br>18.00/20.30 h                   | Ponta: 10.30/13.00 h<br>19.30/21.00 h                   |
| Cheias: 08.00/09.00 h<br>10.30/18.00 h<br>20.30/22.00 h | Cheias: 08.00/10.30 h<br>13.00/19.30 h<br>21.00/22.00 h |
| Vazio normal: 06.00/08.00 h<br>22.00/02.00 h            | Vazio normal: 06.00/08.00 h<br>22.00/02.00 h            |
| Super vazio: 02.00/06.00 h                              | Super vazio: 02.00/06.00 h                              |

**Ciclo diário transitório em BTN bi-horária**

| Período de hora legal de Inverno | Período de hora legal de Verão |
|----------------------------------|--------------------------------|
| Fora de Vazio: 08.00/22.00 h     | Fora de Vazio: 09.00/23.00 h   |
| Vazio: 22.00/08.00 h             | Vazio: 23.00/09.00 h           |

Dados ERSE

## A.2 Resultados da Simulação do carregamento de veículos

Lista Final – Cenário 1

| Carro | Entrada na Rede     | Saída            |              | Carga Servida | Saída da Rede    | Interrupção | Premium |
|-------|---------------------|------------------|--------------|---------------|------------------|-------------|---------|
|       |                     | Programada       | Carga Pedida |               |                  |             |         |
| 17    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 98    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 56    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 81    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 36    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 1     | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 30    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 97    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 54    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 04:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 02:26 | 0           | Sim     |
| 40    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 53    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 34    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 86    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 9     | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 37    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 59    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 75    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Sim     |
| 73    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 04:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 02:30 | 0           | Não     |
| 12    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Sim     |
| 74    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Sim     |
| 6     | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Sim     |
| 82    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Sim     |
| 95    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Sim     |
| 41    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Não     |
| 78    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Não     |
| 13    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 03:30 | 0           | Não     |
| 46    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:30 | 0           | Não     |
| 50    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:30 | 0           | Não     |
| 64    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:30 | 0           | Não     |
| 77    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:30 | 0           | Não     |
| 4     | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 04:30 | 0           | Não     |
| 94    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:45 | 0           | Não     |
| 3     | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:45 | 0           | Não     |
| 19    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:45 | 0           | Não     |
| 21    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 04:45 | 1           | Não     |
| 83    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 04:45 | 0           | Não     |
| 33    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 05:00 | 0           | Não     |
| 42    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 05:00 | 0           | Não     |
| 85    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 05:00 | 0           | Não     |
| 28    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 05:15 | 0           | Não     |
| 87    | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 05:15 | 0           | Não     |
| 14    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 05:15 | 0           | Não     |
| 35    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 05:15 | 0           | Não     |
| 68    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 05:15 | 0           | Não     |
| 5     | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:22 | 0           | Não     |
| 10    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:22 | 0           | Não     |
| 16    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:22 | 0           | Não     |
| 22    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:22 | 0           | Não     |
| 39    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:22 | 0           | Não     |
| 43    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:22 | 0           | Não     |
| 70    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:22 | 0           | Não     |
| 84    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 05:26 | 0           | Não     |
| 93    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 03:00:00     | 03:00:00      | 13-01-2010 05:26 | 0           | Não     |
| 90    | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:56:00     | 02:56:00      | 13-01-2010 05:26 | 0           | Não     |
| 18    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 05:30 | 0           | Não     |
| 69    | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00     | 04:00:00      | 13-01-2010 05:30 | 0           | Não     |

|     |                     |                  |          |          |                  |   |     |
|-----|---------------------|------------------|----------|----------|------------------|---|-----|
| 7   | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 11  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 55  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 65  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 2   | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 8   | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 20  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 48  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 49  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 32  | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 05:30 | 0 | Não |
| 57  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 05:45 | 0 | Não |
| 88  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 04:00:00 | 04:00:00 | 13-01-2010 06:00 | 0 | Não |
| 58  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 06:00 | 0 | Não |
| 71  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 06:15 | 0 | Não |
| 31  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:56:00 | 02:56:00 | 13-01-2010 06:26 | 0 | Não |
| 100 | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:56:00 | 02:56:00 | 13-01-2010 06:26 | 0 | Não |
| 26  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 25  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 62  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 63  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 29  | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 03:00:00 | 03:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 44  | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 61  | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 67  | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 92  | 12-01-2011 20:00:00 | 13-01-1900 07:00 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 06:30 | 0 | Não |
| 15  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:00 | 0 | Não |
| 23  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:00 | 0 | Não |
| 24  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:00 | 0 | Não |
| 27  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:15 | 0 | Não |
| 38  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:15 | 0 | Não |
| 45  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:15 | 0 | Não |
| 66  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:15 | 0 | Não |
| 72  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:22 | 0 | Não |
| 80  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:22 | 0 | Não |
| 91  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:22 | 0 | Não |
| 47  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:22 | 0 | Não |
| 52  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:22 | 0 | Não |
| 76  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:22 | 0 | Não |
| 96  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 07:45 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:22 | 0 | Não |
| 89  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:00:00 | 02:00:00 | 13-01-2010 07:26 | 0 | Não |
| 79  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:56:00 | 02:56:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |
| 99  | 12-01-2011 19:00:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:56:00 | 02:56:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |
| 51  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:56:00 | 02:56:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |
| 60  | 12-01-2011 19:30:00 | 13-01-1900 08:00 | 02:56:00 | 02:56:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |

#### Lista Final – Cenário 2

| Carro | Entrada na Rede  | Saída Programada | Carga Pedida | Carga Servida | Saída da Rede    | Interrupções | Premium |
|-------|------------------|------------------|--------------|---------------|------------------|--------------|---------|
| 17    | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00     | 02:46:00      | 13-01-2010 01:33 | 2            | Sim     |
| 40    | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 03:00:00     | 02:50:00      | 13-01-2010 01:50 | 2            | Sim     |
| 53    | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 03:00:00     | 02:50:00      | 13-01-2010 02:05 | 2            | Sim     |
| 98    | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00     | 02:41:00      | 13-01-2010 02:11 | 2            | Sim     |
| 9     | 12-01-2010 20:00 | 13-01-2010 07:00 | 03:00:00     | 02:45:00      | 13-01-2010 02:15 | 1            | Sim     |
| 34    | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 08:00 | 03:00:00     | 02:45:00      | 13-01-2010 02:15 | 2            | Sim     |
| 54    | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 04:00 | 02:56:00     | 02:41:00      | 13-01-2010 02:29 | 2            | Sim     |
| 12    | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 04:00:00     | 03:45:00      | 13-01-2010 02:32 | 2            | Sim     |



|    |                  |                  |          |          |                  |   |     |
|----|------------------|------------------|----------|----------|------------------|---|-----|
| 63 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 08:00 | 03:00:00 | 02:45:00 | 13-01-2010 06:58 | 2 | Não |
| 92 | 12-01-2010 20:00 | 13-01-2010 07:00 | 02:00:00 | 01:15:00 | 13-01-2010 07:00 | 1 | Não |
| 29 | 12-01-2010 20:00 | 13-01-2010 08:00 | 03:00:00 | 02:45:00 | 13-01-2010 07:00 | 1 | Não |
| 71 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 03:00:00 | 02:45:00 | 13-01-2010 07:00 | 3 | Não |
| 2  | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 03:00:00 | 02:45:00 | 13-01-2010 07:02 | 4 | Não |
| 18 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 08:00 | 04:00:00 | 03:45:00 | 13-01-2010 07:06 | 4 | Não |
| 69 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 08:00 | 04:00:00 | 03:45:00 | 13-01-2010 07:06 | 4 | Não |
| 88 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 08:00 | 04:00:00 | 03:45:00 | 13-01-2010 07:06 | 4 | Não |
| 8  | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 03:00:00 | 02:45:00 | 13-01-2010 07:21 | 4 | Não |
| 20 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 03:00:00 | 02:45:00 | 13-01-2010 07:21 | 4 | Não |
| 45 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:45:00 | 13-01-2010 07:37 | 0 | Não |
| 66 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:45:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |
| 72 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:45:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |
| 80 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:45:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |
| 91 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:45:00 | 13-01-2010 07:41 | 0 | Não |
| 47 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 0 | Não |
| 52 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 0 | Não |
| 76 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 0 | Não |
| 96 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 0 | Não |
| 15 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 1 | Não |
| 23 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 1 | Não |
| 24 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 1 | Não |
| 27 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 1 | Não |
| 38 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 07:45 | 02:00:00 | 01:39:00 | 13-01-2010 07:45 | 1 | Não |
| 89 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 02:00:00 | 01:45:00 | 13-01-2010 07:51 | 0 | Não |
| 79 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00 | 02:15:00 | 13-01-2010 08:00 | 1 | Não |
| 99 | 12-01-2010 19:00 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00 | 02:15:00 | 13-01-2010 08:00 | 1 | Não |
| 51 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00 | 02:15:00 | 13-01-2010 08:00 | 1 | Não |
| 60 | 12-01-2010 19:30 | 13-01-2010 08:00 | 02:56:00 | 02:15:00 | 13-01-2010 08:00 | 1 | Não |