



ISEL

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica



Conversão de um Veículo de Combustão em Veículo Eléctrico

PEDRO ALEXANDRE BENTO GRÁCIO CONSTANTINO
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica, ramo Manutenção e Produção.

Orientador (es):

Doutora Maria Amélia Ramos Loja
Mestre Luís Manuel Barbosa da Cunha

Júri:

Presidente: Doutor João Manuel Ferreira Calado

Vogais:

Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques
Doutora Maria Amélia Ramos Loja

Dezembro 2015

Resumo

Cada vez mais, a presença dos veículos eléctricos tem vindo a tornar-se uma constante na vida das populações, devido á variação constante do preço dos combustíveis fosseis e à ausência de emissões para a atmosfera de compostos tóxicos causadores do efeito de estufa. Esta ausência é possível se o carregamento dos veículos eléctricos for realizado a partir de fonte de energia renovável. Ainda assim, as alternativas propostas pelos fabricantes de automóveis nesta área são ainda algo dispendiosas, fazendo com que a conversão de veículos convencionais em eléctricos possa ser encarada como uma alternativa pela população.

Neste trabalho foi efectuado inicialmente, um levantamento dos principais componentes que estão presentes num veículo eléctrico a bateria, nomeadamente ao nível das características técnicas, alternativas existentes para cada componente, bem como os princípios físicos que afectam a eficiência dos veículos eléctricos e convencionais.

Numa segunda fase, procedeu-se à descrição de outros tipos de veículos eléctricos existentes, bem como os postos de carregamento, passando pela legislação a cumprir num processo de conversão, e à apresentação de um caso de estudo, no qual foram descritas todas as fases pelas quais o veículo passou durante a conversão. Efectuou-se finalmente uma análise de viabilidade económica.

Por último constatou-se que a conversão de veículos convencionais em eléctricos pode ser vantajosa, embora para um processo desta natureza devem ser analisados um conjunto de parâmetros tais como a idade do veículo, a solução tecnológica a implementar e o investimento do próprio processo.

Palavras-chave: Conversão de veículos, veículos eléctricos, veículos eléctricos híbridos, veículos a célula de combustível, bateria, motor eléctrico.

Abstract

Increasingly, the presence of electric vehicles has become a constant in the life of the population, due to the constant change in the price of fossil fuels and the lack of air emissions of toxic compounds that cause the greenhouse effect. This absence is possible if the charging of electric vehicles is made from a renewable energy source. Still, the alternatives proposed by car manufacturers in this area are still somewhat costly, making the conversion from conventional to electric vehicles can be regarded as an alternative for the population.

In this work was carried out initially, a survey of the main components that are present in a battery electric vehicle, particularly in terms of technical characteristics, alternatives for each component as well as the physical principles that affect the efficiency of electric and conventional vehicles.

In a second phase, a description of the other types of electric vehicles was presented, as well as the legislation required to fulfill a conversion process and a case study, in which was described every stage that the vehicle crosses through during the conversion. Later an economic viability analysis was made.

Finally it was found that the conversion of conventional vehicles into electric can be advantageous, although for such a process should be analyzed a number of parameters such as the age of the vehicle, the technical solution to implement and the investment of the process itself.

Keywords: Conversion of vehicles, electric vehicles, hybrid electric vehicles, fuel cell electric vehicles, battery, electric motor.

Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Doutora Maria Amélia Loja e ao Mestre Luís Cunha pela disponibilidade, dedicação e por terem tornado possível a realização deste trabalho de projecto.

Agradeço á minha família o apoio prestado, em especial á minha irmã e aos meus pais pelos sacrifícios e esforço que fizeram para que pudesse cumprir mais esta etapa da minha vida.

Agradeço á Sandra Freitas e ao Celso Menaia, a forma como fui recebido e por terem colocado á disposição a residência de ambos, durante a minha estadia na Holanda.

Agradeço a todos os colaboradores e gerência da empresa New Electric, nomeadamente ao Anne Kloppenborg, Raymond Deirkauf e Celso Menaia, o acesso às instalações da empresa e á informação necessária, para a construção do caso de estudo apresentado neste trabalho final de mestrado.

Agradeço ao Engenheiro Pedro Melo, a disponibilidade demonstrada para prestar esclarecimentos sempre que tal fosse necessário, para além da partilha de informação relevante.

Agradeço ao Paulo Almeida da Área Departamental de Engenharia Electrotécnica em Energia e Automação (ADEEEA), o tempo disponibilizado e toda a ajuda prestada sempre que tal foi necessário.

Agradeço ao Engenheiro Hugo Maio da EDP, a disponibilidade e o apoio prestado na elaboração do tópico referente aos postos de carregamento de veículos eléctricos.

Por fim e não menos importante agradeço a todos os amigos e conhecidos, que de alguma forma contribuíram para a construção deste trabalho, em especial á Carla Martins, ao Micael Ivan, Tiago Brázio, Vergílio Sesta e ao Sr. Fernando Lourenço.

.

Índice

1. Introdução	1
1.1 - Conversão de um Veículo de Combustão para Eléctrico – O Porquê	1
1.2 - Objectivos.....	4
1.3 - Motivação.....	5
1.4 - Estrutura do Trabalho de Projecto	5
2. Estado de Arte	7
2.1 - Introdução.....	7
2.2 - Princípios Físicos que Afectam a Eficiência do Veículo	9
2.2.1 – Resistência ao rolamento	10
2.2.2 – Atrito aerodinâmico.....	13
2.2.3 – Componente tangencial do peso	13
2.3 - Veículos Eléctricos	14
2.3.1 - Baterias.....	16
2.3.1.1 - Baterias de Chumbo-Ácido (Pb)	17
2.3.1.2 - Baterias de Níquel - Cádmio (NiCd).....	19
2.3.1.3 - Baterias de Hidreto metálico de Níquel (NiMH)	20
2.3.1.4 - Baterias de Sódio - Enxofre (NaS)	22
2.3.1.5 - Baterias de Cloreto de Níquel - Sódio Metálico (ZEBRA)	23
2.3.1.6 - Baterias de Iões de Litio (Li-Ion).....	24
2.3.1.7 - Baterias de Polímero de Lítio.....	26
2.3.1.8 - Baterias de Lítio Fosfato de Ferro (LiFePO ₄).....	27
2.3.1.9 - Baterias de Ar-Alumínio.....	28
2.3.1.10 - Baterias de Ar-Zinco	29
2.3.1.11 - Análise Comparativa de Baterias.....	31
2.3.2 - Volante de Inércia	34

2.3.3 - Super Condensador	35
2.3.4 - Sistema de Propulsão	37
2.3.5 - Motor Eléctrico.....	39
2.3.5.1 – Motor Síncrono de Magnetos Permanentes	41
2.3.5.2 – Motor de Indução Trifásico	42
2.3.5.3 – Análise Comparativa de Motores Eléctricos.....	45
2.4 – Veículos Eléctricos Híbridos	47
2.4.1 – Configurações dos HEVs.....	48
2.4.1.1 - Série.....	48
2.4.1.2 - Paralela	50
2.4.1.3 - Série – Paralela	52
2.4.1.4 – Complexa.....	53
2.4.1.5 - PHEVs.....	53
2.5 – Veículos Eléctricos a Célula de Combustível.....	54
2.6 – Análise Comparativa de Veículos Eléctricos.....	56
3 – Postos de Carregamento.....	59
3.1 – Introdução	59
3.2 – Modos de carregamento	59
3.3 - Postos de carregamento na via pública (Rede Mobi.E)	66
3.4 - Fichas e tomadas utilizadas nos postos de carga e EV	68
3.5 - Posto de carregamento rápido instalado na rede Mobi.E.....	69
3.6 - Postos de carregamento em garagens	70
4 - Legislação	73
4.1 – Introdução	73
4.2 - Homologação de veículos	73
4.2.1 - Decreto-lei N° 16/2010.....	73
4.2.2 - Regulamento N° 100 UNECE	75

4.2.2.1 – Segurança do sistema eléctrico	75
<i>Protecção contra contacto directo</i>	75
<i>Conectores</i>	76
<i>Protecção contra contacto indirecto</i>	76
<i>Funcionamento em Segurança</i>	76
<i>Indicação de tensão elevada</i>	76
4.2.2.2 – Segurança das baterias.....	77
<i>Vibrações</i>	77
<i>Choques Térmicos</i>	77
4.2.2.3 - Marcações.....	78
4.3 - Centros de inspecções	79
4.4 - Isenções	79
4.4.1 - Imposto Único de Circulação	79
4.4.2 – Parques de Estacionamento EMEL	79
5 – Caso de Estudo	81
5.1 – Introdução	81
5.2 – Descrição do processo de conversão	82
5.3.1 – Remoção dos componentes desnecessários	82
5.3.2 – Componentes colocados no veículo	86
5.3.2.1 – Baterias	86
5.3.2.2 – Sistema de gestão da bateria	88
5.3.2.3 – Sistemas de Carregamento de Baterias (carregamento normal e rápido) .	88
5.3.2.4 – Monitor de Bateria.....	90
5.3.2.5 – Conversor DC/DC	91
5.3.2.6 – Motor Eléctrico	91
5.3.2.7 – Controlador	94
5.3.2.8 – Botão de Emergência.....	94

5.3.2.9 – Interruptor de Inércia	95
5.3.2.10 – Dispositivos de protecção	96
<i>Fusíveis</i>	96
5.4 – Viabilidade Económica do Projecto	96
6 - Conclusões	113
7 – Propostas para trabalhos futuros	115
8 – Referências Bibliográficas	117
ANEXO A	127
ANEXO B	133
ANEXO C	137

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução da dependência energética de Portugal [4]	2
Figura 2 - Evolução do consumo de gás natural por sector em Portugal (tep) [4]	2
Figura 3 - Evolução do consumo final de petróleo por sector em Portugal (tep) [4]	3
Figura 4- Evolução das vendas de EVs em Portugal (Elaborado a partir de informação cedida pela ACAP)	4
Figura 5 – Forças generalizadas aplicadas a um veículo num plano inclinado. Adaptado de [20]	10
Figura 6 – Reacção (PZ) da superfície sobre o pneu em repouso. Retirado de [20]	10
Figura 7 - Superfície dura. Adaptado de [20].....	11
Figura 8 - Superfície macia. Adaptado de [20]	11
Figura 9 - Configuração Básica de um EV. Adaptado de [20].....	15
Figura 10 – Interior de uma bateria Chumbo-Ácido (Pb) [27].....	18
Figura 11 - Componentes de uma bateria Chumbo-Ácido (Pb) [28].....	18
Figura 12 - Conjunto de baterias de NiCd [29]	19
Figura 13 - Conjunto de baterias NiMH Toyota (vista de cima) [31]	21
Figura 14 – Conjunto de baterias NiMH Toyota (vista lateral) [32]	21
Figura 15 - Constituintes de uma bateria de NaS [34].....	22
Figura 16 - Exemplo de bateria Zebra fabricada na Suíça [35].....	23
Figura 17 - Bateria Zebra instalada num autocarro eléctrico Gulliver de fabrico Italiano [35].....	24
Figura 18 – Exemplo de uma bateria de iões de Lítio [37]	25
Figura 19 - Bateria de Polímero de Lítio produzida pela Lockheed –Martin [39].....	26
Figura 20 - Bateria de LiFePO ₄ [42].....	27
Figura 21 - Figura – Autocarro alimentado a baterias de LiFePO ₄ [43].....	28
Figura 22 - Bateria de Ar - Alumínio produzida pela empresa Phinergy [46]	29
Figura 23 - Bateria de Ar – Zinco [47]	30
Figura 24 - Pormenor da bateria de Ar – Zinco [47]	30
Figura 25 - Interior de um Volante de Inércia [20].....	35
Figura 26 - Interior de um Super Condensador [59].....	36
Figura 27 - Conjunto de Super Condensadores [54].....	36
Figura 28 - Configurações possíveis do sistema de propulsão nos EVs [53].....	38
Figura 29 - Sistema de motor eléctrico acoplado na roda (In-Wheel) [63]	39

Figura 30 - Representação esquemática do Motor Síncrono de Magnetos Permanentes (Adaptado de [64]).....	41
Figura 31 – Rotor em Gaiola [67].....	42
Figura 32 - Rotor Bobinado [69]	43
Figura 33 - Ligação às resistências rotóricas [64]	43
Figura 34 - Principais técnicas de controlo de velocidade/binário [70].....	44
Figura 35 - Configuração Série (Adaptado de [53])	48
Figura 36 - Chevrolet volt [79].....	49
Figura 37 - HEV Paralela (Adaptado de [53]).....	50
Figura 38 - Honda Insight [78]	51
Figura 39 - Configuração Série – Paralela (Adaptado de [53]).....	52
Figura 40 - Toyota Prius [81]	52
Figura 41 - Configuração Complexa [53]	53
Figura 42 - Configuração Plug In (Adaptado de [53]).....	54
Figura 43 - Célula de Combustível a hidrogénio [84]	55
Figura 44 - Tomada e ficha industrial de 16 A com terra (Norma IEC 60309-2) [90]... 60	
Figura 45 - Tomada doméstica e ficha "Schuko" de 16 A com terra [90]	60
Figura 46 - Carregamento em modo 1 [91]	60
Figura 47 - Cabo com dispositivo de comunicação/controlo [90].....	61
Figura 48 - Carregamento em modo 2 [91]	61
Figura 49 - Ficha/tomada Yazaki [90]	62
Figura 50 - Ficha/tomada Mennekes [90]	62
Figura 51 - Ficha/tomada Scame [92], [93]	63
Figura 52 - Carregamento em modo 3 [91]	63
Figura 53 – Interior de um EV que permite o carregamento em AC [90]	64
Figura 54 - Ficha e tomada CHAdeMO de carregamento em DC [94], [90].....	65
Figura 55 - Ligações da ficha CHAdeMO [95].....	65
Figura 56 - Ficha e tomada Combo de carregamento em DC [96].....	65
Figura 57 - Carregamento em modo 4 [Adaptado de [91]].....	66
Figura 58 - Interior de um EV que permite o carregamento em DC [90]	66
Figura 59 - Postos de carregamento normal da Efacec (esquerda) e Magnum Cap (direita) [97].....	67
Figura 60 - Tomada industrial (esquerda) [98] e Mennekes (direita).....	67

Figura 61 - Postos de carregamento rápido Efacec (esquerda) [99] e Magnum Cap (direita) [100].....	67
Figura 62 - Exemplo de quadriciclo [101], [102]	68
Figura 63 - Exemplo de cabo de ligação a utilizar em modo 2 [103].....	69
Figura 64 - Exemplo de cabo de ligação a utilizar em modo 3 [103].....	69
Figura 65 - Recente tecnologia de posto de carregamento rápido [Adaptado de [104]]	70
Figura 66 - Postos de carregamento em garagens: Home Charger (esquerda) [105] e Wall Box (direita) [106].....	71
Figura 67 - Indicação de tensão elevada [113]	77
Figura 68 - Marcação de Homologação de um veículo [113]	78
Figura 69 - Marcação de Homologação de um conjunto de baterias [113]	79
Figura 70 - Veiculo que foi sujeito ao processo de conversão	81
Figura 71 - Parte do escape do veículo	83
Figura 72 - Reservatórios de gás, gasolina e restante tubagem de escape	83
Figura 73 - Veiculo com o motor de combustão	83
Figura 74 - Veiculo sem motor.....	84
Figura 75 - Veiculo após limpeza (vista lado esquerdo).....	84
Figura 76 - Veiculo após limpeza	84
Figura 77 - Veiculo sem os depósitos nem a tubagem de escape	85
Figura 78 – Bateria de LiFePO4 e suas dimensões [118]	87
Figura 79 – Caixa das baterias (Frente do veiculo)	87
Figura 80 – Caixa das baterias (Traseira do veiculo)	87
Figura 81 – Sistema de gestão da bateria	88
Figura 82 - Carregador Manzanita PFC20	89
Figura 85 – Monitor de bateria Victron Energy	90
Figura 83 - Tomada de ligação para carregamento normal (Mennekes)	90
Figura 84 - Tomada de ligação para o carregamento rápido (CHAdEMO)	90
Figura 86 – Conversor DC/DC.....	91
Figura 87- Curva binário vs velocidade de rotação (cortesia do fabricante Siemens)....	92
Figura 88- Curva potência vs velocidade de rotação (cortesia do fabricante Siemens) .	92
Figura 89 – Pormenor da ligação da placa que permite a ligação entre o motor e a caixa de velocidades.....	93
Figura 90 – Fixação do motor no chassis do veículo.....	93
Figura 91 - Controlador Azure Dynamics.....	94

Figura 92 - Botão de Emergência instalado no tablier.....	95
Figura 93 – Interruptor de Inércia [123]	95
Figura 94 - Pontos de manutenção de um EV e convencional [124].....	97
Figura 95 – Variação dos preços do GPL e Gasolina 95 (Euro/litro) de 2000 a 2014 ...	99
Figura 96 – Variação dos preços da electricidade (Euro/kWh) de 2000 a 2014	100
Figura 97 – Preços extrapolados do GPL e Gasolina 95 (Euro/litro) de 2016 a 2030..	101
Figura 98 - Preços extrapolados para a electricidade (Euro/kWh) de 2016 a 2030	102

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Valores de fr em algumas situações [20].....	12
Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens das baterias Chumbo-Ácido [24], [3], [26].....	19
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens das baterias NiCd [24], [26]	20
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens das baterias de NiMH [24], [26]	21
Tabela 5 - Vantagens e desvantagens das baterias NaS [24], [26]	22
Tabela 6 - Vantagens e desvantagens das baterias ZEBRA [24], [6], [36].....	24
Tabela 7 - Vantagens e desvantagens das baterias Li-Ion [26], [38].....	25
Tabela 8 - Vantagens e desvantagens das baterias de Polímero de Lítio [38]	27
Tabela 9 - Vantagens e desvantagens das baterias LiFePO ₄ [40], [41], [44], [45]	28
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens das baterias de Alumínio – Ar [3].....	29
Tabela 11 - Vantagens e desvantagens das baterias de Ar – Zinco [6].....	30
Tabela 12 - Comparação de diferentes tipos de baterias [53] [6] [26].....	33
Tabela 13 - Vantagens e desvantagens do volante de inércia (Adaptado de [54], [55], [24]).....	35
Tabela 14 - Vantagens e desvantagens dos Super Condensadores (Adaptado de [55], [24], [61])	37
Tabela 15 - Vantagens e Desvantagens dos motores [71], [73], [74], [75].....	46
Tabela 16 - Vantagens e Desvantagens das células de combustível [57], [1].....	55
Tabela 17 – Características dos diferentes tipos de EVs [1]	58
Tabela 18 - Tempos de carregamento do EV em função do tipo de corrente e potência [Adaptado de [91]].....	68
Tabela 19 - Equipamentos removidos do veículo.....	85
Tabela 20 – Resumo das características das baterias usadas na conversão [118]	86
Tabela 21 – Custos dos EVs e Convencionais	97
Tabela 22 – Parâmetros considerados para o veículo antes e após a conversão	98
Tabela 23 – Parâmetros considerados consoante o veículo (inclui valores dos parâmetros fixos)	103
Tabela 24 – Evolução da amortização do investimento em função do custo dos combustíveis/electricidade e poupança alcançada com a conversão.	109
Tabela 25 - Alguns poluentes presentes na atmosfera e os seus efeitos na saúde das populações [127].....	131
Tabela 26- Regimes de funcionamento dos motores (Retirado de [121])	135

Lista de Abreviaturas

ABS – Anti-lock Braking System

AC – Alternate Current

DC – Direct Current

CCS – Combined Charging System

CSV – Comma Separated Value

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia

EV – Electric Vehicle

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

FCEV – Fuel Cell Electric Vehicle

HEV – Hybrid Electric Vehicle

IEC - International Electrotechnical Commission

IMTT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres

PHEV – Plug In Hybrid Electric Vehicle

RPM – Rotações por minuto

SOC – State Of Charge

UNECE – United Nations Economic Commission for Europe

VRLA – Valve Regulated Lead - Acid

Lista de Símbolos

- A_{fv} – Área da secção dianteira, m^2
 C_d – Coeficiente de atrito aerodinâmico
 F_h – Componente tangencial do Peso, N
 F_t – Força de tracção, N
 F_{ar} – Resistência aerodinâmica, N
 F_r – Força de resistência ao rolamento, N
 g – Aceleração da gravidade, m/s^2
 M – massa, kg
 P_z – Força distribuída, N
 P – Força aplicada no centro da roda, N
 T_{rf} – Binário resistente nas rodas dianteiras, Nm
 T_{rr} – Binário resistente nas rodas traseiras, Nm
 V – Velocidade do veículo, m/s
 V_{ar} – Velocidade do vento, m/s
 Z – Deformação máxima
 α – Ângulo de inclinação, graus
 ρ – Densidade do ar, Kg/m^3
 R – Resistência eléctrica, ohm

1. Introdução

1.1 - Conversão de um Veículo de Combustão para Eléctrico – O Porquê

Com a variação inconstante dos preços dos combustíveis, associado à noção por parte da população em geral de que as reservas de petróleo não vão durar para sempre [1], foi possível dar destaque aos veículos eléctricos (EVs) como uma alternativa aos meios de transporte da actualidade [2] [3]. Para além disso, este tipo de veículos é extremamente silencioso reduzindo desta forma a quantidade de poluição sonora existente de forma mais notória nas grandes cidades. Outro aspecto importante reside no facto da sua utilização não lançar na atmosfera gases responsáveis pelo efeito de estufa e causadores de patologias diversas em todos os seres vivos, promovendo assim um ambiente mais limpo. O anexo A menciona quais os poluentes mais comuns na atmosfera devido aos veículos convencionais e alguns tipos de indústria, bem como as patologias que esses mesmos poluentes podem causar na saúde das populações.

No entanto, uma vez que em Portugal cerca de 50% da energia eléctrica é produzida em centrais térmicas convencionais, logo o carregamento dos EVs deverá ser realizado a partir de fontes de energia renovável.

Em Portugal dado que não existe reservas de gás natural nem de petróleo, obriga que o país tenha que depender em termos energéticos do exterior com vista á obtenção destes produtos. Os mesmos têm um peso bastante significativo no que toca ao consumo de energia. No entanto, com vista á redução dessa dependência (entre os 80 e 90%), Portugal tem-se voltado para fontes de energia renovável, o que permitiu reduzir a dependência energética para valores inferiores a 80%, a partir de meados do ano de 2009 até 2013 [4].

A figura 1 mostra a evolução da dependência energética de Portugal desde 2000 até 2013.

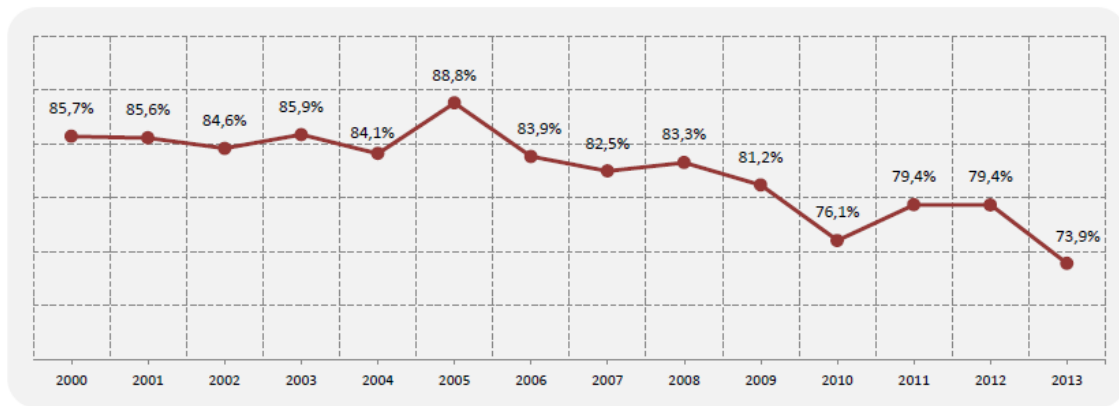


Figura 1 – Evolução da dependência energética de Portugal [4]

Relativamente ao gás natural verifica-se que o sector industrial detém o maior consumo, enquanto nos sectores dos transportes, agricultura e pescas o consumo é pouco expressivo, conforme mostra a figura 2.

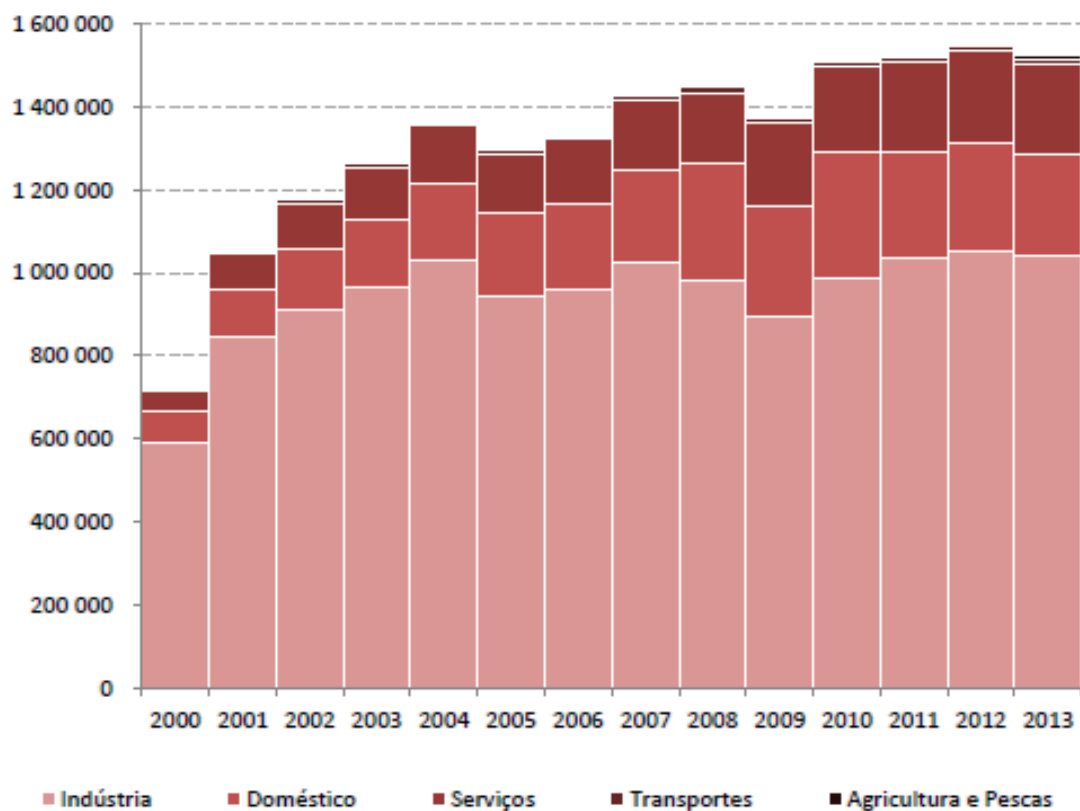


Figura 2 - Evolução do consumo de gás natural por sector em Portugal (tep¹) [4]

¹ Unidade de energia. Representa a tonelada equivalente de petróleo. Corresponde a 10⁷ kcal.

Por observação da figura 3 constata-se que o consumo final de petróleo no sector dos transportes é bastante acentuado, fazendo deste sector o principal consumidor. De notar no entanto que nos últimos anos houve uma quebra acentuada no consumo, nomeadamente nos sectores dos serviços e indústria.

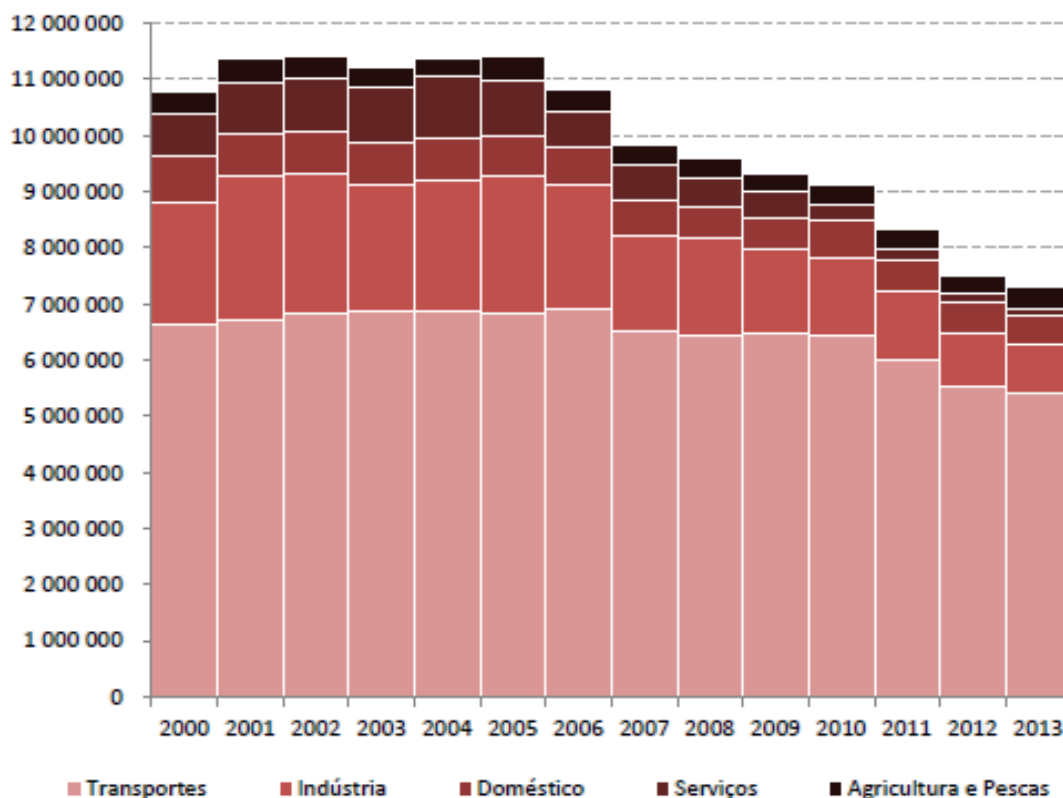


Figura 3 - Evolução do consumo final de petróleo por sector em Portugal (tep²) [4]

Apesar de actualmente os veículos convencionais possuírem consumos mais comedidos e contribuírem para a emissão de níveis de poluentes cada vez mais baixos, a verdade é que não deixam nem de consumir combustível nem de poluir. Deste modo, a procura de meios de transporte amigos do ambiente irá permitir a melhoria da qualidade do ar que se respira, das condições de vida, bem como a redução do consumo inerente ao sector dos transportes. No entanto, tendo em conta os benefícios que foram criados com vista a uma maior integração dos EVs em território nacional (referidos na secção 2.1), o mercado actual deste tipo de veículos não possui ainda uma dimensão muito notória, conforme mostra a figura 4. Ainda assim, de acordo com a referida figura constata-se que no segmento dos veículos ligeiros de passageiros as vendas têm apresentado um comportamento mais favorável, face ao segmento dos veículos comerciais ligeiros. Tal

² Unidade de energia. Representa a tonelada equivalente de petróleo. Corresponde a 10⁷ kcal.

facto poderá ser justificado em parte pela reduzida oferta disponível para este ultimo segmento.

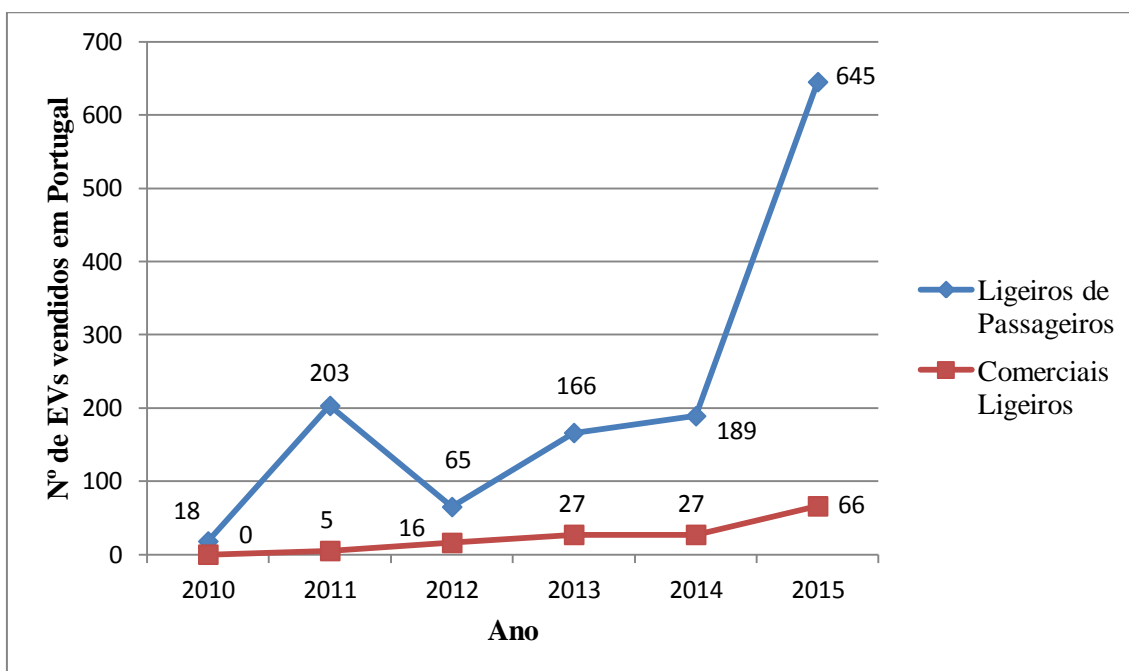


Figura 4- Evolução das vendas de EVs em Portugal (Elaborado a partir de informação cedida pela ACAP)

Sendo os EVs novos ou convertidos um dos meios de transporte amigos do ambiente, a escolha deste tipo de veículos irá permitir a redução do consumo do petróleo no sector dos transportes. Para além disso, a conversão de veículos convencionais em eléctricos permite a sua reciclagem, dando uma nova vida aos mesmos uma vez que permite a sua utilização por mais tempo.

1.2 - Objectivos

Através da realização deste trabalho pretende-se caracterizar todas as fases inerentes ao processo de conversão de um veículo convencional em eléctrico, para além de demonstrar como é que cada um dos componentes é integrado e disposto no interior do veículo. É igualmente objectivo deste trabalho, fazer um estudo de viabilidade económica para um caso real.

Pretende-se ainda alertar consciências para a possibilidade de causar um menor impacto no meio ambiente, com a utilização dos meios de transporte mais limpos e económicos.

1.3 - Motivação

Sem dúvida, a invenção do automóvel foi um dos acontecimentos do século XIX. Graças a ele, tem sido possível o desenvolvimento das sociedades ao longo dos tempos, ao permitir que pessoas e bens se desloquem cada vez com maior celeridade e segurança.

No entanto, o crescimento da população mundial e o conseqüente crescimento do número de veículos, aliado à dependência cada vez maior por parte da sociedade de meios de transporte, está cada vez a tornar mais poluído o meio ambiente.

Além disso, dado que uma grande parte dos poços de petróleo se encontra no médio oriente [5], e devido aos conflitos constantes a que esses países produtores de petróleo se têm encontrado sujeitos, a influência na economia de outros países que dependem do petróleo tem-se feito sentir, através da oscilação frequente do seu preço. A conversão de veículos convencionais em eléctricos irá certamente (caso se invista significativamente nesta tecnologia), baixar essa mesma dependência.

Apesar de haver em algumas marcas de automóveis sinais de mudança, noutras existe alguma resistência em investir numa tecnologia que não dominam, em prol da tecnologia dos motores de combustão que está bastante mais desenvolvida e sobre a qual têm mais conhecimento.

1.4- Estrutura do Trabalho de Projecto

O presente trabalho é constituído por sete capítulos e três anexos. No capítulo actual é feita a introdução ao tema do trabalho propriamente dito, mencionando quais os objectos que se pretendem alcançar e a motivação.

No capítulo 2 começa-se por abordar as forças que actuam no veículo recorrendo a uma descrição genérica do movimento do mesmo, sem esquecer aquelas às quais está sujeito enquanto se movimenta. Posteriormente, descreve-se de forma sucinta os componentes principais que existem nos EVs a bateria, passando pelos veículos híbridos (HEVs) e a célula de combustível (FCEVs), terminando com uma análise comparativa entre todos eles.

O capítulo 3 aborda a temática dos postos de carregamento para veículos eléctricos. No mesmo começou-se por caracterizar de forma sucinta o projecto de mobilidade eléctrica em Portugal (rede Mobi.E), prosseguindo-se com a descrição de cada um dos modos de carregamento existentes, tipos de postos de carregamento disponíveis na via pública, formas de ligação entre os veículos e os postos, finalizando com os postos de carregamento em garagens.

O capítulo 4 é dedicado à legislação que é necessário cumprir, de modo que o veículo objecto de conversão seja *á posteriori* devidamente homologado, sendo mencionados alguns requisitos a ter em conta.

Para além disso, é referida a legislação aplicável nos centros de inspecções, bem como as isenções de que somente os veículos eléctricos dispõem.

No capítulo 5, através da utilização de um caso de estudo, descreve-se o processo de conversão de um veículo convencional em eléctrico. Inicialmente procede-se à descrição de todas as etapas do processo propriamente dito, terminando com o estudo de viabilidade económica.

Nos capítulos 6 e 7 expõem-se respectivamente, as conclusões deste trabalho e as propostas para trabalhos futuros na área de conversão de veículos.

2. Estado de Arte

2.1 - Introdução

Decorria a década de 1830 quando surgiram no mercado os primeiros EVs. Na época estes veículos não usavam baterias recarregáveis pois a tecnologia das mesmas estava a dar os primeiros passos. Somente no final do século 19, graças ao desenvolvimento tecnológico das baterias recarregáveis e à sua produção em larga escala, foi possível a utilização deste tipo de veículos de forma mais abrangente. No ano de 1912 existia já uma quantidade muito grande de EVs (na ordem das centenas de milhar), usados sobretudo como táxis, autocarros, veículos de entregas e eléctricos [3].

Para além dos EVs e dos veículos de combustão interna existiam também os veículos a vapor. Uma grande vantagem dos EVs face aos restantes residia no facto de não ser necessário, uma manivela, nem de lume para a sua colocação em funcionamento.

No entanto, o desenvolvimento do sistema de arranque eléctrico para os motores de combustão interna no ano de 1911, aliado ao baixo preço do petróleo da época, fez com que este tipo de motores fosse escolhido em detrimento dos motores eléctricos [6].

Existiram também outras questões importantes para o declínio dos EVs em termos de popularidade, questões que permanecem mesmo nos dias de hoje. São elas a energia que as baterias conseguem fornecer, o peso das mesmas, o tempo necessário para recarregar, a sua durabilidade e custo. Segundo [6], a energia específica dos combustíveis usados nos motores de combustão interna situa-se na ordem de grandeza dos 9000 Wh/kg, enquanto a energia específica de uma bateria chumbo-ácido ronda os 30 Wh/kg. Tendo em conta a eficiência de ambos os motores, constata-se que para o conjunto motor de combustão interna - caixa de velocidades, à saída da mesma existe um valor de 1800 Wh/kg de energia disponível, enquanto no caso de um EV este valor é de apenas 27 Wh/kg. Em termos de peso, segundo o mesmo autor, o peso do combustível necessário para que um veículo comum percorra 50 Km situa-se nos 4Kg, enquanto um EV necessita de um conjunto de baterias com um peso de 270Kg. Deste modo é perceptível que os EVs tenham uma autonomia e uma velocidade máxima inferior quando comparados com os veículos de combustão interna [3]. No que diz respeito ao tempo de carga das baterias este pode durar várias horas, face ao tempo necessário para atestar o depósito de combustível. Relativamente à duração das baterias, a sua vida útil depende

da tecnologia utilizada, o que implica no entanto um custo suplementar quando for necessária a sua substituição.

Ainda assim, os EVs têm sido usados para desempenhar outro tipo de funções nas quais a ausência de ruído e a conservação do ambiente que os rodeia se destacam em relação à sua autonomia. Como exemplos destacam-se: os empilhadores, usados nos mais diversos tipos de armazéns na movimentação de materiais ou de produtos acabados; os carros de golf, destinados a transportar os jogadores; as cadeiras de rodas que permitem uma melhoria da qualidade de vida a quem delas necessita [3].

Todavia após a crise de 1973, na qual se tomou consciência da importância de reduzir o consumo de combustível, deu-se um avanço notável no que toca à tecnologia de armazenamento de energia. Este desenvolvimento permitiu que países com know-how na área se dedicassem ao lançamento de EVs, ainda que em pequenas quantidades, destinados a serem usados em estrada, bem como de protótipos exclusivamente concebidos para a participação em provas de competição [3].

Actualmente tem-se vindo a assistir por parte de alguns fabricantes de automóveis que abastecem o mercado português, ao desenvolvimento de modelos exclusivamente eléctricos como parte de uma estratégia económica e ambiental. A título de exemplo apresentam-se os seguintes modelos:

- Leaf da Nissan [7]
- i-Miev da Mitsubishi [8]
- Ion da Peugeot [9]
- C-Zero da Citroen [10]
- Zoe, Fluence, Twizy Z.E e Kangoo Z.E da Renault [11]
- i3 da BMW [12]
- e-Up, e-Golf da Volkswagen [13]
- Classe B Electric Drive da Mercedes-Benz [14]
- Fortwo Electric Drive da Smart [15]
- Model S da Tesla [16]

Com o lançamento no mercado Português dos primeiros EVs no ano de 2010, de modo a promover a sua comercialização foi elaborado nesse mesmo ano o Decreto-Lei n.º

39/2010, de 26 de Abril [17], com o qual se pretendia entre outras matérias criar condições para a compra e utilização de EVs, através de subsídios específicos e criados para o efeito. De modo a estabelecer as condições para a atribuição desses mesmos subsídios, elaborou-se a Portaria n.º 468/2010 de 7 de Julho [18].

2.2- Princípios Físicos que Afectam a Eficiência do Veículo

Na concepção de um veículo são tidas em consideração diferentes leis e princípios da física, nomeadamente a segunda lei de Newton que nos diz: “ a aceleração de um objecto numa dada direcção é proporcional à resultante das forças exercidas no mesmo nessa direcção”. No caso de um veículo, a presença das várias forças origina uma força resultante que define a direcção e sentido do movimento de acordo com a referida lei [19].

A título de exemplo, a figura 5 mostra as forças aplicadas a um veículo num plano com a inclinação α . A força F_t representa a força de tracção desenvolvida pelo veículo e é exercida sobre a superfície onde ocorre o contacto entre as rodas motrizes e o piso.

De acordo com a mesma figura, constata-se que durante o percurso de subida existem forças cujo sentido é oposto ao do movimento do veículo. Essas forças são conhecidas por oferecerem resistência ao deslocamento do mesmo e traduzem-se nos seguintes efeitos: resistência ao rolamento dos pneus designada por R_{rf} e R_{rr} , que estão relacionadas com os binários resistentes T_{rf} e T_{rr} ; resistência aerodinâmica F_w e a componente tangencial do peso do veículo P_t dada pela expressão (2.1):

$$P_t = M \times g \times \sin \alpha \quad (2.1)$$

onde : M é a massa em kg;

g é a aceleração da gravidade em m/s^2 ;

α é o ângulo de inclinação em graus.

De notar que o valor de P_t aumenta com o aumento de α .

O sistema de propulsão é responsável pela colocação do veículo em movimento, logo para o conseguir tem que superar o sistema de forças generalizadas que se opõem ao movimento anteriormente referidas.

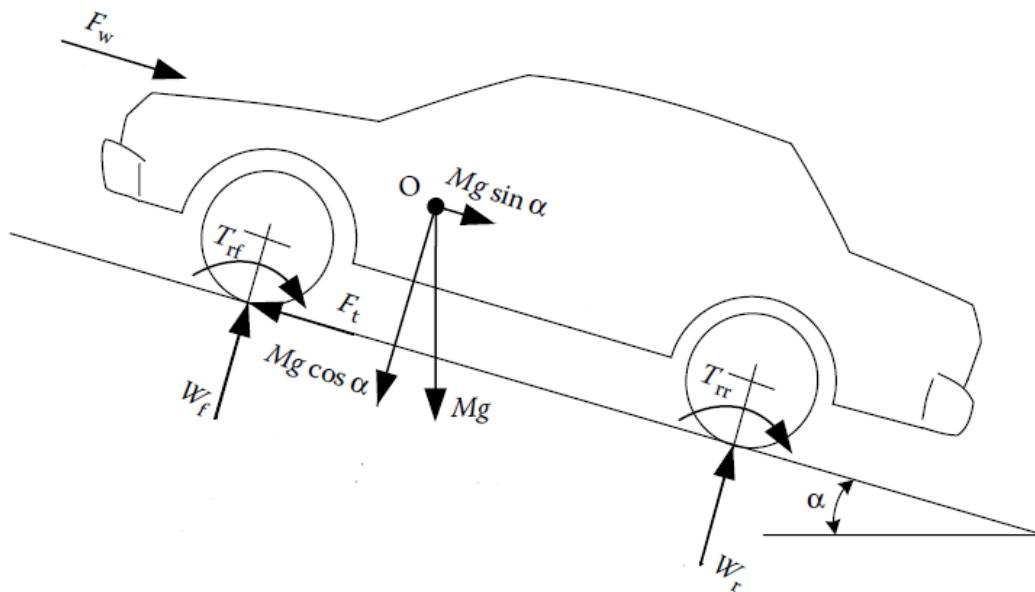


Figura 5 – Forças generalizadas aplicadas a um veículo num plano inclinado. Adaptado de [20]

Todas as forças que se opõem ao movimento, serão descritas em seguida com mais pormenor.

2.2.1 – Resistência ao rolamento

Caracteriza-se pela interacção dos pneus do veículo com a superfície. Essa interacção origina na superfície de contacto uma deformação máxima Z e uma força distribuída P_z em resposta à força P aplicada no centro da roda. A figura 6 mostra as forças que estão presentes numa roda, quando esta se encontra em repouso.

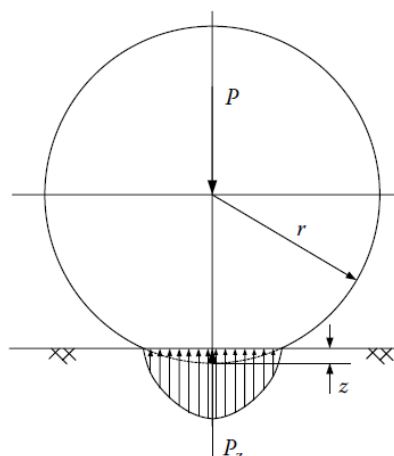


Figura 6 – Reacção (P_z) da superfície sobre o pneu em repouso. Retirado de [20]

Uma vez que a interacção entre as rodas em movimento e as diversas superfícies existentes não é igual, torna-se importante referir duas situações extremas de modo a ser

possível estabelecer uma comparação. As duas situações extremas são: rodas a rolarem sobre uma superfície dura ou sobre uma superfície macia.

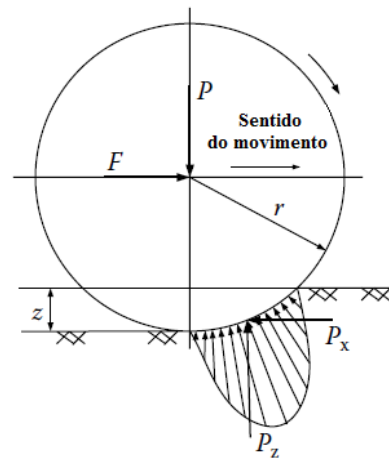
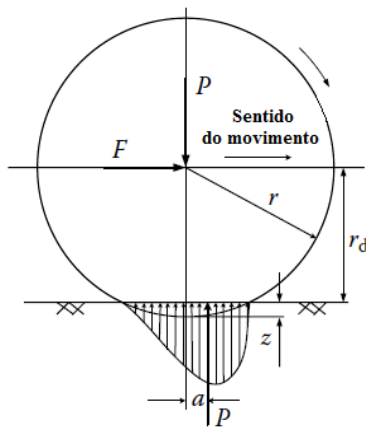


Figura 7 - Superfície dura. Adaptado de [20] Figura 8 - Superfície macia. Adaptado de [20]

Observando as figuras 7 e 8, constata-se que a força P_z distribuída sofre um deslocamento no sentido do movimento da roda, sendo a referida força também afectada pelo tipo de superfície onde o veículo se desloca [20].

Numa superfície dura, o deslocamento da força P_z deve-se à existência de uma maior deformação do pneu no lado direito (sentido do movimento) em relação ao eixo de simetria, quando comparado com o lado esquerdo. Nessa zona de maior deformação ocorre igualmente uma maior pressão. Quando se trata de uma superfície macia, o deslocamento e intensidade da reacção P_z varia em função do grau de deformação da mesma. Isto é, quanto mais a superfície se deforma à passagem do pneu, maior será a força que resiste ao movimento.

Em ambas as situações, o deslocamento da força P_z origina em relação ao eixo de simetria um momento oposto ao movimento do pneu. De modo a contrariar o efeito desse momento é necessário aplicar uma força F no centro do pneu. Como tal, o momento causado pelo deslocamento da linha de acção de P_z pode ser substituído através da aplicação de uma força equivalente designada de força de resistência ao rolamento (F_r) no centro do pneu, de sentido contrário ao movimento do veículo, cujo valor é determinado pela expressão (2.2):

$$F_r = P \times f_r \quad (2.2)$$

onde f_r representa o coeficiente de resistência ao rolamento e pode ser calculado através da expressão (2.3) :

$$f_r = \frac{a}{r_d} \quad (2.3)$$

onde a é a distância medida na horizontal entre as forças que originam o momento e r_d é o raio efectivo do pneu. O termo P refere-se à força aplicada no centro da roda. Para um plano inclinado, na expressão da força (F_r) tem que se entrar com a componente tangencial da força (P). Deste modo a expressão anterior adquire a seguinte forma:

$$F_r = P \times f_r \times \cos \alpha \quad (2.4)$$

onde α é o ângulo de inclinação em graus.

Em qualquer uma das expressões anteriores verifica-se que (f_r) influencia o valor da resistência ao rolamento (F_r). Quanto maior o valor desta última, maior será o consumo do veículo, devido à necessidade do motor ter que desenvolver uma maior força a fim de iniciar e de manter o veículo em movimento.

Recentemente, a preocupação por parte dos fabricantes na concepção de veículos com menores consumos deu também origem à produção de pneus com menores coeficientes de resistência ao rolamento. Este coeficiente depende de diversos factores desde a concepção do pneu (estrutura, material usado e tipo de rasto), passando pelas condições de utilização (temperatura e pressão dentro do pneu), sem esquecer as características e condições do piso sobre o qual o veículo circula (tipo de solo, rugosidade, seco ou molhado).

A tabela 1 apresenta alguns valores de coeficiente de resistência ao rolamento para as respectivas situações, numa situação de velocidade constante.

Tabela 1 – Valores de f_r em algumas situações [20]

Situações	Coeficiente de resistência ao rolamento
Pneu de veículo a rolar sobre cimento	0,013
Pneu de veículo a rolar sobre gravilha	0,02
Pneu de veículo em estrada de alcatrão	0,025
Pneu de veículo em estrada de terra	0,05
Pneu de camião sobre o asfalto	0,006 - 0,01
Roda de comboio sobre o carril	0,001 - 0,002

2.2.2 – Atrito aerodinâmico

Trata-se de uma força que está associada à forma da estrutura do veículo e do modo como esta interage com o ar envolvente, durante o movimento. De acordo com [20], o atrito aerodinâmico é calculado através a expressão (2.5) :

$$F_{ar} = \frac{1}{2} \times \rho \times A_{fv} \times C_d \times (V - V_{ar})^2 \quad (2.5)$$

onde ρ corresponde á densidade do ar ;

A_{fv} é a área da secção dianteira do veículo;

C_d é o coeficiente de atrito aerodinâmico;

V é a velocidade do veículo;

V_{ar} é a velocidade do vento em relação ao veículo.

Conforme se pode verificar na expressão acima, existem duas formas de reduzir a força de atrito aerodinâmico. Uma delas é através da redução do valor de A_{fv} e a outra é reduzindo o valor de C_d . Tal pode ser conseguido em simultâneo, se na fase de concepção fôr dada ao veículo uma forma o mais aerodinâmica possível, não descuidando a comportamento em estrada, a segurança e a aparência do mesmo.

Os EVs ao permitirem a colocação dos principais componentes de uma forma mais favorável (em zonas onde a temperatura é mais baixa), permitem reduzir em parte a necessidade de um arrefecimento tão acentuado através de entradas de ar existentes no veículo [6]. No entanto estas mesmas aberturas devem possuir a forma adequada de modo a não causarem a aumento do atrito aerodinâmico.

2.2.3 – Componente tangencial do peso

É uma força que está sempre presente quando o veículo se encontra num plano inclinado. Apesar de no primeiro caso esta componente se opor ao movimento do veículo (figura 5), no segundo caso é precisamente o contrário, uma vez que favorece o movimento de descida. Tal se deve ao facto de se tratar de uma força tangencial ao movimento, cujo sentido permanece inalterado. Esta força é calculada recorrendo à expressão (2.6) [6] :

$$F_h = Mg \sin \alpha \quad (2.6)$$

onde M é a massa em kg ; g é a aceleração da gravidade em m/s^2 .

2.3 -Veículos Eléctricos

Face aos veículos de combustão interna, os EVs permitem uma disposição mais flexível dos componentes ao longo da sua estrutura e desta forma um design mais flexível.

Esta flexibilidade é devida ao uso de condutores e cabos eléctricos flexíveis que transportam a energia eléctrica para todo o veículo; possibilidade de escolha entre diferentes tipos de motores tais como os motores DC, AC e inseridos nas rodas (In-Wheel); escolha quanto ao tipo de armazenamento de energia, de entre baterias, células de combustível, super condensadores e volante de inércia.

Nos veículos convencionais a estrutura é menos flexível, uma vez que são usados componentes mecânicos que embora sejam caracterizados por uma maior robustez possuem uma menor flexibilidade [21].

Para melhor se compreender a estrutura de um EV, a figura 9 mostra esquematicamente os principais sistemas que estão incluídos num EV, bem como os componentes existentes nos mesmos. Em termos de sistemas principais existe o sistema responsável pela movimentação do veículo, o sistema que garante o fornecimento/armazenamento de energia e por fim o sistema encarregue de fornecer energia aos restantes equipamentos auxiliares. Uma vez que é devido ao primeiro sistema que o veiculo se move, logo um dos componentes necessários para tal passa pelo motor eléctrico, sem esquecer o controlador do veículo e o conversor de potência essenciais ao seu controlo. Para além disso, de modo a transmitir a potência às rodas recorre-se a uma transmissão mecânica. O segundo sistema inclui o conjunto de baterias (fonte de energia), o sistema de gestão de energia e o carregador das baterias. Por fim o terceiro sistema inclui o sistema de aquecimento/arrefecimento, a direcção assistida, bomba de vácuo, etc.

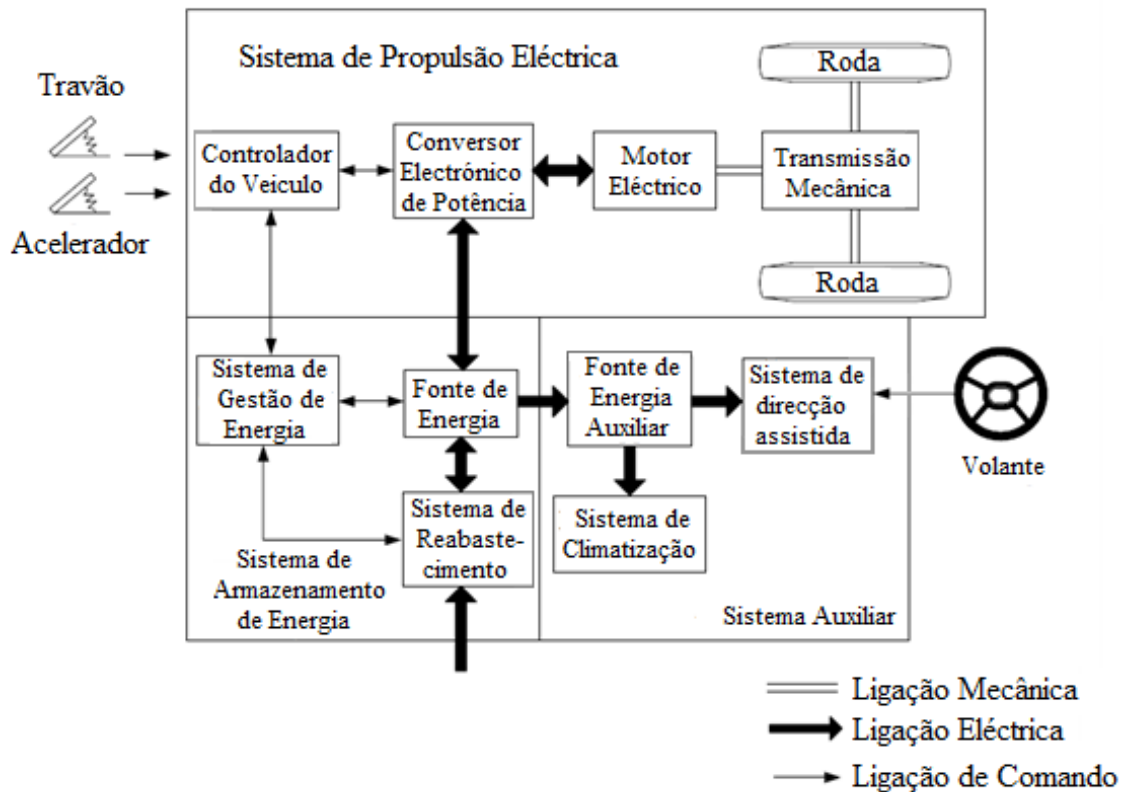


Figura 9 - Configuração Básica de um EV. Adaptado de [20]

A partir da informação que o condutor transmite ao veículo (através dos pedais do acelerador e travão), o sistema de controlo do mesmo através de comunicação bilateral transmite informações ao conversor de potência e ao sistema de gestão de energia. Com base nas informações provenientes do controlador do veículo, o conversor de potência tem a função de controlar o binário desenvolvido pelo motor eléctrico, controlando a corrente que circula no estator do motor. O binário é função directa da posição do pedal do acelerador. O sistema de gestão de energia é responsável pelo armazenamento da energia obtida tanto através da travagem regenerativa, como através da rede eléctrica.

O sistema auxiliar tem como função fornecer energia ao sistema de climatização, direcção assistida e restantes equipamentos auxiliares [22].

Apesar da referência a estes sistemas, no âmbito deste trabalho apenas serão abordados por esta ordem, a fonte de energia (mais concretamente baterias, volante de inércia e super condensadores), o sistema de propulsão e o motor eléctrico.

2.3.1 - Baterias

Regra geral uma bateria é composta por um conjunto de células nas quais se destacam os seguintes componentes: um eléctrodo positivo, outro negativo e um electrólito [23], [3], [24]. O eléctrodo positivo (cátodo) é aquele que recebe os electrões, enquanto o eléctrodo negativo (ânodo) é aquele que os fornece. Ambos os eléctrodos são colocados em contacto com o electrólito, cuja função é promover o transporte de iões entre os mesmos [23]. De modo a evitar o contacto entre cada um dos eléctrodos, finas camadas de material isolante são colocadas entre os mesmos, mais conhecidas por separadores.

Trata-se de um dispositivo muito importante de um EV, sem o qual o desenvolvimento do mesmo seria impossível. Tem como funções armazenar energia e posteriormente fornecê-la quando for necessário. Basicamente funciona como o depósito de combustível de um EV [3].

Enquanto nos veículos convencionais, as baterias vão sendo carregadas durante o funcionamento do motor de combustão graças ao alternador, nos EVs isso não acontece. Assim sendo, torna-se necessário o seu carregamento através de uma fonte de energia exterior.

Uma das características importantes a ter em conta numa bateria é o seu ciclo de vida. O ciclo de vida corresponde ao número de vezes que a bateria pode ser carregada e descarregada durante a sua vida útil. A partir do momento em que a bateria não suporte um carregamento superior a 80% da sua capacidade considera-se que o ciclo de vida da mesma terminou [25]. Quanto maior o ciclo de vida, maior será a sua duração.

Para além desta, há ainda outras características importantes que as baterias dos EVs devem observar, tais como [3], [23], [25] :

- Energia Especifica - expressa a quantidade de energia que a bateria pode armazenar por unidade de massa, para um dado valor de taxa de descarga. Uma elevada energia específica permite uma maior autonomia;
- Densidade de Energia – expressa a quantidade de energia que a bateria pode armazenar por volume e para um dado valor de taxa de descarga. Uma elevada densidade de energia permite baterias mais compactas;
- Potência Especifica ou Densidade de Potência – corresponde à quantidade máxima de potência por unidade de massa que a bateria fornece para um determinada profundidade de descarga. O seu valor é máximo com a bateria

completamente carregada e á medida que a mesma vai sendo descarregada, tanto o valor da potência específica como a aceleração do veículo vão sendo menores. Quanto maior fôr este valor, maior a capacidade de fornecer energia nas acelerações e subidas;

- Elevada eficiência energética (utilização mais económica da energia após recarga);
- Baixa auto descarga (baixo consumo interno de energia quando não está ser utilizada);
- Rapidez de carga (para um carregamento rápido);
- Baixo custo;
- Pouca ou nenhuma manutenção;
- Imune às condições ambientais;
- Robustez;
- Não prejudicial para o ambiente (não utilização de materiais tóxicos);
- Produzida a partir de materiais abundantes;
- Resistente mesmo em caso de acidente.

Em termos tecnológicos existem diversos tipos de baterias no mercado. Assim, de seguida serão abordados alguns tipos de baterias, tais como: Chumbo-Ácido (Pb), Níquel-Cádmio (NiCd), Hidreto metálico de Níquel (NiMH), Sulfureto de Sódio (NaS), Cloreto de Sódio Metálico (ZEBRA), Iões de Lítio (Li-Ion), Polímero de Lítio, Lítio Fosfato de Ferro (LiFePO₄), Ar-Alumínio e Ar-Zinco.

2.3.1.1- Baterias de Chumbo-Ácido (Pb)

Foram inventadas em 1859 pelo físico francês Gaston Planté [26] e aperfeiçoadas com o passar do tempo para poderem ser usadas em várias aplicações, de tal forma que hoje em dia são das baterias recarregáveis que mais se encontram em uso nos veículos convencionais.

Na sua composição entram elementos como o dióxido de chumbo (PbO₂) o qual faz parte do eléctrodo positivo (cátodo), chumbo metálico em forma porosa (Pb) que constitui o eléctrodo negativo (ânodo) e uma solução aquosa de ácido sulfúrico (H₂SO₄) denominada de electrólito [3], [24]. As figuras 10 e 11 mostram em detalhe a constituição de uma bateria deste tipo.

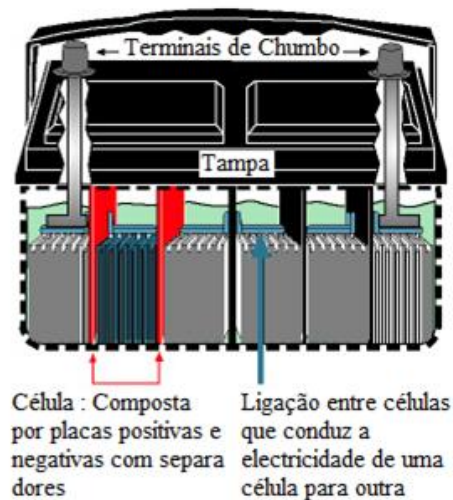


Figura 10 – Interior de uma bateria Chumbo-Ácido (Pb) [27]

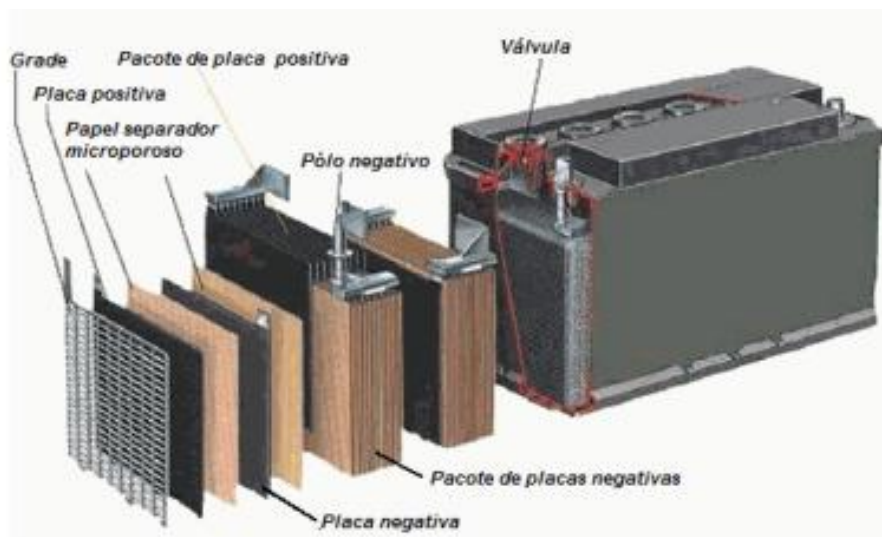


Figura 11 - Componentes de uma bateria Chumbo-Ácido (Pb) [28]

Devido às reacções químicas existentes entre os componentes das baterias Chumbo-Ácido, no funcionamento das mesmas ocorre a formação de água [24], [3]. No entanto, de acordo com [24], acima de um determinado valor de tensão, a água existente transforma-se em hidrogénio e oxigénio, o que implica a reposição do seu nível. Somente na década de 70, fruto de pesquisa por parte de investigadores surgiu a bateria Chumbo-Ácido designada por VRLA (*valve regulated lead-acid*), que não requeria qualquer manutenção, uma vez que a mesma era selada e continha válvulas que permitiam a saída dos gases originários do funcionamento da mesma [26]. Com as baterias VRLA solucionou-se o problema da reposição do nível de água, pois o hidrogénio e o oxigénio são transformados novamente em água [24].

No que concerne a vantagens e desvantagens das baterias Chumbo-Ácido, as mesmas são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens das baterias Chumbo-Ácido [24], [3], [26]

Vantagens	Desvantagens
Baixo custo e facilidade de produção	Baixa densidade energética
Fiabilidade	Peso elevado
Baixa auto-descarga	Período de carga longo
Pouca manutenção	Baixo ciclo de vida
Robustez	Inimiga do Ambiente
Elevada Eficiência Energética	Necessárias restrições no seu transporte
Permite a utilização numa gama alargada de temperaturas	

2.3.1.2 - Baterias de Níquel - Cádmio (NiCd)

Surgiram no ano de 1899, desenvolvidas por Waldmar Junger. Por se tratar de uma bateria que necessitava de materiais caros, na época o seu uso não foi generalizado. Ao longo dos anos este tipo de baterias foi sendo aperfeiçoada, mas só em 1947 foram efectuadas pesquisas com vista ao desenvolvimento de baterias NiCd seladas, com vista ao reaproveitamento dos gases durante o ciclo de carga. Ainda hoje as baterias NiCd utilizam este conceito [26].

São constituídas por um ânodo de cádmio (Cd), um cátodo de hidróxido de níquel (Ni(OH)_2) e por um electrólito de hidróxido de potássio (KOH) [24].

Na figura 12 pode-se observar a instalação de um conjunto de baterias NiCd como parte integrante de um EV.



Figura 12 - Conjunto de baterias de NiCd [29]

A tabela 3 sumariza as vantagens e desvantagens das baterias NiCd :

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens das baterias NiCd [24], [26]

Vantagens	Desvantagens
Rapidez de carga	Custo superior às de chumbo
Transporte sem grandes restrições	Efeito memória
Grande ciclo de vida face às de chumbo	Elevada auto descarga
Boa performance mesmo a baixas temperaturas	Densidade energética baixa face a outras baterias mais novas
Económica em termos de custo por ciclo	Prejudiciais ao ambiente
Possui vários formatos e tamanhos	

2.3.1.3 - Baterias de Hidreto metálico de Níquel (NiMH)

O seu desenvolvimento começou na década de 1970 na tentativa de armazenar o hidrogénio numa bateria de níquel hidrogénio.

Inicialmente não se conseguia que as ligas do hidreto metálico permanecessem estáveis dentro da bateria, fazendo com que a performance obtida ficasse aquém do desejado. A partir da década de 1980 com a descoberta de novas ligas, estáveis o suficiente para serem introduzidas dentro das baterias, têm sido levados a cabo melhoramentos principalmente ao nível da densidade energética [26].

Na sua composição usam-se ligas metálicas capazes de armazenar átomos de hidrogénio no ânodo, hidróxido de níquel no cátodo e no electrólito uma solução de hidróxido de potássio [30].

Devido ao facto de possuírem elevada densidade energética e de potência, para além de somente em determinadas circunstâncias ocorrer o efeito de memória, tem contribuído para a aplicação deste tipo de baterias em EVs. O seu uso tem sido alargado aos HEVs conforme se pode observar nas figuras 13 e 14, onde consta um conjunto de baterias do Toyota Prius.



Figura 13 - Conjunto de baterias NiMH Toyota (vista de cima) [31]



Figura 14 – Conjunto de baterias NiMH Toyota (vista lateral) [32]

Relativamente às vantagens e desvantagens, a tabela 4, apresenta as características associadas a este tipo baterias:

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens das baterias de NiMH [24], [26]

Vantagens	Desvantagens
Menor risco de ocorrência do efeito de memória	Ciclo de vida limitado. Deve-se evitar descarregar a bateria por completo de forma a preservar a mesma.
As toxinas existentes podem ser recicladas	Necessário maior tempo de carregamento – o mesmo deve ser feito de forma controlada
Transporte sem restrições	Elevada auto-descarga
Possuem uma densidade energética cerca de 40% superior às baterias NiCd	Sensíveis a elevadas temperaturas – pois origina a quebra de performance.
	Requer uma elevada manutenção
	Preço superior às de NiCd

2.3.1.4 - Baterias de Sódio - Enxofre (NaS)

A sua origem remonta ao ano de 1966, quando cientistas da empresa americana Ford as desenvolveram [33], [3]. Anos mais tarde, a união de esforços entre as empresas japonesas NGK INSULATORS, LTD. (NGK) e Tokyo Electric Power Co. (TEPCO) conduziu ao desenvolvimento deste tipo de baterias, de tal modo que em 2003 a NGK iniciou o seu processo de produção para fins comerciais [34].

Na sua composição são usados sódio, enxofre e um composto cerâmico (beta-alumina) no estado sólido, que compõem o ânodo, cátodo e o electrólito, respectivamente. A figura 15 mostra como são dispostos cada um dos componentes.

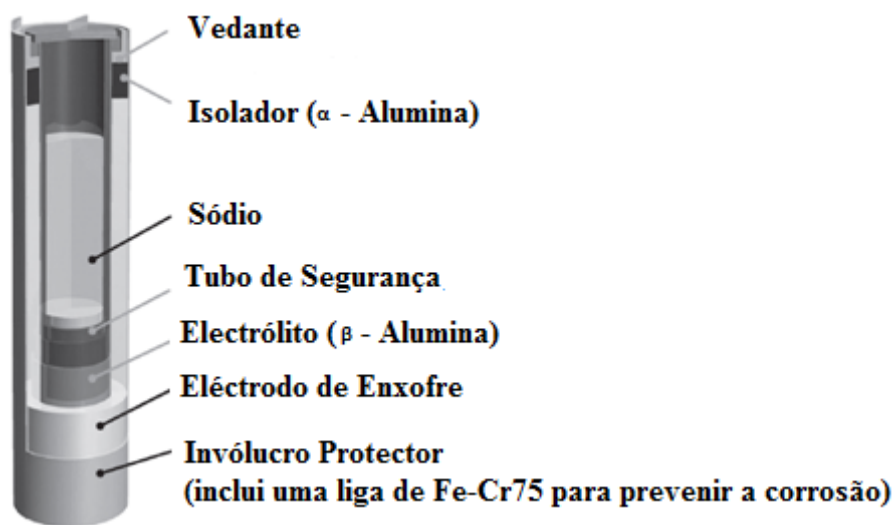


Figura 15 - Constituintes de uma bateria de NaS [34]

As vantagens e desvantagens que caracterizam este tipo de baterias são apresentadas na tabela 5:

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens das baterias NaS [24], [26]

Vantagens	Desvantagens
Feita com materiais baratos	Necessita de uma temperatura perto dos 350°C de modo a manter o electrólito no estado líquido
Longo ciclo de vida	Possibilidade de o electrólito criar micro físsuras e entrar em contacto com o enxofre com resultados perigosos
Elevada densidade energética e de potência	

2.3.1.5 - Baterias de Cloreto de Níquel - Sódio Metálico (ZEBRA)

Trata-se de um tipo de baterias cuja origem remonta aos anos 70, altura em que foram desenvolvidas nos laboratórios do concelho para a pesquisa científica e industrial (CSIR), situados na cidade de Pretória na África do Sul. Aqui foi estudada a composição química de um eléctrodo de enxofre, no qual enxofre líquido fora introduzido numa estrutura zeólita. Porém a ausência de meios, para uma melhor análise deste eléctrodo, conduziu a um pedido de colaboração ao laboratório Harwell que para além de ter experiência em baterias de sódio/enxofre, possuía a tecnologia necessária. O mesmo laboratório atribuiu o nome de ZEBRA a estas baterias, cujo significado é: zeólitos aplicados na pesquisa de baterias em África. Porém, experiências levadas a cabo em laboratório não revelaram resultados animadores e o conceito foi abandonado [3].

Nos dias de hoje são constituídas por um ânodo de sódio no estado sólido, um cátodo de cloreto de níquel e por um electrólito composto por uma solução de tetracloroaluminato de sódio (NaAlCl_4) [24].

As figuras 16 e 17 mostram uma bateria ZEBRA para instalação num autocarro eléctrico de fabrico italiano.



Figura 16 - Exemplo de bateria Zebra fabricada na Suíça [35]



Figura 17 - Bateria Zebra instalada num autocarro eléctrico Gulliver de fabrico Italiano [35]

As vantagens e desvantagens destas baterias apresentam-se na tabela 6.

Tabela 6 - Vantagens e desvantagens das baterias ZEBRA [24], [6], [36]

Vantagens	Desvantagens
Elevada energia específica, seis vezes superior às de chumbo	Requerem o uso de invólucro sob vácuo de modo reduzir as perdas por calor
Elevada potência específica	Temperatura de funcionamento entre os 300 - 350°C
Elevada densidade energética	Necessário aquecimento lento antes de serem usadas. Se não forem usadas durante mais de um dia necessitam de aquecedores eléctricos
Longo ciclo de vida idêntico às de Sulfureto de Sódio	Elevada auto-descarga. Pode atingir os 10%
Sem efeito de memória	Longo período de carga
Elaborada com materiais renováveis	

2.3.1.6 - Baterias de Iões de Litio (Li-Ion)

Fruto do trabalho pioneiro de Gilbert Newton Lewis, surge em 1912 a primeira bateria de lítio. Mais tarde, nos anos 70 foram levados a cabo esforços para desenvolver uma bateria de lítio recarregável, mas devido a problemas relacionados com a utilização das mesmas de forma segura, tal não foi possível.

No ano de 1991 começam a ser comercializadas pela Sony as primeiras baterias de iões de lítio. Na altura, estas continham um produto derivado do carvão no eléctrodo negativo (ânodo), porém pesquisas posteriores revelaram que o uso de grafite permitia um fornecimento de energia mais duradouro face ao derivado do carvão. No caso do eléctrodo positivo (cátodo) foram usados dois componentes, o cobalto e o manganês. A

principal diferença reside no facto do manganês ser mais seguro e mais resistente em caso de sobrecarga do que o cobalto. [26]

Actualmente são compostas por um ânodo de grafite contendo iões de lítio no seu interior, um cátodo de óxido de lítio e por um electrólito formado por uma solução líquida de lítio. Também possuem membranas cuja função consiste em separar os electrões dos iões de lítio [24].

A figura 18 mostra parte do interior de uma bateria de iões de lítio.



Figura 18 – Exemplo de uma bateria de iões de Lítio [37]

As baterias de lítio, tal como noutros casos apresentam vantagens e desvantagens que se resumem na tabela 7.

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens das baterias Li-Ion [26], [38]

Vantagens	Desvantagens
Elevada densidade de energia	Necessita de circuito de protecção para manter os níveis de tensão dentro da bateria
Elevada energia específica	Corrente de descarga moderada
Certos tipos de bateria de lítio possuem elevada capacidade de descarga	Susceptível de deterioração da capacidade. O armazenamento da mesma com uma carga de 40% reduz este efeito
Baixa auto-descarga	Custo elevado face a outras baterias
Pouca manutenção	Sujeita a restrições no transporte de grandes quantidades

2.3.1.7 - Baterias de Polímero de Lítio

Foi inicialmente criada nos anos 70 e a sua principal característica residia no facto do electrólito usado ser um electrólito de polímero e se encontrar no estado sólido, ao invés do estado líquido. O uso deste tipo de electrólito (parecido com um filme de plástico) permitia a passagem dos iões, sem no entanto permitir a passagem da electricidade.

Em termos construtivos, a utilização do electrólito de polímero conduz à simplificação de todo o processo, para além de possibilitar a integração destas baterias nas mais diversas aplicações, uma vez que as mesmas podem ter espessuras reduzidas, ocupando assim pouco espaço.

No entanto as baterias de polímero de lítio apresentam uma fraca condutividade, pois a sua resistência interna apresenta um valor elevado, descendo quando as mesmas são submetidas a temperaturas na ordem dos 60°C, melhorando assim a sua condutividade. Com vista à resolução deste problema foi adicionado um electrólito em gel [26], [38].

A figura 19 mostra uma bateria de polímero de lítio.

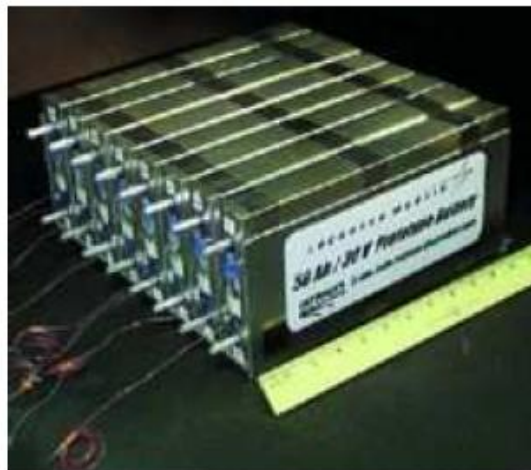


Figura 19 - Bateria de Polímero de Lítio produzida pela Lockheed –Martin [39]

A tabela 8 evidencia de forma reduzida as vantagens e desvantagens das baterias de polímero de lítio.

Tabela 8 - Vantagens e desvantagens das baterias de Polímero de Lítio [38]

Vantagens	Desvantagens
Elevada densidade de energia	Restrições no seu transporte (no caso das companhias aéreas)
Não requerem manutenção	Se perfurada pode originar explosão
Reduzida auto-descarga	Tecnologia em aperfeiçoamento
Baixo peso	Requer um circuito de protecção de modo a manter os níveis de tensão na bateria
Não possui efeito de memória	Susceptível de deterioração da capacidade. O armazenamento da mesma com uma carga de 40% reduz este efeito
Espessuras reduzidas	
Permite o embalamento de diversas formas	

2.3.1.8- Baterias de Lítio Fosfato de Ferro (LiFePO₄)

Este tipo de baterias foi descoberto por John Goodenough no ano de 1997 [40]. Constitui uma das variantes que existem nas baterias de iões de lítio, sendo constituídas por um eléctrodo negativo de grafite, um eléctrodo positivo de lítio fosfato de ferro (LiFePO₄) e por um electrólito de sal de lítio (LiPF₆) impregnado num material separador [41].

A utilização de fosfato de ferro no cátodo torna estas baterias mais seguras, mesmo em situações de sobrecarga ou curto-circuito, dado tratar-se de um composto bastante estável. Para além disso, em caso de aquecimento excessivo este composto não se danifica. As figuras 20 e 21 mostram uma bateria de LiFePO₄ e um exemplo de aplicação deste tipo de baterias, respectivamente.



Figura 20 - Bateria de LiFePO₄ [42]



Figura 21 - Figura – Autocarro alimentado a baterias de LiFePO_4 [43]

As vantagens e desvantagens destas baterias estão mencionadas na tabela 9.

Tabela 9 - Vantagens e desvantagens das baterias LiFePO_4 [40], [41], [44], [45]

Vantagens	Desvantagens
Utiliza materiais baratos e não tóxicos	Eléctrodos com baixa condutividade
Boa estabilidade química e térmica, o que as torna muito seguras	Em aplicações que necessitem de elevadas taxas de descarga o seu desempenho é fraco
Bateria amiga do ambiente na produção e reciclagem	A fim de melhorar os pontos anteriores é necessária a utilização de nano materiais
Não possuem efeito de memória	
Funcionam numa variada amplitude de temperaturas (-20 °C a +70 °C)	
Longo ciclo de vida (>1000 ciclos)	

2.3.1.9 - Baterias de Ar-Alumínio

Todas as baterias anteriormente referidas permitiam o seu carregamento bastando para tal ligá-las a um carregador adequado. Contudo, tanto as baterias de ar - alumínio como as de ar - zinco têm um conceito totalmente diferente de bateria recarregável, pois tanto os componentes que formam os eléctrodos como os que formam o electrólito têm que ser substituídos quando a carga da bateria chega ao fim, tendo certas parecenças com os automóveis convencionais no que toca ao combustível dentro do depósito. Os componentes substituídos são posteriormente reciclados e reutilizados quando for necessário.

O eléctrodo negativo (ânodo) é composto por alumínio, o positivo (cátodo) consiste numa estrutura porosa feita de uma malha metálica na qual é prensada uma camada de carbono catalisada, e o eléctrodo consiste numa solução alcalina de hidróxido de potássio [6].

A figura 22 mostra uma bateria deste género.



Figura 22 - Bateria de Ar - Alumínio produzida pela empresa Phinergy [46]

Na tabela 10 apresentam-se as vantagens e desvantagens destas baterias.

Tabela 10 - Vantagens e desvantagens das baterias de Alumínio – Ar [3]

Vantagens	Desvantagens
Elevada energia específica	Necessária substituição das placas de alumínio, pois o funcionamento da bateria origina corrosão nas mesmas
Recarga da bateria mais rápida	Baixa eficiência energética

2.3.1.10- Baterias de Ar-Zinco

São semelhantes às baterias de ar - alumínio, mas possuem uma potência específica muito superior, o que as torna adequadas para serem aplicadas em EVs.

A nível construtivo possuem um eléctrodo positivo poroso, onde ocorre a reacção entre o oxigénio e o electrólito, um electrólito composto por uma solução alcalina de hidróxido de potássio (KOH) e por um eléctrodo negativo feito de zinco [6].

As figuras 23 e 24 mostram o interior de uma bateria ar - zinco e a mesma em pormenor, respectivamente.

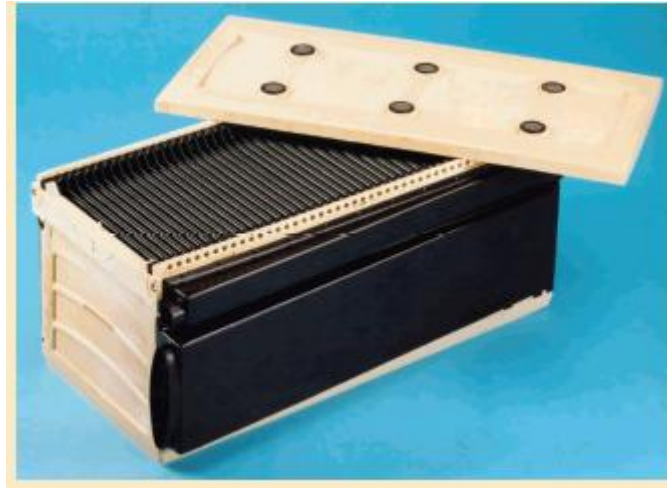


Figura 23 - Bateria de Ar – Zinco [47]

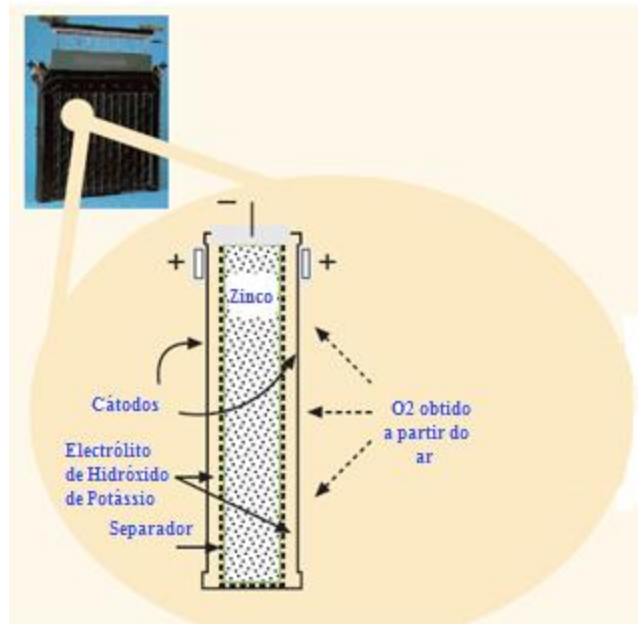


Figura 24 - Pormenor da bateria de Ar – Zinco [47]

As vantagens e desvantagens destas baterias encontram-se na tabela 11

Tabela 11 - Vantagens e desvantagens das baterias de Ar – Zinco [6]

Vantagens	Desvantagens
Potência específica 10 vezes superior á de ar -alumínio	Elevada auto-descarga
Baixo tempo de recarga	Comercialmente pouco disponível
Elevada densidade energética	Resistência interna mediana
Elevada energia específica	
Longo ciclo de vida	

2.3.1.11 - Análise Comparativa de Baterias

Dada a existência de vários tipos de baterias (algumas delas descritas anteriormente), torna-se interessante e necessário fazer um estudo comparativo entre as mesmas, com vista a uma melhor percepção da utilidade e da adequabilidade de cada tipo de bateria.

De todas as baterias apresentadas, as de chumbo – ácido são as menos adequadas para serem usadas em EVs de elevada performance, devido essencialmente à baixa energia específica, na ordem dos 30Wh/Kg e ao seu elevado peso. Ainda assim é das baterias mais antigas pelo que a sua tecnologia está bastante desenvolvida, permitindo o seu baixo custo face a outros tipos de baterias. Para além disso a utilização deste tipo de baterias tem-se centrado em equipamentos industriais de movimentação de cargas, por exemplo empilhadores [48] , bem como em veículos que circulam a baixas velocidades [49], tais como carros de golfe [50].

As baterias de chumbo – ácido apresentam um tempo de carregamento de 8 a 16h, bem como uma elevada tolerância a sobrecargas [26].

Recentemente, têm sido levadas a cabo melhorias neste tipo de baterias com vista à obtenção de valores de energia específica superiores, originando no entanto uma redução no período de vida útil das mesmas.

As baterias níquel - cádmio apresentam um valor de energia específica de 50 Wh/Kg, quase o dobro das baterias de chumbo - ácido. Para além disso, possuem um longo ciclo de vida, uma tolerância a sobrecargas moderada, um tempo de carregamento típico de 1h [26], e funcionam bem mesmo em condições que não sejam as ideais. No entanto, o seu custo de manutenção é elevado, a utilização do cádmio acarreta preocupações ambientais e devido ao efeito de memória revela não estar adaptada para lidar com regimes onde as taxas de carga e descarga sejam elevadas, como acontece nos EVs [48]. Ainda assim de acordo com [30], apesar de terem sido aplicadas há anos atrás em EVs na Europa, posteriormente foram substituídas por baterias de íões de Lítio.

As baterias de hidreto metálico de níquel caracterizam-se pela ausência de produtos nocivos para o ambiente e também por permitirem carregamentos rápidos [20]. No entanto, em relação às baterias de níquel - cádmio, as baterias de hidreto metálico de níquel possuem uma menor tolerância a sobrecargas e requerem períodos de carregamento maiores (2h-4h) [26], originando um maior aquecimento durante o processo de carga. Devido a isto, os carregadores utilizados no carregamento deste tipo de baterias são mais complexos e de maior custo. Essencialmente são baterias que se

utilizam quando se dispõe de mais do que uma fonte de energia, como é o caso dos HEVs, por exemplo o Toyota Prius [51]. No entanto e de acordo com [52], a Toyota incluiu no Prius Plug-in de 2012 lançado no Japão baterias de íons de lítio.

Outro tipo de baterias muito importante são as baterias que utilizam sódio na sua composição. Entre elas existem as baterias de sódio - enxofre e as de cloreto de níquel - sódio (Zebra). Devido às elevadas temperaturas necessárias para o seu bom funcionamento, na ordem dos 300-350°C, as baterias Zebra são empregues em aplicações de uso frequente [49], como é o caso dos autocarros. Relativamente a características técnicas, constata-se que apesar da energia específica destas baterias atingir valores próximos aos das baterias de íons de lítio, em termos de densidade de energia e de potência específica, os valores obtidos estão um pouco afastados face às baterias de lítio. Para além disso, o custo das baterias Zebra é um dos mais elevados conforme a tabela 12. De acordo com [49], as baterias de sódio – enxofre apresentam problemas de segurança relativamente ao electrólito, uma vez que caso ocorram danos no mesmo existe risco de incêndio e até mesmo de explosão.

No que diz respeito às baterias de íons de lítio, as mesmas são consideradas uma das fontes de energia mais favoráveis para a inclusão em EVs, devido ao baixo peso, ausência de metais poluentes, bem como aos valores de energia específica, potência específica e densidade de energia que possuem [53]. Além disso permitem um tempo de carregamento de 1-2h e apresentam uma muito baixa tolerância a sobrecargas. Conforme indicado na tabela 12, face às baterias níquel cádmio e níquel hidreto metálico, as de íons de lítio apresentam um custo de produção inferior e uma maior eficiência energética. De notar que apenas as baterias de ar - zinco superam as de lítio em termos de energia específica e densidade de energia, já em termos de eficiência energética, ciclo de vida e potência específica isso não acontece como se pode constatar na tabela 12. Relativamente às baterias de lítio fosfato de ferro, estas apresentam uma elevada potência específica e um grande ciclo de vida, sendo apenas superadas pelas baterias de hidreto metálico de níquel. Ainda assim, o preço deste tipo de baterias é um dos mais elevados como consta na tabela 12.

Tabela 12 - Comparação de diferentes tipos de baterias [53] [6] [26]

Tipo de Bateria	Energia Especifica (Wh/Kg)	Densidade de energia (Wh/L)	Potência Especifica (W/Kg)	Ciclo de Vida	Eficiência Energética (%)	Custo de Produção (\$/KWh)	Tempo de Carregamento	Toxicidade	Tolerância a sobrecargas
Chumbo Ácido	35	100	180	1000	>80	60	8-16h	Muito Elevada	Elevada
Níquel Cádmio (Ni-Cd)	50 - 80	300	200	2000	75	250 - 300	1h	Muito Elevada	Moderada
Hidreto Metálico de Níquel (Ni-MH)	70 - 95	180 - 220	200 - 300	<3000	70	200 - 250	2-4h	Baixa	Baixa
Sódio - Enxofre	150 - 240	-	150 - 230	800	80	250 - 450	8h	-	-
Cloreto de Níquel - Sódio (Zebra)	90 - 120	160	155	1200	80	230 - 345	8h	-	-
Iões de Lítio	118 - 250	200 - 400	200 - 430	2000	>95	150	2-4h	Baixa	Muito Baixa
Polímero de Lítio	130 - 225	200 - 250	260 - 450	>1200	97	150	1-2h	-	Baixa
Lítio Fosfato de Ferro	120	220	2000 - 4500	>2000	92	350	1-2h	Baixa	Moderada
Ar - Alumínio	220	-	60	-	-	-	10 min	-	-
Ar - Zinco	460	1400	80 - 140	200	60	90 - 120	10 min	-	-

Com base na análise comparativa efectuada, pode-se concluir que os dois tipos de baterias mais adequados para os EVs são as de íões de lítio e as de lítio fosfato de ferro. No entanto é ainda possível concluir que as baterias de ar - zinco são promissoras, se a sua tecnologia for aperfeiçoada com vista à melhoria de características técnicas tais como: a eficiência energética, o ciclo de vida e a potência específica, conforme mostra a tabela 12

2.3.2 - Volante de Inércia

É um dispositivo que se destina a converter energia eléctrica em energia cinética, armazenando-a e quando necessário transformando a energia acumulada novamente em energia eléctrica. Basicamente o volante de inércia é constituído por um disco em fibra de carbono de alta resistência, rolamentos magnéticos, um motor/gerador eléctrico e por um dispositivo electrónico de controlo de potência [54].

O fornecimento de energia eléctrica ao motor faz girar o disco, fazendo com que o sistema armazene energia. Quando é necessário usar a energia armazenada, interrompe-se o fornecimento de energia eléctrica ao motor e à medida que o disco desacelera ocorre a transformação de energia cinética em eléctrica, uma vez que o motor funciona agora como gerador [55].

Os volantes de inércia possuem a capacidade de armazenar e fornecer energia num curto período de tempo, capacidade que as baterias não têm devido aos processos químicos que ocorrem no interior das mesmas [56]. Para além disso, de acordo com [56], as flywheels têm sido usadas com vista à recuperação da energia cinética perdida pelo veículo na forma de calor durante a travagem, ou seja travagem regenerativa. Exemplo disso é a aplicação das mesmas nos carros da Formula 1 da Williams. De acordo com [57], a energia obtida através deste processo é usada posteriormente para carregar as baterias.

Esta tecnologia foi implementada num protótipo híbrido (gasolina e electricidade) da Ford com o nome Synergy 2010 [58].

Actualmente, o uso de materiais compósitos em volantes de inércia tem permitido um aumento significativo na capacidade de armazenamento ao nível da densidade de energia [56], ao mesmo tempo que as tem tornado mais leves.

A figura 25 mostra esquematicamente, o interior de um volante de inércia.

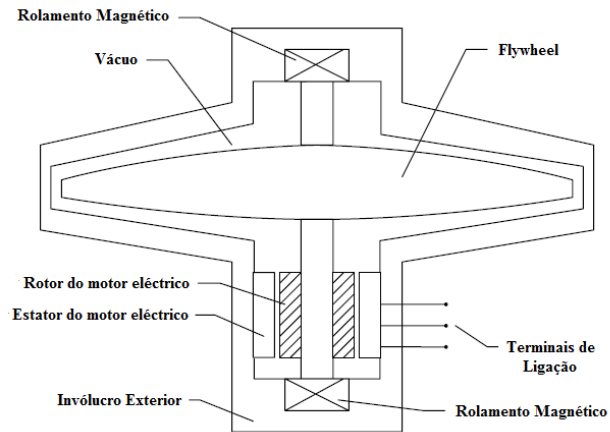


Figura 25 - Interior de um Volante de Inércia [20]

As vantagens e desvantagens do volante de inércia são apresentadas na tabela 13.

Tabela 13 - Vantagens e desvantagens do volante de inércia (Adaptado de [54], [55], [24])

Vantagens	Desvantagens
Potência específica muito superior às baterias comuns	Energia específica cerca de 40 Wh/kg, semelhante às baterias de chumbo-ácido
Baixa manutenção	Existência de preocupações relativas à segurança do sistema devido às elevadas velocidades de rotação obtidas
Não produz poluição	Tecnologia ainda em desenvolvimento
Design e operação flexíveis	Custo elevado
Longo ciclo de vida	
Carregamento rápido devido à elevada potência específica	
Elevada eficiência na ordem dos 90%	
Reduzida taxa de auto-descarga	
Ausência de reacções químicas, bem como de emissões de gás	

2.3.3 - Super Condensador

Um super condensador, também designado como um condensador electroquímico ou ultracondensador [24], tem como função armazenar energia. O armazenamento de energia é feito através da acumulação e da separação física de cargas opostas, ao invés das baterias que o fazem recorrendo a processos químicos e reversíveis [55].

Os super condensadores são constituídos por um electrólito condutor de iões (solução aquosa ou líquido orgânico), dois eléctrodos condutores e uma membrana condutora de iões chamada separador que separa ambos os eléctrodos.

O seu desenvolvimento tem sido direccionado para o fornecimento de energia nas acelerações, subidas e na recuperação de energia de travagem. Para além disso, podem também ser úteis como sistema auxiliar em HEVs, fornecendo energia às baterias tradicionais, podendo estas terem um formato mais compacto [24].

O supercondensador permite um carregamento rápido devido à elevada potência específica e tem um longo ciclo de vida, no entanto a sua fraca energia específica não permite que os super condensadores venham para já substituir os sistemas de baterias nos EVs [54].

As figuras 26 e 27 mostram o interior de um super condensador e um conjunto de super condensadores, respectivamente.

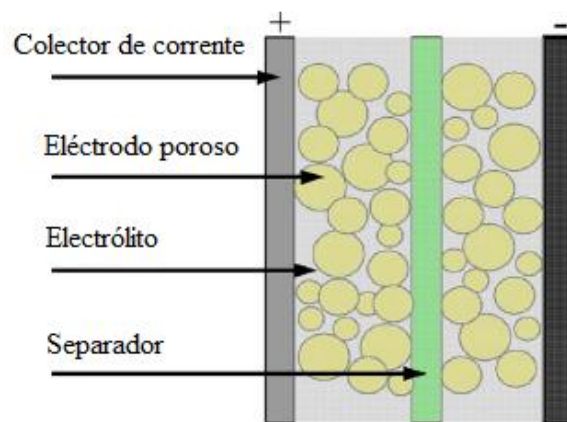


Figura 26 - Interior de um Super Condensador [59]

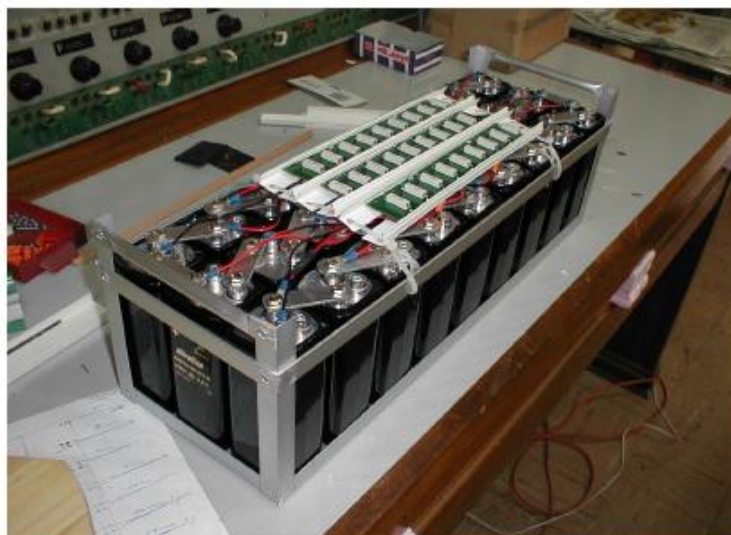


Figura 27 - Conjunto de Super Condensadores [54]

De acordo com [60], foram incorporados super condensadores num autocarro híbrido do fabricante Scania.

No que diz respeito às vantagens e desvantagens dos super condensadores, as mesmas encontram-se na tabela 14.

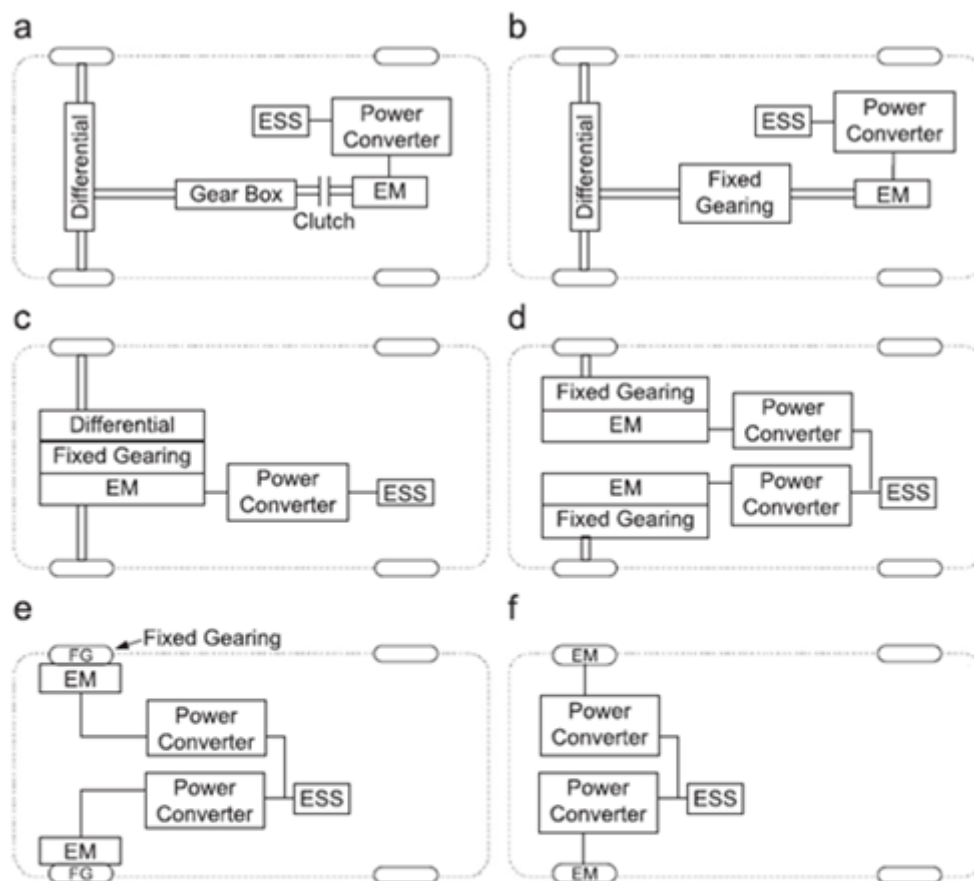
Tabela 14 - Vantagens e desvantagens dos Super Condensadores (Adaptado de [55], [24], [61])

Vantagens	Desvantagens
Potência específica superior á das baterias	Energia específica inferior á das baterias
Longo ciclo de vida	Possibilidade de uma larga dispersão de tensão entre cada célula
O facto de não serem usados por um longo período de tempo, não afecta de forma muito significativa a sua capacidade	Fornecimento de energia em curto espaço de tempo
Tempo de carga rápido	Custo elevado
Elevada eficiência	
Taxa de descarga elevada	

2.3.4 - Sistema de Propulsão

À semelhança do que acontece com os veículos convencionais, nos EVs podem ser aplicados alguns tipos de sistemas de propulsão. Nos primeiros, este sistema é composto basicamente pelo motor, caixa de velocidades, diferencial, semi-eixos e rodas, podendo o mesmo sistema transmitir movimento às rodas dianteiras, traseiras ou às quatro rodas. Consoante o número de rodas às quais se transmite movimento, bem como o eixo onde as mesmas se encontram, o sistema de propulsão adquire disposições e dimensões diferentes.

No caso dos EVs, o sistema de propulsão pode ter seis configurações distintas, que se apresentam na figura 28. Observando atentamente a referida figura constata-se que o sistema de propulsão pode incluir apenas um ou dois motores.



Legenda:

Clutch - Embraiagem

Differential - Diferencial

ESS - Sistema de Armazenamento de Energia

EM - Motor Eléctrico

Fixed Gearing - Relação fixa de transmissão

Gear Box - Caixa de Velocidades

Power Converter - Conversor de Potência

— Ligação Eléctrica

== Ligação Mecânica

Figura 28 - Configurações possíveis do sistema de propulsão nos EVs [53]

Nas figuras 28 (a) - (c) constata-se a existência de apenas um motor eléctrico que fornece a energia mecânica necessária ao deslocamento do veículo, através dos componentes mecânicos existentes. O reaproveitamento de alguns componentes mecânicos em qualquer uma destas configurações, tem tornado mais acessível a aplicação das mesmas em EVs.

Consoante a configuração escolhida, verifica-se a presença de um elemento comum, o diferencial. Este componente é fundamental, uma vez que não só transmite a potência mecânica, como permite que as rodas motrizes rodem a velocidades diferentes, quando descrevem uma curva [62], tal como acontece num veículo convencional.

A configuração da figura 28 (a) foi utilizada no projecto de conversão de um veículo convencional em eléctrico, que consta no capítulo 5 desta tese.

Nas figuras 28 (d) - (f) são usados dois motores eléctricos no sistema de propulsão do veículo. A utilização deste número de motores, se por um lado torna o sistema mecânico mais simples, por outro torna o sistema eléctrico mais complexo, devido ao uso de componentes e controladores de maior complexidade. No entanto, por observação da figura 28 (f), verifica-se que esta configuração é a mais compacta de todas e a mais adequada para condução em cidade devido ao seu baixo peso. Para além disso, a mesma torna possível uma melhor distribuição do peso das baterias existentes no veículo, devido ao facto de existir mais espaço disponível. Ainda assim, é necessário nesta configuração que o motor utilizado possua um elevado binário, necessário no arranque e aceleração do veículo [21], [53]. A figura 29 mostra os componentes de um motor eléctrico colocado na roda (sistema in-wheel).

Em termos de aplicação, os sistemas de propulsão eléctrica com apenas um motor têm sido preferencialmente implementados em EVs, face aos sistemas de propulsão com dois motores, instalados em veículos usados em demonstrações [62].

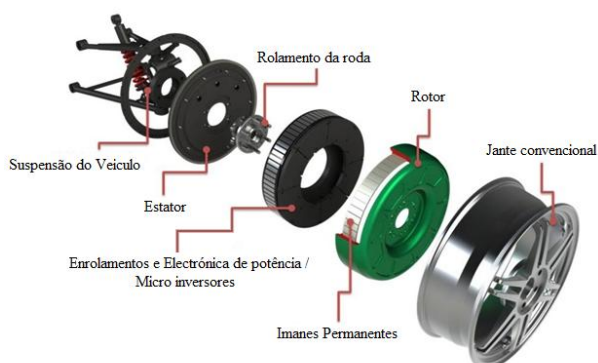


Figura 29 - Sistema de motor eléctrico acoplado na roda (In-Wheel) [63]

2.3.5 - Motor Eléctrico

Mesmo que por vezes não lhes demos a devida importância, a verdade é que cada vez mais os motores eléctricos estão por todo o lado. Desde os equipamentos que existem em nossas casas, passando pelos que existem nos meios de transporte, até aos que existem em muitos locais de trabalho dando uma ajuda preciosa nas actividades do dia-a-dia.

Um motor eléctrico destina-se a converter energia eléctrica em energia mecânica sob a forma de movimento e basicamente é constituído por [64] :

- Estator (parte fixa)
- Rotor (parte móvel)

Para além das características técnicas que cada um dos tipos de motores possui e que serão descritas mais adiante, existem também outros aspectos importantes tanto ao nível das condições de utilização, como ao nível de requisitos chave que os motores devem de cumprir a fim de permitirem o funcionamento eficiente do sistema de propulsão. Relativamente ao primeiro ponto, há que ter em conta os arranques e paragens regulares (com maior frequência em cidade), a elevada taxa de aceleração e desaceleração sobretudo em subidas onde o binário é elevado e a velocidade é mais baixa, em contraste com o binário mais baixo e velocidade superior obtida em modo de cruzeiro juntamente com as mais diversificadas condições climatéricas. Em relação ao segundo ponto, há a destacar os seguintes: o elevado binário tanto no arranque como em subidas; a elevada densidade energética tanto na aceleração como em elevadas velocidades em auto-estrada; possibilidade de funcionamento com travagem regenerativa; capacidade de sobrecarga temporária; elevada fiabilidade; robustez e preço acessível [57]. Alguns motores aplicados em EVs tanto podem funcionar como motor ou como gerador. As máquinas eléctricas com esta capacidade chamam-se máquinas eléctricas reversíveis [24]. A utilização das mesmas em associação com a travagem regenerativa permite a recuperação de parte da energia nas desacelerações e descidas, sendo essa energia enviada directamente para as baterias.

Na conversão de um veículo convencional para eléctrico, o motor é um dos componentes fundamentais para que o mesmo tenha o comportamento e a performance que o/s utilizador(es) pretende(m). Assim sendo é importante conhecer algumas características dos motores para se puder optar por aquele que melhor se adequa ao que se pretende.

De acordo com [65], após a análise efectuada aos motores de corrente contínua; de relutância variável; de indução e síncrono de magnetos permanentes, concluiu que os motores de indução e síncrono de magnetos permanentes são os mais indicados para serem empregues em EVs. Além disso, os EVs referidos na secção 2.1 utilizam na sua grande maioria o motor síncrono de magnetos permanentes, sendo o motor de indução apenas utilizado no Tesla Model S e no Mercedes classe B. Por este motivo apenas serão abordados os motores síncrono de magnetos permanentes e indução.

2.3.5.1 – Motor Síncrono de Magnetos Permanentes

Este motor tem algumas semelhanças com o motor de indução trifásico (descrito mais adiante), nomeadamente ao nível do estator que é idêntico em termos construtivos, logo as técnicas de controlo de velocidade de rotação são semelhantes às referidas para a máquina de indução.

No entanto, o motor síncrono caracteriza-se pelo facto de ambas as velocidades (velocidade de rotação do rotor e do campo magnético girante do estator) serem iguais, ou seja, estão sincronizadas, daí a designação de motor síncrono, em contraste com o motor de indução, onde tal não acontece.

O rotor deste motor é composto por magnetos permanentes e devido à interacção entre os dois campos magnéticos, os pólos N e S do íman são atraídos para os pólos S e N do estator respectivamente, acabando por atingir a velocidade de sincronismo. A figura 30 mostra esquematicamente um motor síncrono de magnetos permanentes com um par de pólos no estator e um par de pólos no rotor. [64].

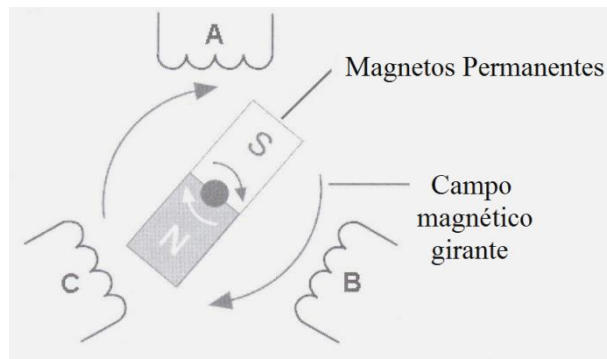


Figura 30 - Representação esquemática do Motor Síncrono de Magnetos Permanentes
(Adaptado de [64])

2.3.5.2 – Motor de Indução Trifásico

É um motor que tem a particularidade de somente o estator ser alimentado, enquanto o rotor por sua vez recebe energia através de indução, explicando assim a designação deste tipo de motor [64] [66].

A estrutura do estator é idêntica á do rotor, sendo as cavas normalmente ocupadas por um enrolamento trifásico.

O rotor é uma estrutura laminada composta por chapas isoladas entre si que possuem cavas que podem ser ocupados por enrolamentos (rotor bobinado) ou por barras condutoras (rotor em gaiola de esquilo) [65].

Em seguida serão descritas cada uma destas configurações:

- Rotor em Gaiola de Esquilo

Nesta configuração, as cavas existentes entre as chapas laminadas são ocupadas por barras condutoras ligadas nas extremidades a anéis condutores, formando uma estrutura em curto-circuito que se assemelha a uma gaiola. A figura 31 mostra um exemplo deste tipo de rotor.



Figura 31 – Rotor em Gaiola [67]

Na sua construção é usual a utilização do alumínio, mas outros materiais condutores como o cobre podem também ser empregues [68].

- Rotor Bobinado

Comparativamente com a configuração anterior, no lugar das barras são colocados enrolamentos, sendo estes ligados aos anéis colectores que se encontram no veio. Por sua vez aos anéis colectores estão encostados às escovas que permitem a ligação dos enrolamentos às resistências rotóricas localizadas no exterior do motor. Estas resistências variam em valor de modo a garantir um arranque suave e progressivo, uma vez que os motores com esta configuração possuem geralmente elevada potência e são usados em situações que exijam binários de arranque elevados [64]. As figuras 32 e 33

mostram a configuração de um rotor bobinado e as ligações eléctricas desde os enrolamentos até às resistências rotóricas, respectivamente.

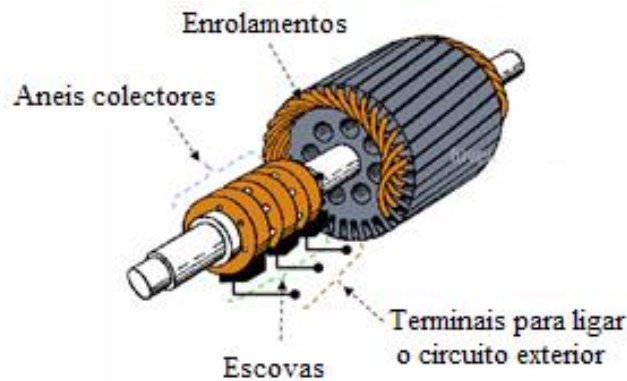


Figura 32 - Rotor Bobinado [69]

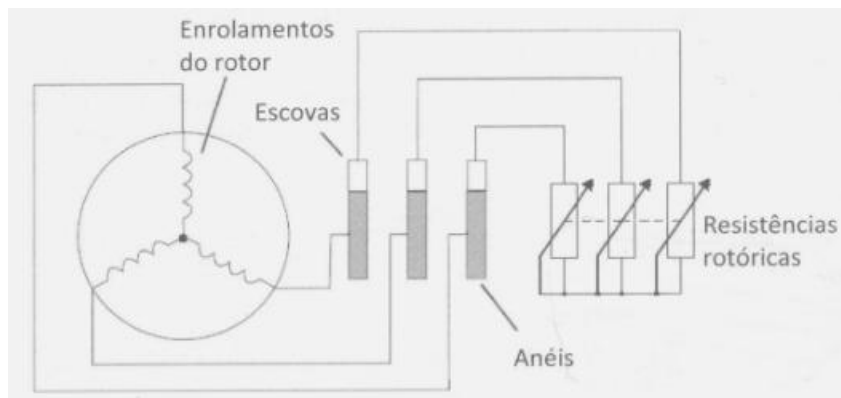


Figura 33 - Ligação às resistências rotóricas [64]

Esta configuração torna o motor mais dispendioso e com uma menor eficiência face á configuração anterior, sendo apenas aplicada quando não é possível obter o binário pretendido através do motor com o rotor em gaiola.

O funcionamento do motor de indução trifásico centra-se na criação de um campo magnético girante no estator, sendo o mesmo obtido quando se aplica no estator uma tensão trifásica. Este campo magnético girante induz no rotor uma força electromotriz, que por sua vez dá origem ao aparecimento de correntes induzidas, uma vez que o rotor usado neste tipo de motor caracteriza-se por ser em circuito fechado. Da interacção de ambos os campos resulta o movimento de rotação do motor.

A velocidade de rotação do rotor em comparação com a velocidade de rotação do campo do estator não coincidem, ou seja, não estão sincronizadas, razão pela qual os mesmos também são conhecidos por motores assíncronos [64]. De acordo com [65], a

velocidade de rotação do rotor depende da velocidade do campo girante que por sua vez depende de aspectos construtivos da máquina nomeadamente do número de pares de pólos do enrolamento do estator e da frequência de alimentação do mesmo. De acordo com a mesma fonte, uma das formas mais simples de variar a velocidade passa pela variação da frequência da tensão de alimentação.

Para além desta, existem outras técnicas de controlo de velocidade/binário aplicáveis aos motores anteriormente descritos, conforme mostra a figura 34.

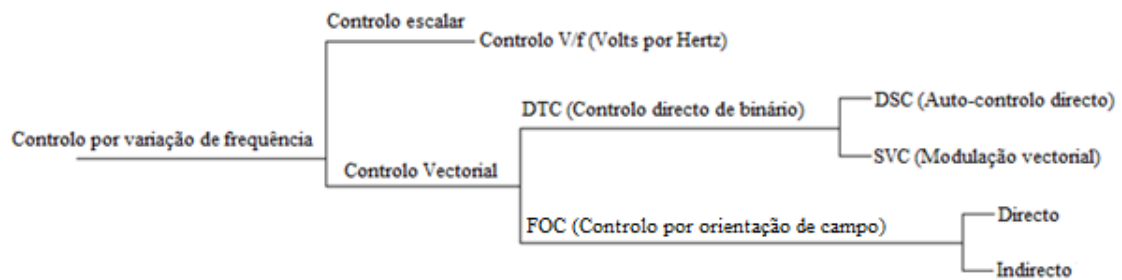


Figura 34 - Principais técnicas de controlo de velocidade/binário [70]

2.3.5.3 – Análise Comparativa de Motores Eléctricos

Cada um dos motores descritos no subcapítulo anterior possui características próprias, sendo as mesmas diferentes consoante o tipo de motor.

A escolha do motor a colocar num EV torna-se essencial na concepção de todo o sistema [71]. Porém esses mesmos motores não devem ser comparados com aqueles que são usados na indústria, devido ao facto de as condições de operacionalidade em ambos os casos serem distintas [72].

Um tipo de motor bastante utilizado é o motor AC síncrono de magnetos permanentes. De realçar que o mesmo é concorrente directo do motor de indução, devido ao facto da excitação do campo magnético ser realizada através de magnetos permanentes o que permite um motor mais leve, menos volumoso e com uma maior densidade de potência. A ausência de perdas no rotor (devido aos magnetos), permite que estes motores tenham uma maior eficiência face aos motores de indução. Apresentam ainda em relação a outros motores grande fiabilidade [72]. Recentemente os motores AC de magnetos permanentes têm vindo a ser utilizados em automóveis das marcas Toyota, Honda e Nissan [71].

De acordo com [72], um dos motores mais fiáveis e cuja tecnologia está bastante desenvolvida é o motor de indução. Quando aplicados em EVs, o motor de indução não possui comutador nem escovas de modo a permitir uma maior fiabilidade e uma baixa manutenção. Sendo assim não é de estranhar a utilização do rotor em gaiola devido à fiabilidade, baixa manutenção, robustez, bem como a capacidade de utilização em ambientes mais severos que estes motores apresentam [71].

A tabela 15 mostra as vantagens e desvantagens de cada um dos motores.

Tabela 15 - Vantagens e Desvantagens dos motores [71], [73], [74], [75]

Motores	Síncrono de Magnetos Permanentes	Indução
Vantagens	Elevada eficiência. Elevada densidade de potência. Arrefecimento do motor mais eficaz.	São motores fiáveis, robustos, não requerem muita manutenção, podem ser usados em ambientes mais severos. Utilização de conversores electrónicos (tensão e frequência variáveis) eficientes.
Desvantagens	As características dos ímanes restringem a capacidade de utilização em sobrecarga. Evita-se a desmagnetização permanente dos mesmos, através de um controlo de temperatura e prevenindo elevadas correntes no estator. Conjunto motor + controlador dispendioso.	As perdas no rotor originam calor o que obriga a um arrefecimento mais eficaz, limitando a capacidade em sobrecarga. Controlo de velocidade complexo a baixa velocidade. Conjunto motor + controlador dispendioso.

2.4 – Veículos Eléctricos Híbridos

Até agora foram descritos os subsistemas que integram o EV. Apesar de alguns construtores de automóveis terem lançado EVs, no entanto muitos deles ainda optam por apostar mais nos veículos eléctricos híbridos (HEVs), do que nos eléctricos EVs. Assim sendo, este tema não podia ficar de fora deste trabalho de projecto.

É importante referir em primeiro lugar no que consiste na prática um HEV. De acordo com [76], trata-se de um veículo que possui duas fontes de energia, sendo que uma delas é armazenada e a outra resulta basicamente da transformação de um combustível em energia eléctrica. Para além disso, os mesmos devem incluir duas formas de propulsão, uma eléctrica e a outra relacionada com a conversão do combustível utilizado.

Essencialmente, o HEV resulta da combinação dos componentes existentes tanto num EV como num veículo a combustão.

Tal como foi referido anteriormente para os EVs, também nos HEVs existe um sistema de controlo. Este sistema tem como principais funções permitir que o HEV percorra o maior número de quilómetros possível por cada litro de combustível gasto, bem como a redução ao mínimo das emissões dos gases poluentes. Para além das referidas, possui outras funções não menos importantes das quais constam: a protecção de componentes através da monitorização do estado de carga da baterias (SOC) e respectiva temperatura, o controlo da temperatura do motor eléctrico e do motor de combustão a fim de evitar que os mesmos entrem em sobreaquecimento [76].

Em seguida apresentam-se cinco configurações possíveis para os HEVs [25], [77].

2.4.1 – Configurações dos HEVs

2.4.1.1 - Série

De uma forma simples, os HEVs deste tipo podem ser denominados de extensores de autonomia, devido à presença do motor de combustão permitir carregar as baterias e assim aumentar a autonomia do veículo, o que constitui uma clara vantagem face aos EVs.

Na configuração série de um HEV, por um lado o motor de combustão é responsável pela transformação da energia contida no combustível em energia mecânica, sendo essa energia convertida em energia eléctrica pelo gerador. Por outro lado, o motor eléctrico transmite movimento às rodas, podendo utilizar somente a energia existente nas baterias, ou directamente do gerador, ou ainda de ambos, consoante as condições de operação do veículo.

Conforme se pode observar na figura 35, o motor de combustão não está ligado mecanicamente às rodas, permitindo assim que a velocidade do mesmo seja independente daquela que o veículo possui, tornando possível que o motor de combustão funcione com maior eficiência a fim de alcançar uma maior economia de combustível, quando comparado com um veículo convencional. Para além disso, permite uma melhor disposição do motor no veículo [77].

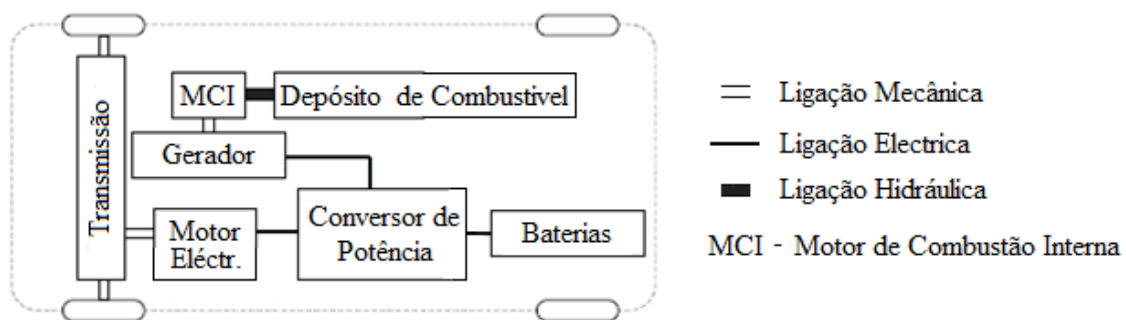


Figura 35 - Configuração Série (Adaptado de [53])

Neste tipo de configuração, o motor de combustão transmite ao gerador uma potência mais ou menos constante à qual corresponde a máxima eficiência do próprio motor. No caso da potência que o motor eléctrico necessita ser inferior à potência eléctrica à saída do gerador, o excesso de energia eléctrica é enviado para as baterias, promovendo assim o seu carregamento. Pelo contrário, quando a potência requerida pelo motor eléctrico é

superior em relação à potência na saída do gerador, tanto a energia á saída deste como a existente nas baterias é utilizada para alimentar o motor eléctrico.

No caso dos HEVs série, é possível que o motor de combustão seja desligado quando o veículo circula em zonas urbanas, onde os níveis de poluição são maiores, recorrendo apenas à energia das baterias. Deste modo, reduzem-se os gases com efeito de estufa nessas mesmas zonas. De notar, que o conversor também possui a capacidade de recuperar energia de forma regenerativa, sobretudo durante as travagens ou em descidas, permitindo assim economizar combustível.

Para além disso, quando o SOC das baterias é baixo ou quando o veículo circula fora das zonas urbanas, o motor de combustão é posto em funcionamento. Em ambas as situações e atendendo à potência necessária, o conversor permite redireccionar a energia eléctrica do gerador directamente para o motor eléctrico, ou para o conjunto de baterias, ou ainda para ambos [78].

Apesar das características funcionais que esta configuração apresenta, ainda assim conforme a figura 35, verifica-se a ocorrência de uma tripla conversão de energia, quando a mesma provém do motor de combustão e é fornecida à transmissão (neste percurso, o motor de combustão converte a energia contida no combustível em energia mecânica, em seguida a mesma é convertida em eléctrica no gerador e por fim o motor eléctrico converte a energia eléctrica em mecânica) [78]. A necessidade deste número de conversões pode conduzir a perdas significativas ao longo de toda a cadeia de transmissão de energia, constituindo deste modo uma desvantagem deste tipo de HEV. Para além disso, a presença do gerador constitui um incremento em termos de peso e custo, outro inconveniente desta configuração [25].

A título de exemplo apresentam-se alguns veículos que possuem a configuração série. São eles o Chevrolet Volt (figura 36), a Renault Kangoo Elect'Road (2003) e o Opel Flextreme concept car [78].



Figura 36 - Chevrolet volt [79]

2.4.1.2 - Paralela

A configuração paralela é caracterizada pela existência de uma ligação mecânica entre o motor de combustão e a transmissão, semelhante ao que acontece nos veículos convencionais conforme se pode observar na figura 37. Devido a esta característica é possível a ambos os motores impulsionarem o veículo, quer em simultâneo ou separadamente [77], [80]. Apesar da possibilidade acima referida, nesta configuração é comum o uso do motor de combustão em permanência, funcionando o mesmo na máxima eficiência com uma potência à saída praticamente constante [78].

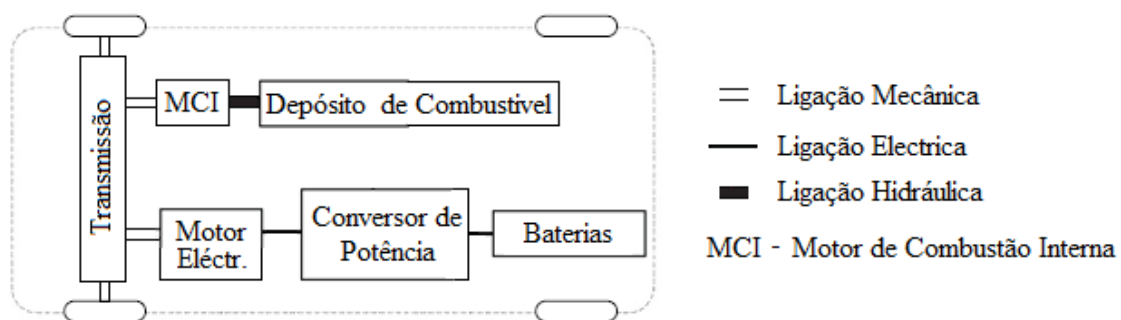


Figura 37 - HEV Paralela (Adaptado de [53])

De acordo com [78], o motor eléctrico pode funcionar como motor ou como gerador conforme se é ou não necessário fornecer potência ao sistema de transmissão, respectivamente, atendendo sempre ao estipulado pelo condutor do veículo. Dito de outra maneira, quando o condutor requer uma potência superior à desenvolvida pelo motor de combustão, o motor eléctrico entra em funcionamento a fim de fornecer a potência em falta. Por outro lado, quando o condutor requer uma potência inferior à desenvolvida pelo motor de combustão, o motor eléctrico passa a funcionar como gerador, convertendo a energia mecânica excedente em eléctrica e enviando a mesma para as baterias.

De notar, que nesta configuração também ocorre a conversão de energia tanto nas descidas como nas travagens de forma regenerativa, sendo também esta enviada para as baterias.

Em 1999, a Honda lançou no mercado um modelo de HEV paralelo designado por Insight (figura 38). Outros modelos deste tipo de HEV são: o SUV Ford Escape Híbrido [78] e o Honda Civic Híbrido [53].



Figura 38 - Honda Insight [78]

Em termos construtivos as configurações série e paralela apresentam algumas vantagens e desvantagens entre si, das quais se destacam:

- Maior potência mecânica disponível na configuração paralelo face à configuração série, sobretudo quando o motor de combustão e o eléctrico funcionam em simultâneo [25].
- A configuração paralela apresenta uma maior eficiência face à configuração série, devido ao número de motores necessários ser apenas de dois (combustão e eléctrico), sendo possível na maioria dos casos a não colocação do gerador [25], permitindo assim a utilização de motores mais compactos com igual performance [80].
- Devido ao número de conversões de energia presente na configuração paralela ser apenas uma (no motor de combustão) desde o depósito de combustível até á transmissão, face às três existentes na configuração série (no motor de combustão, no gerador e no motor eléctrico) ao longo da cadeia de transmissão de potência, leva a crer que o consumo dos veículos com a configuração paralela seja menor, dando lugar a uma economia de combustível, sobretudo em viagens longas [78].
- A concepção do sistema de transmissão na configuração paralela é mais complexa do que na configuração série, uma vez que na primeira configuração os motores são acoplados à transmissão, sendo necessário que a mesma transfira a energia mecânica do motor de combustão e do motor eléctrico (neste último de forma bidireccional) para as rodas (aqui de forma bidireccional) [78].

2.4.1.3 - Série – Paralela

Esta configuração possui as características das configurações anteriormente descritas, podendo funcionar tanto em modo série como em modo paralelo [77]. Tal é possível, através da ligação do gerador ao motor de combustão (ligação mecânica) e ao conversor de potência (ligação eléctrica), tendo por base a configuração paralela, de acordo com a figura 39.

No entanto, apesar de ser uma configuração com um maior grau de flexibilidade em termos funcionais, apresenta uma estrutura mais complexa com um custo acrescido [78].

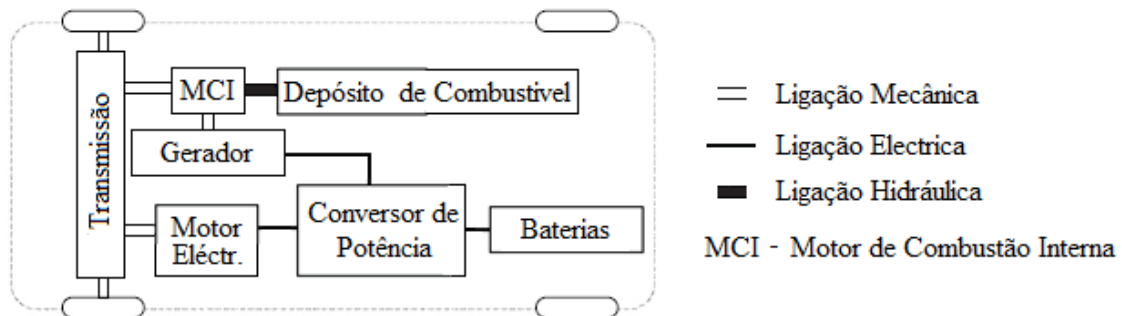


Figura 39 - Configuração Série – Paralela (Adaptado de [53])

Alguns dos exemplos deste tipo de HEVs são os seguintes: Toyota Prius (figura 40), Toyota Auris, Lexus LS 600h, Lexus CT 200h e Nissan Tino [53].



Figura 40 - Toyota Prius [81]

2.4.1.4 – Complexa

Esta configuração apesar de ser semelhante à configuração série – paralela, tem duas diferenças que a distingue desta última. São elas: a presença de um gerador que pode também funcionar como motor e de um conversor de potência ligado electricamente, tanto às baterias como ao motor/gerador. O motor/gerador funciona como motor quando é requerido um aumento de potência, fazendo com que a potência solicitada aos restantes motores (combustão e eléctrico) seja menor. O motor/gerador passa a funcionar como gerador quando o veículo está a travar ou a desacelerar.

Estas diferenças aumentam o nível de fiabilidade e de controlo da configuração complexa, face à configuração série – paralela.

Olhando para as quatro configurações, constata-se que no caso das configurações série - paralela e complexa, as mesmas apresentam maior flexibilidade em termos de controlo face às configurações série e paralela, embora esta flexibilidade dependa de um controlo mais preciso, devido ao maior número de componentes que integram o sistema [53].

A figura 41 mostra de forma esquemática a configuração complexa.

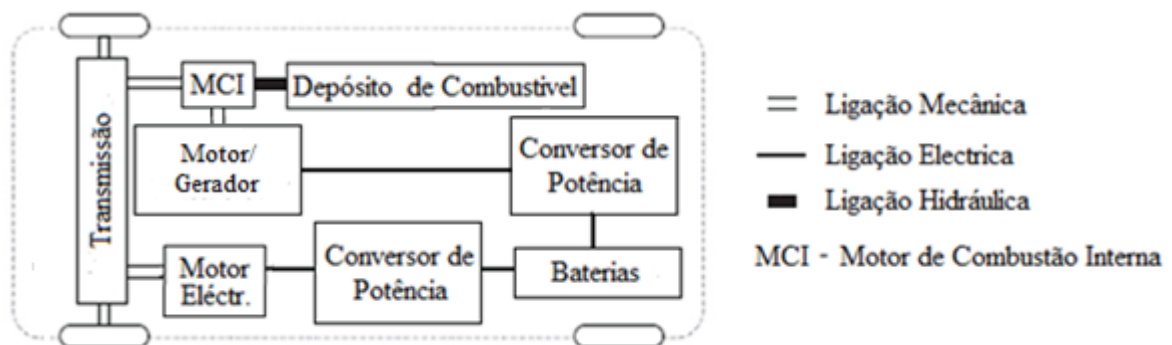


Figura 41 - Configuração Complexa [53]

2.4.1.5 - PHEVs

Praticamente, um HEV plug-in distingue-se dos restantes pela capacidade das baterias poderem ser também carregadas através de uma ligação à rede eléctrica, reduzindo ainda mais o consumo de combustível [77]. Para tal, é necessário incorporar um carregador no próprio veículo, conforme mostra a figura 42, fazendo com que o seu preço aumente substancialmente. A título de exemplo, no caso da Toyota o modelo Prius HEV tem um preço de venda a partir dos 29.815,00€, enquanto o Prius PHEV tem um preço de venda a começar nos 35.000,00€ [82].

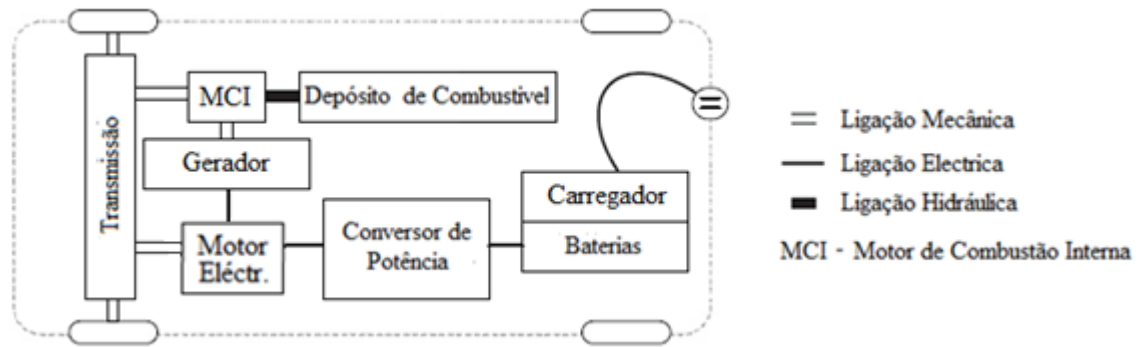


Figura 42 - Configuração Plug In (Adaptado de [53])

2.5 – Veículos Eléctricos a Célula de Combustível

Os veículos eléctricos a célula de combustível (FCEV) são na sua essência EVs puros, cuja principal diferença reside no modo de funcionamento da fonte de energia [83].

Em vez de usar uma bateria tradicional, nos FCEVs são colocadas células de combustível como fonte de energia eléctrica. As células de combustível são dispositivos que convertem energia química em eléctrica (tal como as baterias), sendo no entanto necessária a utilização de um combustível (hidrogénio), oxigénio e um catalisador (platina), de modo a acelerar as reacções químicas que ocorrem no interior das mesmas. Durante o funcionamento das células de combustível obtém-se energia eléctrica e como subprodutos água e calor [83], [51].

O interior de uma célula de combustível é composto por um electrólito, ânodo (pólo negativo) e cátodo (pólo positivo). Como se pode observar na figura 43, o hidrogénio é inserido na célula de combustível pelo lado do ânodo onde ocorre a decomposição do hidrogénio em iões e electrões, enquanto o oxigénio é inserido do lado do cátodo. Por sua vez, os iões de hidrogénio atravessam o electrólito desde o ânodo até ao cátodo, enquanto a circulação dos electrões do ânodo para o cátodo através de um circuito exterior origina a produção de energia eléctrica. Quando os iões de hidrogénio chegam ao cátodo e se juntam ao oxigénio, obtém-se água [51].

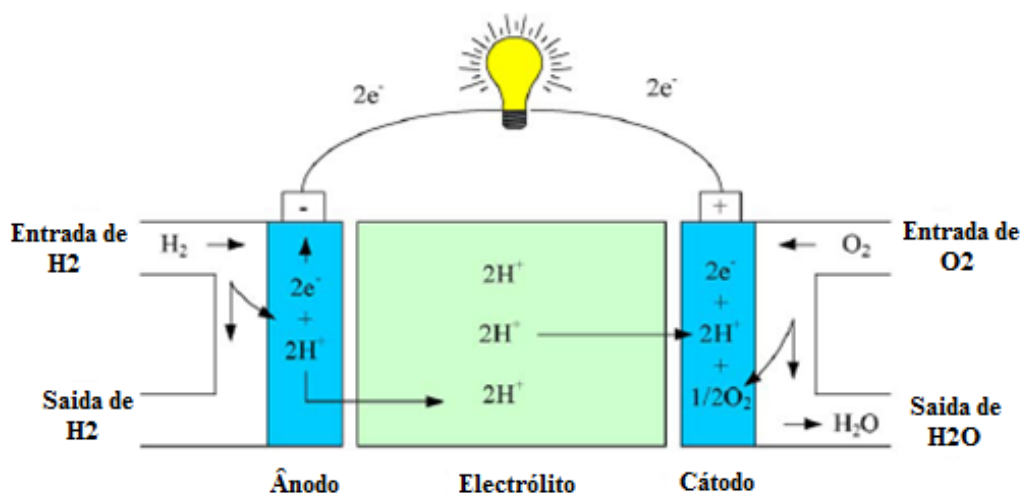


Figura 43 - Célula de Combustível a hidrogénio [84]

Em termos de vantagens e desvantagens, algumas delas apresentam-se de seguida, na tabela 16;

Tabela 16 - Vantagens e Desvantagens das células de combustível [57], [1]

Vantagens	Desvantagens
Energia específica semelhante á da gasolina	Potência específica menor face á da gasolina. Necessário o uso de baterias ou super condensadores para melhorar esta característica
Elevada Eficiência	Tecnologia em desenvolvimento
Não depende de derivados do petróleo	Elevado custo
Duradoura	Necessidade de controladores electrónicos sofisticados
Fiável	

Alguns fabricantes de automóveis têm-se dedicado à pesquisa e desenvolvimento de FCEVs. A pioneira no lançamento de um veículo com esta tecnologia destinado á produção em série foi a Honda com o modelo FCX Clarity no ano de 2007, cuja comercialização iniciou-se no verão de 2008. Outros construtores de automóveis lançaram em 2008 FCEVs, ainda que alguns deles já tivessem aplicado anos antes esta tecnologia ao segmento dos autocarros, como por exemplo a Mercedes com o Citaro e a Toyota [84]. Em 2015 realizou-se a apresentação técnica do mais recente FCEV da Toyota com o nome de Mirai.

A tecnologia das células de combustível apresenta desafios para os quais é necessária resposta, maioritariamente no que concerne ao custo da mesma, ciclo de vida e também

a nível da produção, bem como o armazenamento e distribuição do hidrogénio. Estes desafios devem ser solucionados de modo a permitir num futuro próximo uma maior disseminação das células de combustível [22].

2.6 – Análise Comparativa de Veículos Eléctricos

Actualmente existem três tipos de veículos que utilizam a propulsão eléctrica. São eles os EVs, os HEVs e os FCEVs. Cada um destes veículos possui características específicas, bem como desafios para os quais é necessária resposta, de modo a verificar-se uma maior aceitação por parte do público em geral [85] [22].

Nos EVs verifica-se que o conjunto de baterias é o componente crítico do sistema [85]. Apesar dos desenvolvimentos nesta área conforme referido no comparativo de baterias, existem ainda questões pendentes que importa resolver tais como, as dimensões e peso das baterias a incluir nos veículos, o carregamento dos veículos através da rede eléctrica e a performance do veículo. Além disso, algumas das desvantagens deste tipo de veículos prendem-se com a baixa autonomia, o elevado período de carga das baterias e a fraca resposta dinâmica. No entanto, em termos de vantagens destaque para eficiência energética, o funcionamento silencioso e suave, a disponibilidade em termos comerciais, veículo não poluente e não necessita de derivados do petróleo [86]. Dado que os EVs são veículos silenciosos e de modo a evitar possíveis acidentes, alguns fabricantes (Audi, Mitsubishi, Renault, etc) deste tipo de veículos, introduziram um ruído artificial para que em caso de aproximação os mesmos sejam facilmente detectáveis.

Quanto aos HEVs, trata-se do único tipo de veículo capaz de fazer frente aos veículos com motor de combustão. Apesar de estarem presentes no mercado há já alguns anos, a necessidade de incluir um maior número de componentes torna a construção mais complexa e volumosa, aumentando o preço do mesmo. Para além disso, existem aspectos que devem ser revistos, nomeadamente ao nível da conciliação dos diversos componentes, dimensões e peso dos motores usados (combustão interna e eléctrico), bem como a gestão da energia obtida através das diferentes fontes (energia eléctrica das baterias e do combustível existente no depósito). Ainda assim são veículos fiáveis, duradouros, com elevadas poupanças em combustível, baixas emissões de CO₂ e uma autonomia superior aos EVs. Dentro dos HEVs existem os PHEVs. A principal diferença entre ambos reside na capacidade dos PHEVs permitirem também o carregamento das baterias através da rede eléctrica, como foi referido no capítulo

dedicado ao tema. Devido a esta capacidade, o impacto que estes veículos provocam na rede durante o período de carregamento, os postos de carga existentes para o efeito, bem como todo o controlo e gestão de energia necessário, são aspectos que carecem de melhoria. Além disso, este tipo de veículos possui uma maior complexidade, requer sistemas electrónicos mais sofisticados aumentando o seu preço, o carregamento através da rede eléctrica provoca impacto na mesma e requerem que o tipo de baterias usado seja mais sofisticado face aos HEVs. No entanto, os PHEVs possuem um funcionamento silencioso e suave, são mais eficientes no uso do combustível, têm maior autonomia e níveis de CO₂ mais baixos que os HEVs.

No que diz respeito ao impacto dos EVs e dos PHEVs na rede eléctrica, o mesmo poderá ser significativo ao nível da produção e distribuição. Em termos de produção, se o carregamento de um número substancial de veículos for realizado fora do período nocturno, poderá originar um consumo excessivo á rede que a mesma poderá não conseguir suprimir. Em relação á rede de distribuição, o carregamento do EVs e PHEVs poderá causar o aumento da temperatura dos transformadores, tendo como consequência uma redução da vida útil dos mesmos, para além do aumento dos custos de manutenção da própria rede [87].

No entanto, de acordo com [88] a integração de EVs nas denominadas “redes inteligentes”, pode equilibrar a produção e o consumo de energia.

Relativamente aos veículos que utilizam células de combustível a hidrogénio, tudo indica que constituem o futuro dos EVs. No que diz respeito aos aspectos importantes relacionados com a célula de combustível, em termos de custo, fiabilidade e ciclo de vida, para além da criação de locais apropriados para a extracção, armazenamento e enchimento do hidrogénio, os mesmos devem ser alvo de pesquisa com vista á sua resolução ou mitigação. Ao nível das limitações destaque para o preço elevado, reduzida disponibilidade em termos de mercado e a necessidade de utilização de sistemas electrónicos sofisticados. Ainda assim, apresentam uma elevada eficiência, dispensam derivados do petróleo, são fiáveis, duradouros [86], e possuem boas autonomias [84].

A tabela 17 mostra as características dos diferentes tipos de EVs.

Tabela 17 – Características dos diferentes tipos de EVs [1]

	EV	HEV	FCEV
Armazenamento de Energia	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bateria ➤ Super condensador 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bateria ➤ Super condensador ➤ Combustíveis fósseis 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hidrogénio ➤ Bateria / Super condensador para o aumentar a densidade de potência
Fontes de Energia Externa e Infra-estruturas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rede eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Postos de abastecimento ➤ Rede eléctrica (no caso dos Plug-in) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hidrogénio ➤ Infra-estruturas de produção e transporte do Hidrogénio
Motor utilizado	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor Eléctrico 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor Eléctrico ➤ Motor de combustão interna 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor Eléctrico
Características	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Emissões locais nulas ➤ Elevada eficiência energética ➤ Não depende directamente de combustíveis fósseis ➤ Pouca autonomia ➤ Elevado custo inicial ➤ Disponíveis no mercado 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Baixas emissões locais ➤ Elevada autonomia ➤ Requer combustíveis fósseis ➤ Custo superior face aos veículos de combustão ➤ Elevada economia de combustível ➤ Disponíveis no mercado 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Emissões locais nulas ➤ Elevada eficiência energética ➤ Não depende directamente de combustíveis fósseis ➤ Elevado custo ➤ Tecnologia em desenvolvimento
Aspectos a otimizar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tamanho da bateria e sistema de gestão ➤ Postos de carga ➤ Custo ➤ Duração da bateria 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tamanho da bateria e sistema de gestão ➤ Controlo e gestão de diversas fontes de energia 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Custo das células de combustível ➤ Necessária estrutura para produção e distribuição ➤ Custo dos veículos

3 – Postos de Carregamento

3.1 – Introdução

Da mesma maneira que os veículos convencionais precisam de postos de abastecimento de combustível quando possuem pouco combustível no depósito, os EVs necessitam de postos de carregamento eléctricos para repor o nível de energia nas baterias. Assim sendo, e uma vez que em Portugal não existia uma rede de postos de carregamento, foi criada uma rede piloto de carregamento inteligente designada de *Mobi.E*.

Esta rede começou a ser instalada em 2010 e tinha prevista a instalação de 1300 postos de carregamento normal e 50 postos de carregamento rápido em 25 municípios, fazendo de Portugal o país pioneiro a nível mundial na instalação de uma rede de mobilidade eléctrica de âmbito nacional. Até hoje foram instalados cerca de 1100 postos de carga normal e apenas 1 posto de carga rápida.

Ainda assim, esta rede é composta por diversos postos colocados em território nacional que permitem o carregamento gratuito das baterias de todas as marcas de EVs, através da utilização de um único cartão *Mobi.E* e beneficiando também do estacionamento gratuito.

O objectivo desta mesma rede é promover a utilização da energia eléctrica obtida a partir de fontes inteiramente renováveis no carregamento dos veículos, permitindo usufruir das vantagens que advêm dessa mesma utilização, contribuindo assim para que as cidades funcionem e prosperem de forma mais sustentável [89].

3.2 – Modos de carregamento

Dependendo do tipo de veículo que se pretende carregar e do posto de carregamento disponível, existem 4 modos de carregamento, denominados de modo 1, 2, 3 e 4 [90].

Modo 1 – Permite o carregamento através de uma tomada doméstica (schuko) ou industrial, limitada a 16 A - Norma IEC 60309-2. As figuras 44 e 45 mostram as tomadas e as fichas industrial e schuko, respectivamente.



Figura 44 - Tomada e ficha industrial de 16 A com terra (Norma IEC 60309-2) [90]



Figura 45 - Tomada doméstica e ficha "Schuko" de 16 A com terra [90]

Trata-se do único modo que não contempla a comunicação/controlo entre o posto de carregamento e o veículo através do cabo. A figura 46 mostra esquematicamente este modo de carregamento.



Figura 46 - Carregamento em modo 1 [91]

Modo 2 – Permite o carregamento de um veículo a partir de uma tomada doméstica (schuko) ou industrial, limitada a 16 A, recorrendo-se a um cabo que integra um dispositivo encarregue de executar a comunicação/controlo do carregamento. De notar que, desde a tomada doméstica ou industrial até ao dispositivo não existe nenhum tipo de comunicação/controlo, mas apenas fornecimento de energia eléctrica. A comunicação/controlo é efectuada a partir desse dispositivo até ao veículo.

As figuras 47 e 48 mostram um tipo de cabo que pode ser utilizado neste modo de carregamento, bem como uma representação esquemática do modo de carregamento, respectivamente.



Figura 47 - Cabo com dispositivo de comunicação/controlo [90]

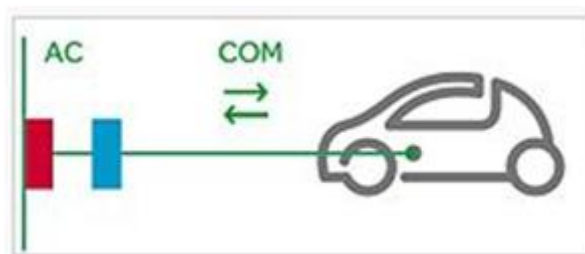


Figura 48 - Carregamento em modo 2 [91]

Modo 3 – Trata-se de um modo de carregamento concebido para a ser utilizado apenas por EVs, uma vez que requer um tipo de ficha/tomada específico, podendo o mesmo permitir o carregamento em AC monofásica ou trifásica, para diferentes valores de corrente.

A IEC (*International Electrotechnical Commission*), definiu a norma internacional que especifica o modo 3 - IEC 62196-2 - que é caracterizada por três tipos diferentes de ficha/tomada a utilizar.

O primeiro tipo foi criado no Japão - norma IEC 62196-2 *Type 1* - também designado de Yazaki. Possui cinco pinos: uma Fase (L1), Neutro (N), Terra (PE), Detector de Inserção (PP) e Piloto de Controlo (CP). A função do pino detector de inserção é verificar se a ficha foi correctamente inserida na tomada, enquanto o pino piloto de controlo permite a comunicação entre o EV e o posto de carregamento.

Este tipo de ficha/tomada encontra-se instalado principalmente nos veículos das marcas japonesas Nissan e Mitsubishi, entre outras.

Na figura 49 consta o tipo de ficha/tomada Yazaki.



Figura 49 - Ficha/tomada Yazaki [90]

O segundo tipo - norma IEC 62196-2 *Type 2* – também designado de Mennekes. É composto por sete pinos: três Fases (L1, L2 e L3), Neutro (N), Terra (PE), Detector de Inserção (PP) e Piloto de Controlo (CP). Também aqui os pinos (PP) e (CP) têm as funções anteriormente descritas.

Este tipo de ficha/tomada foi desenvolvido na Europa, estando incorporado em veículos das marcas Smart, Renault e em todas as marcas do grupo VW, entre outras.

A figura 50 apresenta o tipo de tomada/ficha Mennekes.



Figura 50 - Ficha/tomada Mennekes [90]

O terceiro tipo tem a designação de Scaem - norma IEC 62196-2 *Type 3*. Possui o mesmo número de pinos do tipo 2, embora a disposição dos mesmos seja diferente.

Actualmente ainda é utilizado em alguns postos de carregamento franceses e está presente em alguns veículos comercializados em França.

A figura 51 apresenta o tipo de tomada/ficha Scaem.



Figura 51 - Ficha/tomada Scame [92], [93]

A figura 52 mostra esquematicamente o carregamento em modo 3.

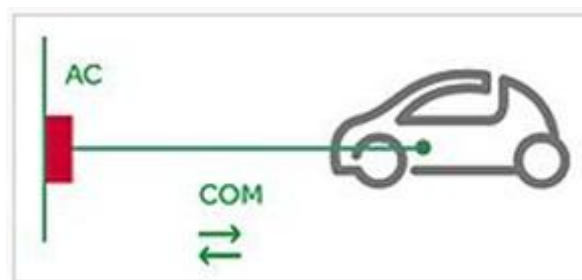


Figura 52 - Carregamento em modo 3 [91]

Nos modos de carregamento 1, 2 e 3 o veículo recebe energia em AC, converte a mesma em DC através de um carregador instalado no seu interior e em seguida fornece a energia convertida às baterias. A figura 53 mostra esquematicamente o interior de um EV que permite o carregamento em qualquer um dos modos referidos anteriormente.

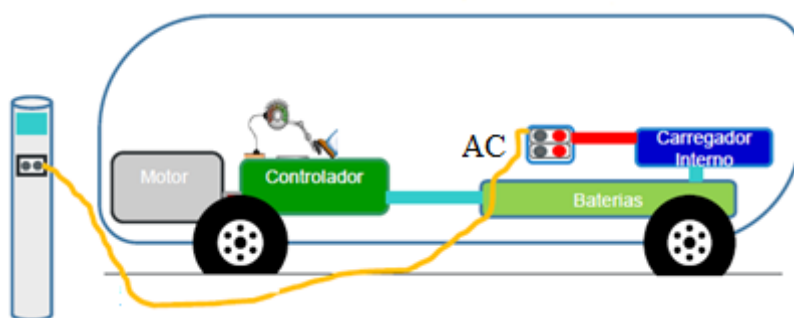


Figura 53 – Interior de um EV que permite o carregamento em AC [90]

Modo 4 – Os postos que permitem o carregamento em modo 4 convertem AC em DC enviando esta última directamente para as baterias do EV, através do cabo que está presente no posto. Neste modo, utiliza-se uma ficha colocada na extremidade do cabo quando se pretende efectuar o carregamento. De notar a presença no modo 4 das funções Detector de Inserção (PP) e Piloto de Controlo (CP).

Para o modo 4 existem duas normas em uso. A primeira delas foi a pioneira para este modo de carregamento, tendo sido criada por uma associação Japonesa e designada de norma CHAdeMO, enquanto a segunda foi desenvolvida na Europa e EUA e é designada por CCS (*Combined Charging System*), ou simplesmente Combo.

No caso da tomada Combo para além do carregamento em DC, também é possível o carregamento em AC caso seja utilizada uma ficha Mennekes, uma vez que esta última apenas ocupa a parte superior da tomada Combo, deixando livres os pinos através dos quais se carrega o conjunto de baterias em DC.

As figuras 54, 55, 56, 57 e 58 mostram os tipos de ficha/tomada CHAdeMO, as ligações da ficha CHAdeMO, o tipo de ficha/tomada Combo, a representação esquemática deste modo de carregamento e o interior de um EV que permite o carregamento em modo 4, respectivamente.



Figura 54 - Ficha e tomada CHAdeMO de carregamento em DC [94], [90]

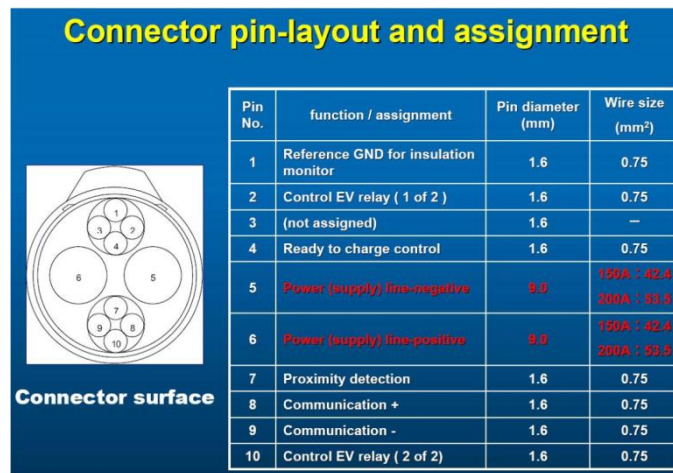


Figura 55 - Ligações da ficha CHAdeMO [95]

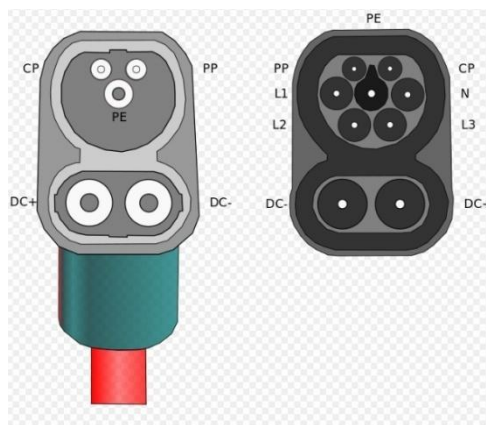


Figura 56 - Ficha e tomada Combo de carregamento em DC [96]

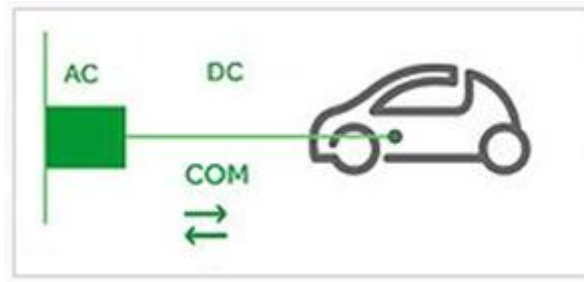


Figura 57 - Carregamento em modo 4 [Adaptado de [91]]

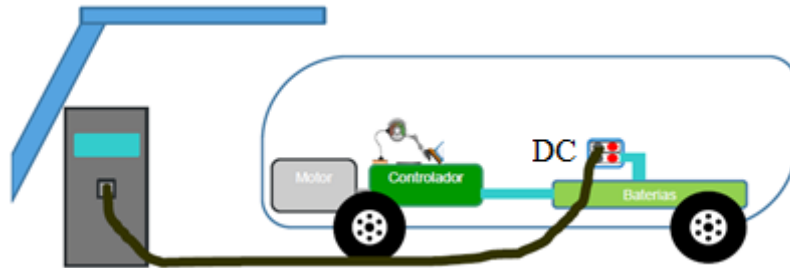


Figura 58 - Interior de um EV que permite o carregamento em DC [90]

3.3 - Postos de carregamento na via pública (Rede Mobi.E)

Conforme foi referido anteriormente, na rede Mobi.E existem dois tipos de postos de carregamento: normal e rápido. A existência de postos de carregamento normal e rápido compreende dois objectivos distintos. O posto de carregamento normal serve essencialmente para efectuar o carregamento do veículo durante o dia de trabalho (em zonas empresariais) ou durante a noite (em zonas residenciais), enquanto o posto de carregamento rápido é normalmente instalado em vias rápidas (exemplo auto-estradas) onde a necessidade de carga rápida é mais notória. Na prática, o posto de carregamento normal funciona em AC com uma tensão de 230V, uma corrente de 16 A e um valor de potência de 3,7 kW, permitindo o carregamento completo das baterias do veículo em cerca de 6 a 8h. O posto de carregamento rápido funciona em DC com uma tensão de 500V, uma corrente de 100 A e um valor de potência de 50kW, concluindo o carregamento das baterias do veículo até cerca de 30 minutos.

Quando se utiliza um posto de carregamento normal é possível efectuar o carregamento através de uma tomada industrial ou Mennekes, enquanto num posto de carregamento rápido o carregamento é efectuado através de uma ficha CHAdeMO, Combo ou Mennekes.

As figuras 59, 60 e 61, mostram respectivamente, os postos de carregamento normal, os tipos de ligação existentes nesses mesmos postos e os postos de carregamento rápido.



Figura 59 - Postos de carregamento normal da Efacec (esquerda) e Magnum Cap (direita) [97]

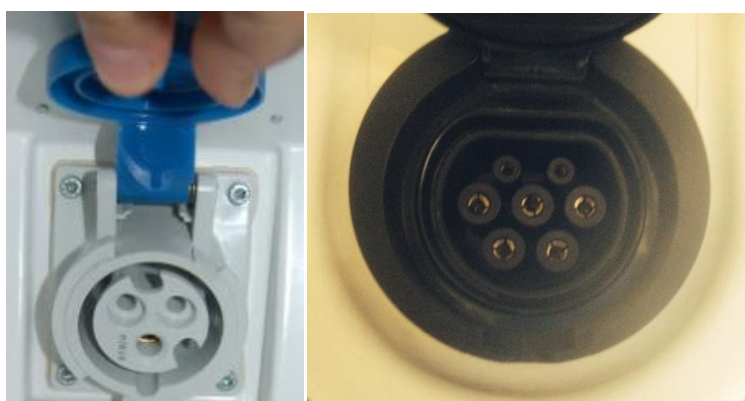


Figura 60 - Tomada industrial (esquerda) [98] e Mennekes (direita)



Figura 61 - Postos de carregamento rápido Efacec (esquerda) [99] e Magnum Cap (direita) [100]

Consoante o valor de corrente e a potência eléctrica disponíveis no posto, o tempo para efectuar o carregamento do EV irá variar. A tabela 18 mostra os tempos de carregamento.

Tabela 18 - Tempos de carregamento do EV em função do tipo de corrente e potência

[Adaptado de [91]]

Tempo de Carregamento	Tipo de Corrente	Potência	Tensão	Corrente
6 – 8 horas	AC Monofásica	3,7 kW	230 V	16 A
3 – 4 horas	AC Monofásica	7,4 kW	230 V	32 A
2 – 3 horas	AC Trifásica	11 kW	400 V	16 A
1 – 2 horas	AC Trifásica	22 kW	400 V	32 A
20 – 30 minutos	AC Trifásica	43 kW	400 V	63 A
20 – 30 minutos	DC	50 kW	500 V	100 A

3.4 - Fichas e tomadas utilizadas nos postos de carga e EV

Todos os EVs precisam de um cabo de ligação de forma a ser possível o seu carregamento.

As tomadas normalmente estão incorporadas na estrutura do EV e do posto de carregamento sendo que as fichas estão nas pontas do cabo de interligação entre os dois, sendo que há duas excepções: nas motas eléctricas e quadriciclos o cabo faz parte da mota, tendo uma ficha para ligar no posto de carregamento, e nos carregadores rápidos o cabo faz parte do posto, tendo uma ficha para ligar no EV.

A figura 62 mostra um exemplo de um quadriciclo.



Figura 62 - Exemplo de quadriciclo [101], [102]

Os EVs (automóveis) normalmente vêm equipados com 1 ou 2 cabos de interligação, que têm as fichas para adaptar a ligação aos postos de carregamento.

Em Portugal, na rede pública os postos de carregamento normal apenas permitem a sua utilização em modo 2 e 3, disponibilizando assim as tomadas respectivas para cada modo, de acordo com a figura 60. Para o modo 2, um dos cabos que pode ser utilizado consta na figura 63.



Figura 63 - Exemplo de cabo de ligação a utilizar em modo 2 [103]

Relativamente ao modo 3, a figura 64 mostra um dos tipos de cabo que pode ser utilizado. Outra opção é a colocação do lado do EV de uma ficha Mennekes, mantendo a ficha Mennekes do lado do posto de carregamento.



Figura 64 - Exemplo de cabo de ligação a utilizar em modo 3 [103]

3.5 - Posto de carregamento rápido instalado na rede Mobi.E

Como foi referido no início deste capítulo, apesar de estarem contemplados para a rede piloto da Mobi.E cerca de 50 postos de carregamento rápido, até à data só foi instalado um. No início da rede Mobi.E o posto de carregamento foi concebido para o carregamento em modo 4 recorrendo apenas á ficha CHAdeMO. No entanto, com a evolução tecnológica surgiu a ficha Combo e o carregamento rápido em AC trifásica através da ficha Mennekes. A figura 65 mostra um posto recente de carregamento rápido, que está equipado com todos os modos de carregamento normalizados, que permite carregar qualquer marca de EVs no mercado.



Figura 65 - Recente tecnologia de posto de carregamento rápido [Adaptado de [104]]

3.6 - Postos de carregamento em garagens

Existem postos de carregamento mais compactos designados, por Wall Box (Magnum Cap) ou Home Charger (Efacec), que são equipamentos ideais para quem quer carregar o seu EV numa garagem, pois foram desenhados especificamente para este fim, sendo possível adaptar a sua implementação para alimentar vários EVs em condomínios ou garagens.

Além de cumprir todas as características de segurança para salvaguardar o EV e o seu utilizador, a Wall Box poderá ser equipada com funcionalidades que permitem obter informações e controlar os carregamentos do EV.

As Wall Box distinguem-se em 2 tipos, com tomada integrada ou com cabo; podem ter tomadas monofásicas ou trifásicas e genericamente carregam dos 10 aos 32 A e com potências dos 2,3 aos 22 kWh.

Este tipo de postos de carregamentos dispõe de um conjunto de luzes capaz de fornecer informações sobre o seu funcionamento em cada instante, através de um conjunto de cores específicas, nomeadamente a verde (posto de carregamento disponível), a vermelha (falha detectada) e a azul (fixa – carregamento em curso; intermitente – carregamento completo), permitindo uma utilização mais fácil. A figura 66 mostra um exemplo de cada um destes postos de carregamento.



Figura 66 - Postos de carregamento em garagens: Home Charger (esquerda) [105] e Wall Box (direita) [106]

Além disso, este tipo de posto de carregamento pode incluir um cabo de ligação com 5 m de comprimento com uma ficha Yazaki, ou uma ficha Mennekes (monofásica ou trifásica), ou ainda uma tomada Mennekes (igualmente monofásica ou trifásica) [107].

4 - Legislação

4.1 – Introdução

Para que um veículo possa circular na via pública tem que estar devidamente homologado. A homologação consiste de acordo com [108] no “ *ato através do qual a autoridade nacional competente ou de outro Estado membro da União Europeia certifica que um modelo de veículo está em conformidade com os requisitos técnicos estabelecidos na legislação e que foi submetido aos ensaios e controlos exigidos.*”

Em Portugal a autoridade nacional competente é o IMTT (Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres).

No processo de conversão de um veículo convencional para eléctrico, existe legislação dedicada que é necessário cumprir, de modo a ser possível obter a homologação por parte do IMTT. Para além disso, as inspecções a que são sujeitos os veículos de modo a comprovar que os mesmos se encontram em boas condições para puderem circular em segurança na via pública, são também um aspecto importante a ter em conta.

Em seguida irá proceder-se a uma descrição sucinta da legislação que regula este tema, bem como as isenções que os EVs têm comparativamente aos veículos convencionais.

4.2 - Homologação de veículos

4.2.1 - Decreto-lei N° 16/2010

No ano 2000 foi aprovado o Decreto-Lei N° 72/2000 de 6 de Maio [109], referente ao regulamento de homologação CE. O mesmo foi sendo posteriormente alterado até que, de modo a existir um processo de homologação mais uniforme e comum a todos os estados membros tornou-se necessário o uso de directivas comunitárias em prol dos regulamentos de homologação de cada país, garantindo “ *um elevado nível de segurança rodoviária, de protecção da saúde e do ambiente, de eficiência energética e de protecção contra a utilização não autorizada*”.

Assim sendo, o Decreto-Lei N° 16/2010 consiste no seguinte:

1 — (...) transpõe para o direito interno a Directiva n.º 2007/46/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Setembro, relativa à homologação dos veículos a motor e seus reboques, e dos sistemas, componentes e unidades técnicas destinados a

serem utilizados nesses veículos e aprova o Regulamento que Estabelece o Quadro para a Homologação CE de Modelo de Automóveis e Reboques, Seus Sistemas, Componentes e Unidades Técnicas (...)

2 — (...) transpõe, também, para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 2009/1/CE, da Comissão, de 7 de Janeiro, alterando o Regulamento Que Estabelece as Disposições Administrativas e Técnicas para a Homologação dos Veículos das Categorias M1³ e N1⁴, Referentes à Reutilização, Reciclagem e Valorização dos Seus Componentes e Materiais, aprovado pelo Decreto –Lei n.º 149/2008, de 29 de Julho [110].

O regulamento referido no ponto 1 que consta no presente decreto-lei em anexo próprio estabelece as regras a cumprir para que o veículo a ser submetido ao processo de homologação seja aprovado. Existem dois tipos de homologação: a individual (aplicada a um veículo apenas) e de pequena série (aplicada a um número restrito de veículos). No entanto, de acordo com [108] existe um terceiro tipo de homologação, denominada de modelo (aplicada a um número ilimitado de veículos com idênticas características).

No âmbito deste trabalho, a homologação a aplicar será a individual e o veículo da categoria M1³. Para se solicitar a homologação de um veículo desta categoria junto do IMTT é necessário reunir todo um conjunto de informações imprescindíveis, que tornem possível um melhor entendimento de todo o projecto e incluir as fichas de homologação referentes á legislação dedicada a cada um dos requisitos que constem no anexo IV ou XI (destinado a veículos especiais: ambulâncias, carros funerários, autocaravanas, entre outros), do presente decreto-lei [111].

A validade da homologação individual está restrita ao território Português. A circulação noutro estado membro de um veículo submetido a este tipo de homologação em Portugal é aceite à partida, a não ser que o estado membro entenda que os requisitos em relação aos quais o veículo foi aprovado, não correspondem aos que constam na sua legislação.

³ Veículos concebidos e construídos para o transporte de passageiros com oito lugares sentados no máximo, além do lugar do condutor.

⁴ Veículos concebidos e construídos para o transporte de mercadorias com massa máxima não superior a 3,5 t.

No ponto 2, o regulamento mencionado (decreto-lei nº149/2008, de 29 de Julho), refere-se à reciclagem e reutilização de componentes em veículos novos, como parte integrante da estratégia de gestão de resíduos da comunidade europeia, de modo a tornar mais fácil o tratamento desses componentes após o fim de vida do veículo.

Durante a conversão de um veículo convencional para eléctrico, os sistemas e componentes sujeitos a alterações devem cumprir com o disposto no anexo IV do regulamento mencionado no ponto 1. Para além disso devem ser tidos em linha de conta os requisitos mencionados no Regulamento Nº100 da CEE-ONU (UNECE), referentes à segurança da instalação eléctrica a colocar no veículo.

4.2.2 - Regulamento Nº 100 UNECE

Este regulamento descreve todos os requisitos que devem ser cumpridos de modo a garantir a segurança da instalação eléctrica do veículo, com vista à homologação do mesmo. Em seguida irão ser descritos os requisitos mais importantes que constam no regulamento [112].

4.2.2.1 – Segurança do sistema eléctrico

Protecção contra contacto directo

Nos EVs há que garantir o correcto funcionamento do sistema eléctrico e também impedir que este cause problemas aos ocupantes e aos seus pertences. Assim sendo, no interior do compartimento dos ocupantes ou no espaço destinado à bagagem, todos os componentes pertencentes ao sistema eléctrico (cablagem, placas electrónicas, etc) deverão ter um índice de protecção IPXXD. Fora dos compartimentos anteriormente referidos, o sistema eléctrico deverá ter um índice de protecção IPXXB. De notar que a protecção pode ser efectuada através de revestimento isolante e não deverá ser possível abrir, retirar ou remover o mesmo usando somente as mãos.

Os índices de protecção IPXXB e IPXXD dizem respeito à capacidade de protecção que o revestimento/isolamento do sistema eléctrico possui, quando submetido a um ensaio onde é utilizado um dispositivo de teste que simula um dedo (IPXXB) e um fio de teste (IPXXD).

Conectores

Os conectores fazem parte do sistema eléctrico, uma vez que permitem a ligação de todos os cabos que formam a cablagem eléctrica. De modo a também eles garantirem a protecção contra contacto directo, têm que ter os índices de protecção referidos no ponto anterior no caso de serem separados usando apenas as mãos. Além disso devem ser colocados sob o piso e munidos de um sistema de bloqueio sendo necessário retirar outros componentes e recorrer a ferramentas a fim de ser possível separar o conector. A tensão na cablagem não deverá ser superior a 60V CC ou no caso de CA não deve ser superior a 30V um segundo após o conector ser separado.

Protecção contra contacto indirecto

De modo a prevenir choques eléctricos fruto de contacto indirecto, toda a cablagem deve possuir uma ligação à terra soldada ou aparafusada ao chassis do veículo.

Uma vez que os EVs permitem o carregamento das suas baterias através da rede eléctrica, deverá ser fornecido um cabo que permita a ligação entre uma fonte exterior de energia e o veículo. O mesmo deverá permitir inicialmente a ligação terra com o veículo e só depois fornecer energia eléctrica, mantendo a ligação terra até se desligar o veículo da fonte exterior de energia.

Funcionamento em Segurança

O condutor deverá pelo menos ser informado momentaneamente através de uma indicação, que o veículo está na eminência de iniciar o movimento, sendo apenas necessário por parte deste carregar no pedal do acelerador ou libertar o pedal de travão.

Numa situação de abandono do veículo por parte do condutor, este último deve ser avisado através de um sinal acústico ou visual, caso o veículo tenha ficado na eminência de iniciar o movimento.

Enquanto o veículo estiver ligado a uma fonte exterior de energia, não é permitido que o seu sistema de propulsão o coloque em movimento.

Indicação de tensão elevada

A imagem que se observa na figura 67 deve ser usada quando se pretende alertar para a existência de circuitos eléctricos, cablagem e baterias que funcionem com valores de tensão elevados de acordo com o que está regulamentado.

Relativamente à cablagem que funciona com valores de tensão elevados face aos valores definidos no regulamento, a mesma deve ter um revestimento exterior de cor laranja, caso esteja à vista.



Figura 67 - Indicação de tensão elevada [113]

4.2.2.2 – Segurança das baterias

Vibrações

As baterias bem como todos os componentes existentes no veículo vão estar sujeitas a vibrações. A fim de se verificar a capacidade das baterias suportarem as vibrações durante a utilização do veículo, é levado a cabo um ensaio de vibração.

Este ensaio consiste em submeter um conjunto de baterias fixado a uma plataforma vibratória, a vibrações cuja frequência tem início nos 7Hz aumentando até aos 50Hz, para regressar novamente aos 7Hz, constituindo um ciclo. Este ciclo deverá ser repetido 12 vezes e o ensaio deverá ter uma duração de 3h.

A temperatura ambiente do ensaio deverá ser na ordem dos 20 ± 10 °C, com todos os dispositivos de segurança existentes no conjunto de baterias e que sejam importantes para o resultado do ensaio em pleno funcionamento. O conjunto de baterias submetido ao ensaio é aprovado, caso não se verifiquem no decorrer do mesmo, fugas de electrólito (através de inspeção visual mantendo a bateria intacta), ruptura nas baterias (apenas em baterias de alta voltagem), fogo e explosão.

Choques Térmicos

Outro ensaio importante a ter em conta é o ensaio de choques térmicos. Este ensaio pretende verificar a capacidade das baterias suportarem variações repentinas de temperatura, sendo as mesmas sujeitas a um número específico de ciclos. O ensaio inicia-se à temperatura ambiente, seguida de uma temperatura elevada e uma temperatura baixa completando o ciclo. Com isto pretende-se simular a variação de temperaturas a que um conjunto de baterias está sujeito durante a vida útil da mesma.

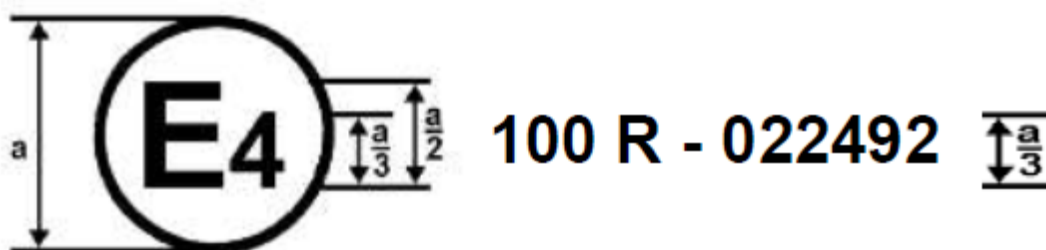
As baterias deverão ser armazenadas durante pelo menos 6 horas a uma temperatura de teste na ordem dos $60 \pm 2^\circ\text{C}$ ou superior, caso o fabricante assim o solicite, permanecendo em seguida pelo menos mais 6 horas a uma temperatura de teste na ordem dos $-40 \pm 2^\circ\text{C}$ ou inferior, se o fabricante assim o solicitar. O tempo máximo permitido entre os ensaios referidos não deverá ultrapassar os 30 minutos. O conjunto de baterias deverá ser sujeito a pelo menos 5 ciclos completos e posteriormente deverá ser armazenada durante 24h a uma temperatura de $20 \pm 10^\circ\text{C}$.

O conjunto de baterias submetido ao ensaio é aprovado, caso não se verifiquem no decorrer do mesmo, fugas de electrólito (através de inspecção visual mantendo a bateria intacta), ruptura nas baterias (apenas em baterias de alta voltagem), fogo e explosão.

4.2.2.3 - Marcações

Quando um veículo é aprovado, deverá ser colocado de modo permanente e em local de fácil leitura na ficha de homologação que acompanha o processo, um símbolo que confirme a aprovação. O símbolo é composto pela letra “ E ” no interior de um círculo, seguido de um número que indica o país de origem da homologação. No caso de Portugal esse número é o 21, de acordo com [114].

Na figura 68, consta um exemplo de marcação da Comunidade Europeia no qual se verifica que o veículo foi aprovado na Holanda (E4), de acordo com o regulamento nº 100, com o número 022492. Os primeiros dois dígitos indicam que a homologação foi obtida tendo em conta os requisitos que constam na 2ª série de alterações do referido regulamento.



a = Mínimo 8 mm.

Figura 68 - Marcação de Homologação de um veículo [113]

Na situação de aprovação de um conjunto de baterias, o exemplo anterior teria o aspecto da figura 69. Como se pode observar, ao lado da letra “R”, iria surgir a indicação “ES” indicando tratar-se de um conjunto de baterias. Tudo o resto que foi mencionado para o exemplo anterior é válido também para este. De notar que, caso a aprovação do

conjunto de baterias fosse efectuada com base no regulamento referido no exemplo anterior, somente o numero 2492 seria diferente.



Figura 69 - Marcação de Homologação de um conjunto de baterias [113]

4.3 - Centros de inspecções

No que diz respeito às inspecções periódicas levadas a cabo pelos centros de inspecções, os pontos a verificar durante as mesmas bem como o tipo de deficiência que cada um deles origina em caso de incumprimento, constam ambos no despacho 5392/99 de 16-3-1999 [115]. Presentemente o referido diploma é aplicado somente em veículos de combustão, não estando incluídas quaisquer verificações para EVs.

4.4 - Isenções

4.4.1 - Imposto Único de Circulação

Conforme mencionado em [116] : “*Estão isentos de imposto os seguintes veículos: d) Veículos não motorizados, exclusivamente eléctricos ou movidos a energias renováveis não combustíveis (...)*”. Daqui se deduz que tanto os EVs novos, como os sujeitos ao processo de conversão e devidamente homologados, ficam isentos do imposto único de circulação (IUC).

4.4.2 – Parques de Estacionamento EMEL

De acordo com [117], existe um dístico verde com o qual é possível o estacionamento de veículos puramente eléctricos em Lisboa, nas zonas concessionadas pela EMEL existentes na via publica, por tempo indeterminado e sem o pagamento da tarifa de estacionamento. Este dístico tem um custo anual de 12.00€ e a sua validade é de um ano.

No entanto, em parques cobertos ou subterrâneos existentes em Lisboa, os EVs ficam sujeitos ao pagamento das mesmas tarifas que os veículos convencionais.

5 – Caso de Estudo

5.1 – Introdução

A elaboração do caso de estudo que se apresenta ao longo deste capítulo foi efectuada a partir da conversão de um veículo convencional para eléctrico, numa empresa que se dedica também a esse tipo de actividade. O autor deste trabalho teve a oportunidade de acompanhar parte do processo de conversão.

A empresa em questão chama-se New Electric BV, está situada na Holanda e o veículo alvo da conversão é uma carrinha Volvo 240. O referido veículo consta na figura 70.



Figura 70 - Veículo que foi sujeito ao processo de conversão

O veículo em causa apresenta as seguintes características:

- Ano: 1989
- Combustível: Gasolina / GPL
- Depósito de Gasolina: 60 L
- Depósito de GPL: 80 L
- Peso: 1340 kg
- Cilindrada: 2000 cm³
- Dimensões: 4,84m x 1,71m x 1,46m

Optou-se por utilizar este veículo devido á ausência de um outro mais recente que pudesse ter sido usado no processo de conversão. Trata-se de um veículo que apesar de já ter uma idade avançada, permite no entanto dar a conhecer as fases pelas quais um processo de conversão tem que percorrer, de modo a ser bem sucedido.

5.2 – Descrição do processo de conversão

Como referido no capítulo dedicado ao sistema de propulsão em veículos eléctricos, aquele que vai ser usado nesta conversão será semelhante ao presente na figura 28 (a), onde se pode observar que à excepção do motor de combustão, todos restantes componentes mecânicos são aproveitados. A utilização dos mesmos visa facilitar todo o processo, para além de o tornar menos dispendioso.

5.3.1 – Remoção dos componentes desnecessários

Antes mesmo de se ter dado início a esta fase foram colocados pneus novos, que de acordo com o fabricante possuem uma baixa resistência ao rolamento. Quanto mais baixo for este parâmetro, menor será a energia dispendida para deslocar o veículo.

Em seguida foi retirado tudo o que não iria ser necessário para a conversão, nomeadamente o motor de combustão interna, todo o sistema de escape, os depósitos de gás e gasolina, o sistema de refrigeração, o sistema de ar condicionado e parte da cablagem eléctrica. No entanto, previamente foram recolhidos todo e qualquer fluido/liquido existente no motor e seus sistemas, bem como em ambos os depósitos de combustível.

Posteriormente procedeu-se à limpeza de todo o compartimento do motor, bem como na zona da caixa de velocidades que se encontra por baixo do veículo.

As figuras 71 e 72 mostram toda a secção inferior do veículo original.



Figura 71 - Parte do escape do veículo



Figura 72 - Reservatórios de gás, gasolina e restante tubagem de escape

A figura 73 mostra o veículo original com o motor de combustão interna.



Figura 73 - Veículo com o motor de combustão

A figura 74 mostra o veículo depois de retirado o motor de combustão interna.



Figura 74 - Veículo sem motor

Concluída a remoção do motor de combustão procedeu-se á limpeza de todo do compartimento do motor, conforme se pode observar nas figuras 75 e 76.



Figura 75 - Veículo após limpeza (vista lado esquerdo)

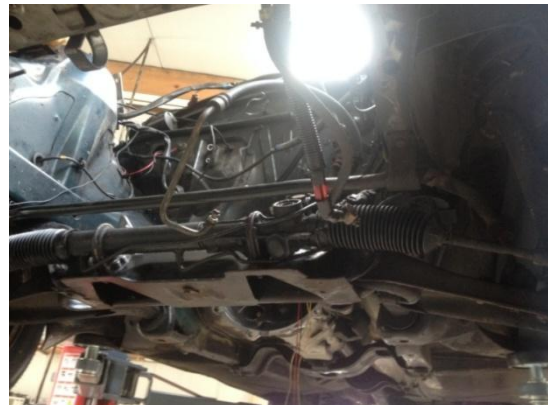


Figura 76 - Veículo após limpeza (vista lado direito)

Após terem sido removidos os depósitos de gasolina e GPL, ficou-se com um espaço disponível na traseira do veículo, onde posteriormente foram colocadas parte das baterias que alimentam o motor de tracção. A figura 77 mostra a secção inferior da traseira do veículo sem os referidos depósitos.



Figura 77 - Veículo sem os depósitos nem a tubagem de escape

Um dos parâmetros importantes que é preciso ter em conta nas conversões de veículos é o peso e a forma como este é distribuído no veículo, de modo a evitar que o centro de massa sofra grandes alterações. De notar ainda que o peso original deve ser mantido, a fim de garantir que o comportamento em estrada do veículo não se modifica.

A tabela 19 apresenta o peso dos equipamentos que foram removidos. Como referido anteriormente, no lugar outrora ocupado pelos depósitos de combustível irá ser aproveitado para alojar algumas das baterias a instalar na traseira do veículo, sendo as restantes baterias colocadas no local anteriormente ocupado pelo pneu suplente.

De todos os equipamentos retirados, aquele que consumiu mais tempo foi o motor de combustão, uma vez que foi necessário desligar todos os sistemas que mantêm o seu bom funcionamento, antes de o poder retirar.

Tabela 19 - Equipamentos removidos do veículo

Equipamentos Removidos	Peso (kgf)
Motor de Combustão (incluído óleo e fluidos hidráulicos), depósitos de gasolina e GPL, radiador do sistema de refrigeração do motor (com tubagem), radiador do sistema de ar condicionado (com tubagem), sistema de escape e parte da cablagem eléctrica	287.5

5.3.2 – Componentes colocados no veículo

5.3.2.1 – Baterias

Nesta conversão foram utilizadas as baterias de Lítio Fosfato de Ferro (LiFePO_4), com uma capacidade de 100 Ah do fabricante CALB. A escolha deste tipo de baterias teve em linha de conta, os bons resultados obtidos anteriormente, numa conversão de um outro veículo realizada pela mesma empresa. Para além disso, este tipo de baterias é tecnologicamente avançada, segura, compacta e leve, face a outras existentes no mercado. Na tabela 20 constam algumas das características das baterias usadas na conversão, do fabricante referido.

Tabela 20 – Resumo das características das baterias usadas na conversão [118]

Capacidade Nominal		100 Ah
Resistência Interna		< 0,6 mΩ
Tensão Nominal		3.2V
Carga	Corrente máxima	1C
	Tensão máxima	3.65V
Descarga	Corrente máxima	2C
	Tensão limite	2.5V
Tempo de Carregamento	Standard	4h
	Rápido	1h
Temperatura de funcionamento	Carga	0°C – 45°C
	Descarga	-20°C – 55°C
Ciclo de Vida a 0.3C e 80% DOD		2000
Peso		3,3Kg

Da observação da tabela 20, pode-se constatar a existência da letra C em algumas das características da bateria, letra essa que representa a capacidade em Ah. Uma vez que esta bateria é de 100 Ah, logo a corrente máxima durante as fases de carga e descarga possuem os valores de 100 e 200 A, respectivamente.

Além disso, destaque para a rapidez com que as baterias atingem a carga completa, uma vez que de acordo com o fabricante, mesmo em carregamento standard demoram apenas 4 h.

A figura 78 ilustra o tipo de bateria usado na conversão, bem como as suas dimensões.

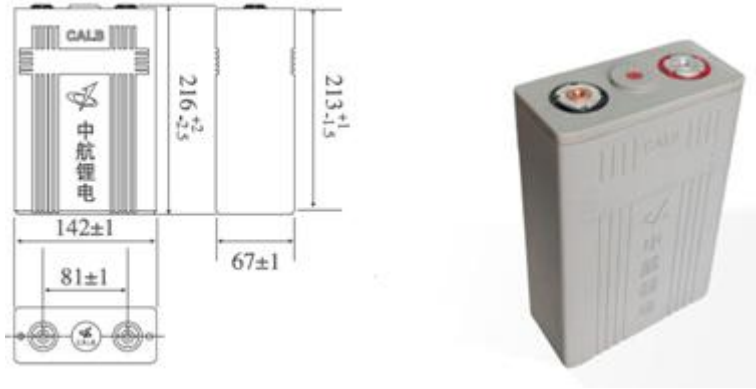


Figura 78 – Bateria de LiFePO4 e suas dimensões [118]

No total foram usadas 128 baterias que perfaz um valor de energia armazenada de 40960 Wh, uma vez que cada bateria tem 320Wh de energia ($3,2 V \times 100 Ah$), com peso do conjunto de baterias a atingir os 422,4 Kg ($3,3 Kg \times 128$). As mesmas foram instaladas tanto na frente como na traseira do veículo, com vista a uma melhor distribuição do seu peso. Além disso foram colocadas no interior de duas caixas em alumínio especialmente concebidas para o efeito com 3 mm de espessura, revestidas a borracha de 1mm de espessura e ainda com um isolamento acústico resistente ao fogo. A função das caixas é impedir que elementos como sujidade, humidade e a água entrem em contacto com as baterias e as danifiquem. As figuras 79 e 80 mostram as caixas das baterias e a sua localização no veículo.

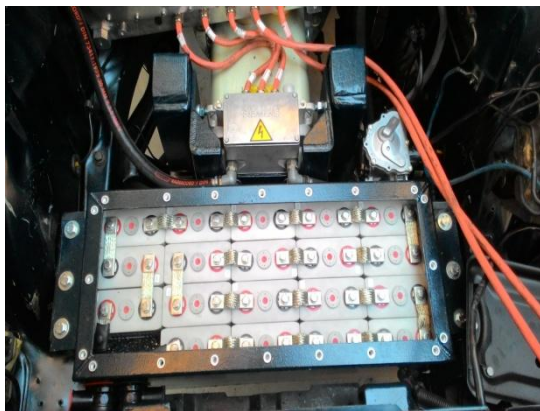


Figura 79 – Caixa das baterias (Frente do veículo)



Figura 80 – Caixa das baterias (Traseira do veículo)

5.3.2.2 – Sistema de gestão da bateria

Neste tipo de veículos é importante a colocação de um sistema encarregue de monitorizar o funcionamento das células que compõem o conjunto de baterias, de modo a prevenir que não haja células com valores de tensão diferentes durante o processo de carga e descarga. A monitorização é efectuada com base em informação relativa ao estado de carga, à tensão, à temperatura e à corrente que entra e sai do conjunto de baterias, contribuindo assim para o seu correcto funcionamento e longevidade.

A figura 81 mostra o “cérebro” do sistema de gestão da bateria.



Figura 81 – Sistema de gestão da bateria

5.3.2.3 – Sistemas de Carregamento de Baterias (carregamento normal e rápido)

Com vista a permitir o carregamento das baterias tanto num posto de carregamento rápido (em modo 4 através de uma ficha CHAdeMO), como num posto de carregamento normal (em modo 3 usando uma ficha Mennekes), foram instalados dois sistemas de carregamento. Esta característica torna o veículo mais versátil, uma vez que permite ao condutor perante as eventuais opções disponíveis decidir qual a opção de carregamento pretendida.

O sistema de carregamento rápido foi instalado na traseira do veículo do lado oposto ao carregamento normal. A ligação ao referido sistema foi realizada através de uma tomada CHAdeMO que tem dois cabos cor de laranja (cor usada quando se está na presença de valores de tensão elevados, conforme o regulamento nº100 da UNECE), para além de outros fios, cujo propósito é garantir que o carregamento das baterias se realiza nas devidas condições de segurança. De notar que este sistema de carregamento não

necessita de um carregador instalado no veículo, uma vez que o próprio posto se encarrega de converter AC em DC, enviando a mesma directamente para o veículo.

O segundo sistema de carregamento, que permite o carregamento normal foi instalado na traseira, mais propriamente na zona anteriormente destinada ao equipamento usado na substituição de qualquer um dos pneus. Optou-se por aproveitar este espaço, devido a ser possível colocar a tomada Mennekes perto do carregador, através da utilização da entrada existente na carroçaria do veículo, destinada anteriormente á colocação de gasolina no depósito.

O carregador incorporado no sistema de carregamento normal é do fabricante Manzanita, modelo PFC20. Este carregador permite uma tensão de entrada a partir dos 100 até aos 240V AC, e uma tensão de saída entre os 12 até aos 450 V DC [119].

Na figura 82 consta o carregador referido acima.



Figura 82 - Carregador Manzanita PFC20

As figuras 83 e 84 mostram as tomadas que permitem o carregamento normal (Menmekes) e rápido (CHAdEMO), respectivamente.



Figura 83 - Tomada de ligação para carregamento normal (Mennekes)



Figura 84 - Tomada de ligação para o carregamento rápido (CHAdeMO)

5.3.2.4 – Monitor de Bateria

Para além do sistema de gestão de bateria, existe o monitor de bateria. Este último está ligado ao primeiro e permite informar o condutor de alguns parâmetros relativos ao conjunto de baterias.

O equipamento utilizado na conversão é um Victron Energy, modelo BMV-702. O mesmo permite obter informações sobre a tensão, corrente, potência, amperes-hora consumidos e estado da carga da bateria [120]. Para além disso permite uma gama de tensões de alimentação desde os 6,5V até aos 95V DC. Este equipamento foi instalado no tablier de veículo, de modo a permitir um fácil acesso por parte do condutor.

A figura 85 mostra o monitor de bateria usado.



Figura 85 – Monitor de bateria Victron Energy

A ligação deste equipamento a um computador com o software BMV-Reader instalado, permite não só visualizar graficamente ao longo do tempo o comportamento dos parâmetros registados, como os valores actuais desses mesmos parâmetros. Para além disso, permite guardar toda a informação para um ficheiro no formato CSV (*Comma Separated Value*) [120].

5.3.2.5 – Conversor DC/DC

O veículo a converter está equipado com travões ABS (*Anti-lock Braking System*) e direcção assistida hidráulica. Assim sendo, foi necessário colocar uma bomba de vácuo para garantir o correcto funcionamento do sistema de travagem. A direcção assistida deixou de ser hidráulica para passar a ser eléctrica, por comodidade na instalação dos componentes e ao mesmo tempo simplificando o sistema de direcção, sem no entanto comprometer a segurança do veículo. Os sistemas referidos são alimentados pelo conversor isolado da TDK modelo 9M68-14B227-AB com uma tensão de 12V.

A figura 86 mostra o conversor usado na conversão.



Figura 86 – Conversor DC/DC

De notar que este equipamento funciona como o alternador no caso dos veículos convencionais.

5.3.2.6 – Motor Eléctrico

Trata-se de um dos componentes que permite colocar o veículo em andamento, bem como recuperar parte da energia durante a travagem regenerativa. O motor escolhido para impulsionar o veículo foi um motor de indução do fabricante Siemens, modelo

AZD 1PV5135-4WS14 com um binário máximo de 300 Nm e uma potência máxima de 99 Kw.

Conforme se pode observar na curva característica do motor que consta na figura 87, o mesmo disponibiliza um elevado binário logo no arranque, como é comum com outros motores eléctricos, cujo valor nominal se situa nos 160 Nm, começando a descer de forma mais acentuada a partir das 2000 rpm em diante. No entanto, conforme a referida figura, em caso de necessidade o binário deste motor pode partir dos 300 Nm, mantendo este valor até às 3000 rpm e começando a descer daí em diante.

Em relação á potência eléctrica, verifica-se um aumento desde 0 até às 6000 rpm estabilizando nos 67Kw de acordo com a figura 88. A referida figura ilustra também que, em caso de necessidade a potência deste motor pode aumentar linearmente até às 3100 rpm, mantendo-se nos 99Kw até bem perto das 5000 rpm, começando a descer daí em diante.

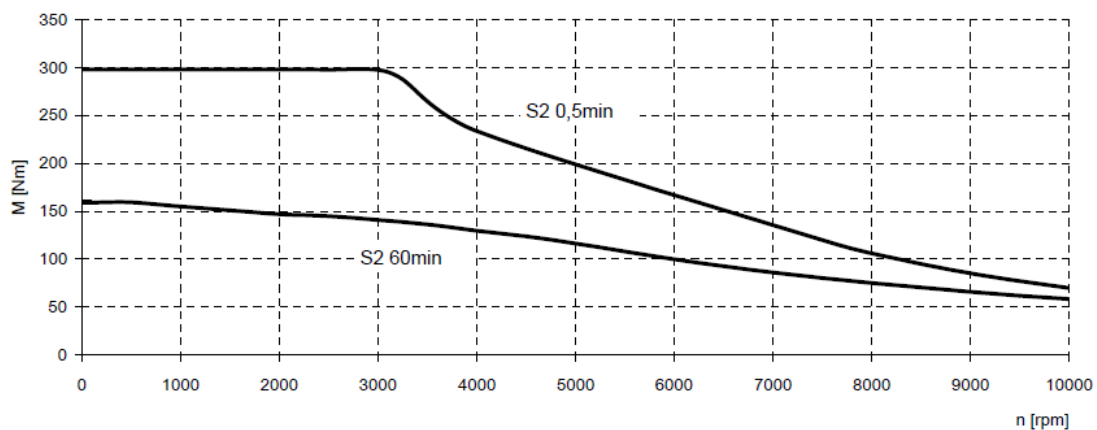


Figura 87- Curva binário vs velocidade de rotação (cortesia do fabricante Siemens)

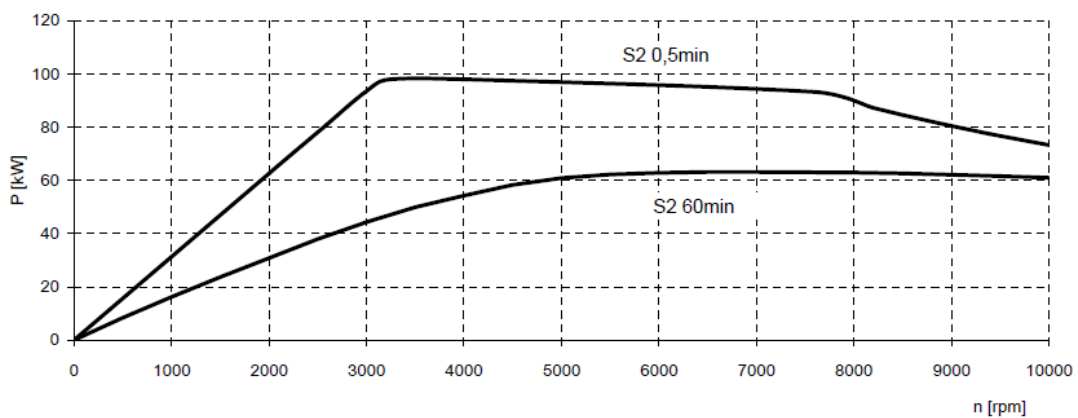


Figura 88- Curva potência vs velocidade de rotação (cortesia do fabricante Siemens)

As curvas que constam nas figuras 87 e 88 foram obtidas através de ensaios de curta duração (S2), caracterizados pelo funcionamento do motor em carga constante sem que a temperatura de equilíbrio seja alcançada. Os períodos de paragem durante o ensaio permitem ao motor arrefecer até à temperatura ambiente [121]. No anexo B consta uma tabela que descreve os regimes de funcionamento de motores eléctricos.

O motor vai ocupar parte do espaço deixado pelo motor de combustão, sendo ligado à caixa de velocidades por meio de uma placa destinada a esse fim, e fixado ao chassis do veículo, conforme se pode observar nas figuras 89 e 90.



Figura 89 – Pormenor da ligação da placa que permite a ligação entre o motor e a caixa de velocidades



Figura 90 – Fixação do motor no chassis do veículo

5.3.2.7 – Controlador

Trata-se de um equipamento que permite controlar a velocidade do motor eléctrico, actuando na quantidade de energia eléctrica que chega ao mesmo, vinda das baterias. Esse controlo é feito entrando com a informação dada pelos pedais do acelerador e travão.

O controlador utilizado no processo de conversão foi o *Azure Dynamics*, DMOC645 de 118 kW (figura 91), cuja gama de tensões de funcionamento varia desde os 100 até aos 400 V DC, podendo a corrente atingir um valor máximo de 414 A [122].

A escolha do controlador deve ter em atenção o tipo de motor que se pretende utilizar, as características técnicas do mesmo, de modo a que não seja ultrapassada a capacidade efectiva do controlador (evitando assim possíveis avarias).



Figura 91 - Controlador Azure Dynamics

5.3.2.8 – Botão de Emergência

O botão de emergência tem como função desactivar o sistema de propulsão do veículo, através de um corte de energia a este sistema, quando pressionado. Geralmente são utilizados em situações de perigo eminente ou quando se pretende evitar este tipo de situações. Uma vez ultrapassada a situação de perigo, basta rodá-lo no sentido dos ponteiros do relógio e assim reactivar o sistema anteriormente desactivado. Foi instalado no tablier do veículo, mais concretamente por baixo do relógio existente no mesmo, por conseguinte perto do condutor de forma a ser facilmente acessível, conforme se pode observar na figura 92.



Figura 92 - Botão de Emergência instalado no tablier

5.3.2.9 – Interruptor de Inércia

Tanto o interruptor de inércia como o botão de emergência estão encarregues de desligar o sistema de propulsão do veículo. A principal diferença entre ambos reside no facto do botão de emergência ser de actuação manual, ao invés do interruptor de inércia, que funciona de forma autónoma. Este equipamento tem no seu interior uma esfera magnética, que em caso de colisão sai do seu lugar, abrindo assim um interruptor. No caso de uma pequena colisão é possível reactivá-lo, sendo necessário pressionar a parte superior em borracha de cor vermelha. Além disso, deve ser colocado na vertical, isto é, com a extremidade em borracha virada para cima.

A figura 93 mostra um interruptor de inércia.



Figura 93 – Interruptor de Inércia [123]

5.3.2.10 – Dispositivos de protecção

Fusíveis

Tal como nos veículos convencionais onde a colocação de fusíveis serve para proteger em caso de anomalia os circuitos nos quais estão inseridos, também nos EVs o objectivo é o mesmo.

No caso do veículo convertido recorreu-se à aplicação de um fusível no circuito responsável pelo fornecimento de energia eléctrica desde o conjunto de baterias até ao motor. A selecção deste fusível foi feita tendo em conta o conjunto de equipamentos motor/controlador, cuja corrente é de 400 A. Deste modo, o fusível colocado está preparado para valores de 500 V e 400 A em DC.

Findo a descrição dos equipamentos instalados no veículo, irá proceder-se de seguida á análise da viabilidade económica do projecto.

5.4 – Viabilidade Económica do Projecto

Todos os veículos, independentemente da fonte de energia utilizada na sua locomoção têm sempre custos associados, sendo um dos mais significativos o da manutenção. Ora, nem mesmo os EVs escapam a esta regra. No entanto, destaque para as diferenças entre os veículos convencionais e eléctricos, com os últimos a necessitar de menos manutenção, com a conseqüente redução deste custo. A figura 94 mostra os pontos que carecem de manutenção num EV e num convencional.

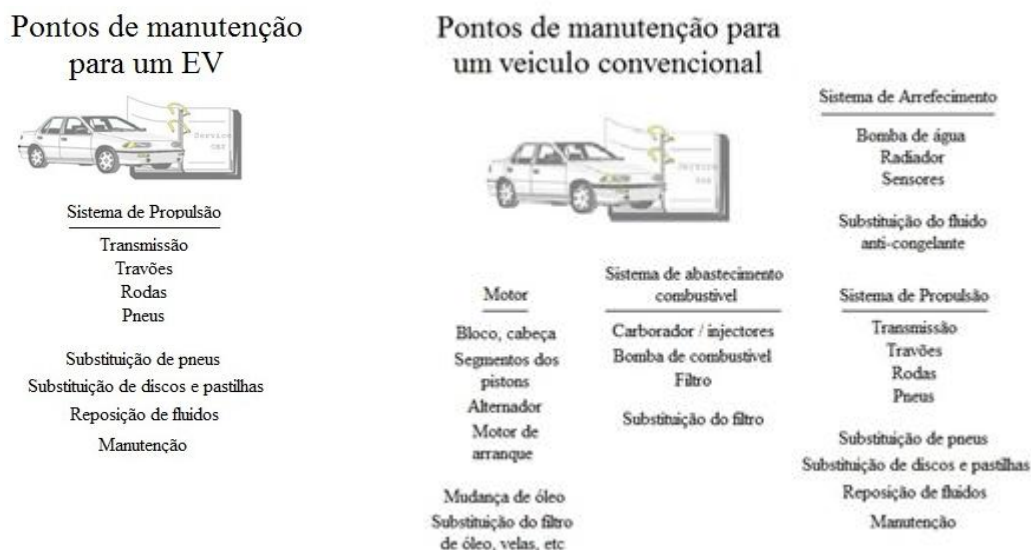


Figura 94 - Pontos de manutenção de um EV e convencional [124]

Os restantes custos associados aos EVs e convencionais estão presentes na tabela 21.

Tabela 21 – Custos dos EVs e Convencionais

EVs	Veículos Convencionais
Seguro de acidentes	Seguro de acidentes
Preço da Electricidade	Imposto Único de Circulação
Revisão	Preço do Combustível
Inspecção Periódica	Revisão
	Inspecção Periódica

Apesar dos custos anteriormente referidos, para o estudo da viabilidade económica do processo de conversão anteriormente descrito, foram considerados apenas os custos relativos ao preço do combustível e preço da energia eléctrica (para uma potência contratada de 3,45 KVA), que se aplicam aos veículos convencionais e eléctricos, respectivamente. Além disso, foram tidos em conta outros parâmetros necessários à realização deste estudo. A tabela 22 mostra os parâmetros que foram considerados para o veículo antes e após a conversão.

Tabela 22 – Parâmetros considerados para o veículo antes e após a conversão

Veículo	Parâmetros
Veículo convencional (antes da conversão)	Preço da gasolina/GPL (€/litro)
	Distância média diária (Km)
	Consumo médio de combustível (GPL / gasolina) (litros/100km)
	Capacidade dos depósitos (GPL/gasolina) (litros)
EV (após conversão)	Preço da energia eléctrica (€/KWh)
	Distância média diária (Km)
	Consumo médio de energia (Wh/100Km)
	Energia armazenada no pack de baterias (Kwh)

Devido á constante variação dos preços dos combustíveis (várias vezes ao ano), e do aumento dos preços das tarifas de energia (anual), recorreu-se á informação disponibilizada no site da DGEG (Direcção Geral de Energia e Geologia) [125] e da ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) [126], para melhor se perceber em termos quantitativos a evolução dos preços nos últimos quinze anos. As figuras 95 e 96 mostram a variação de preços dos combustíveis (gasolina e GPL), bem como dos preços da electricidade, respectivamente.

De relembrar que o veiculo alvo do processo de conversão, para além de utilizar gasolina estava equipado com o sistema de GPL. Sendo assim, torna-se relevante o estudo da viabilidade económica para ambos os combustíveis, face ao mesmo veiculo após a conversão.

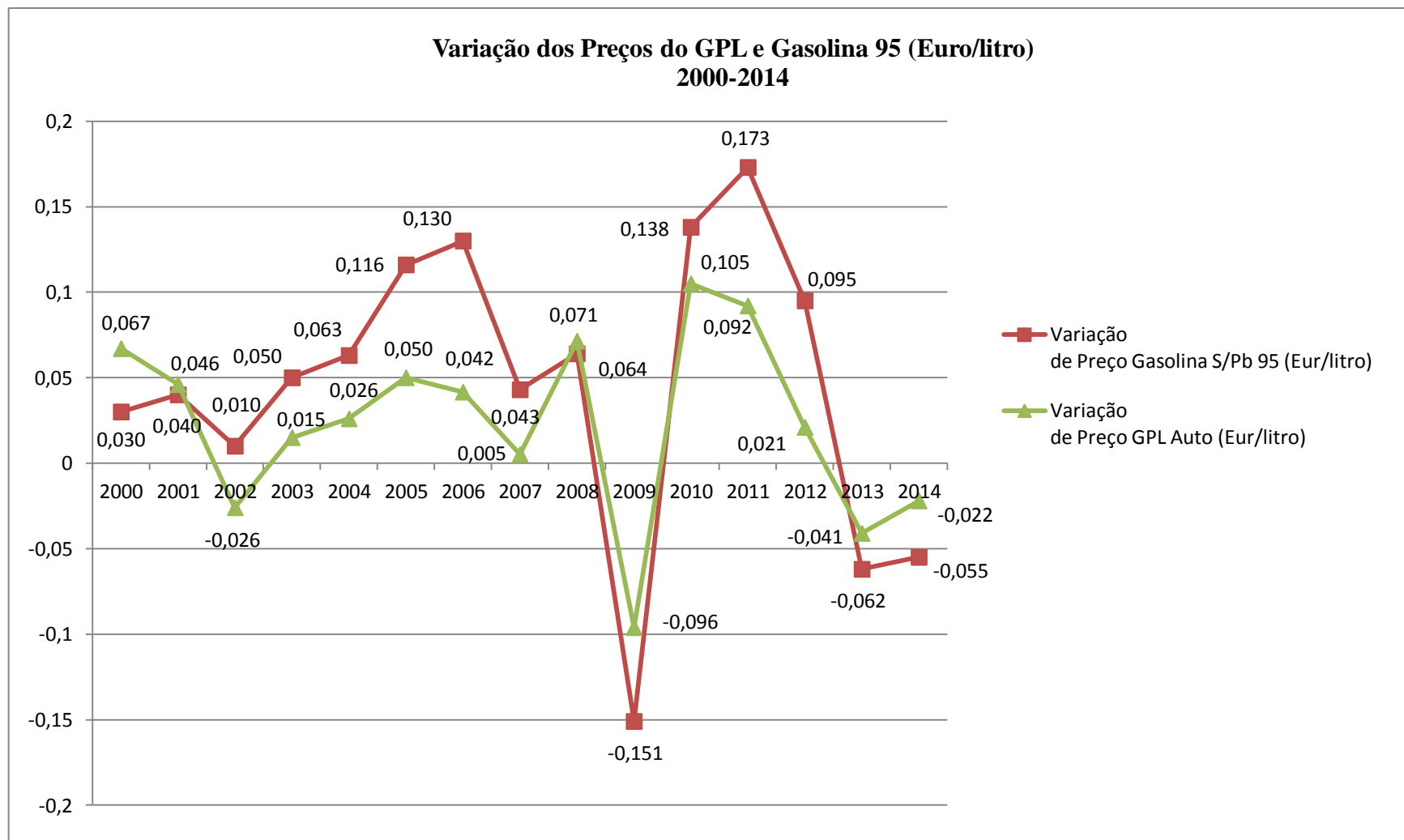


Figura 95 – Variação dos preços do GPL e Gasolina 95 (Euro/litro) de 2000 a 2014

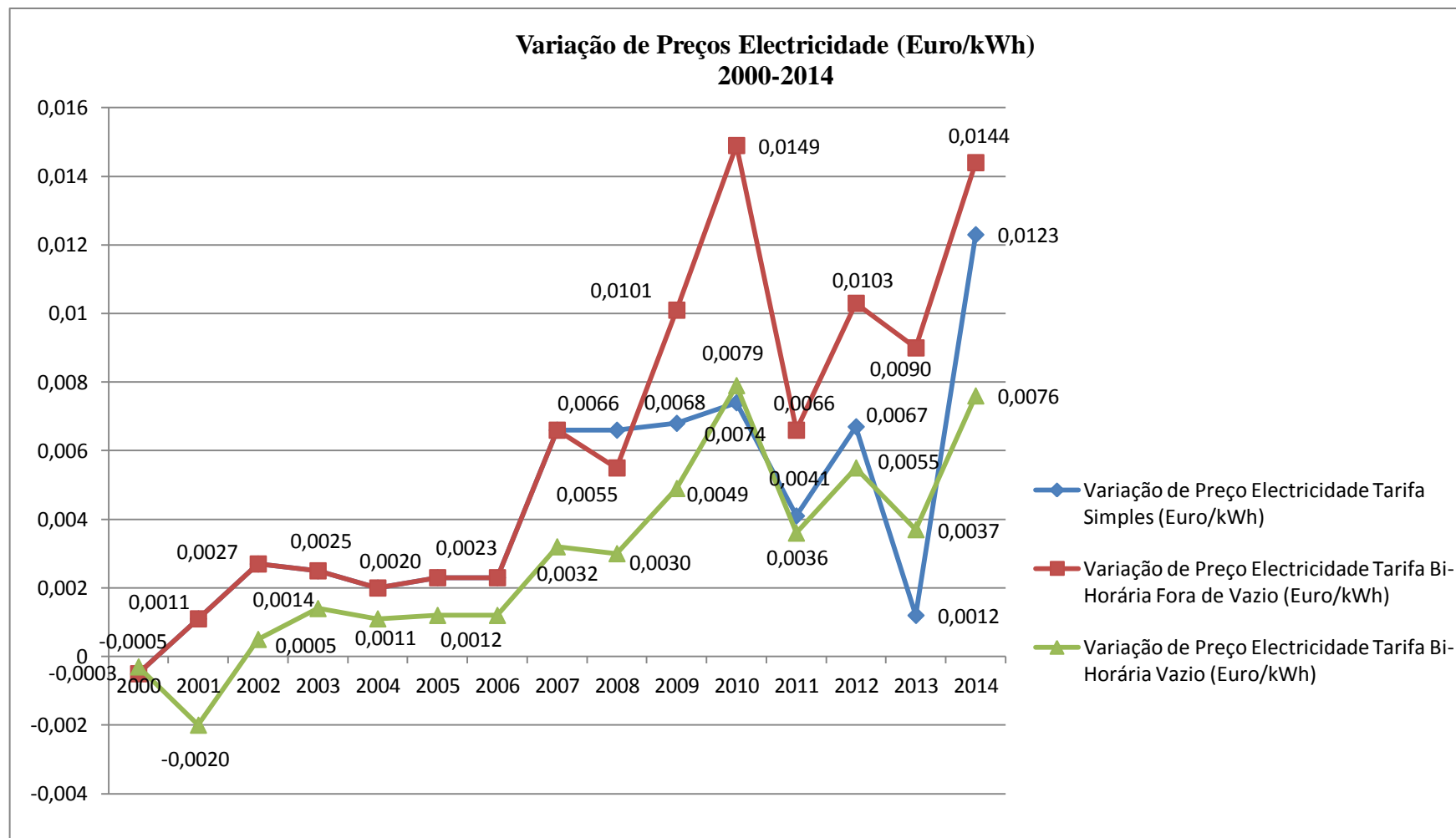


Figura 96 – Variação dos preços da electricidade (Euro/kWh) de 2000 a 2014

A partir dos preços praticados pelo sector da energia e dos combustíveis no ano corrente, e com base na variação de preços nos últimos quinze anos que constam nas figuras 95 e 96, foi estabelecida uma tendência de preços para os próximos quinze anos. A referida tendência está demonstrada na figura 97 para os combustíveis (GPL e gasolina), e na figura 98 para a electricidade.

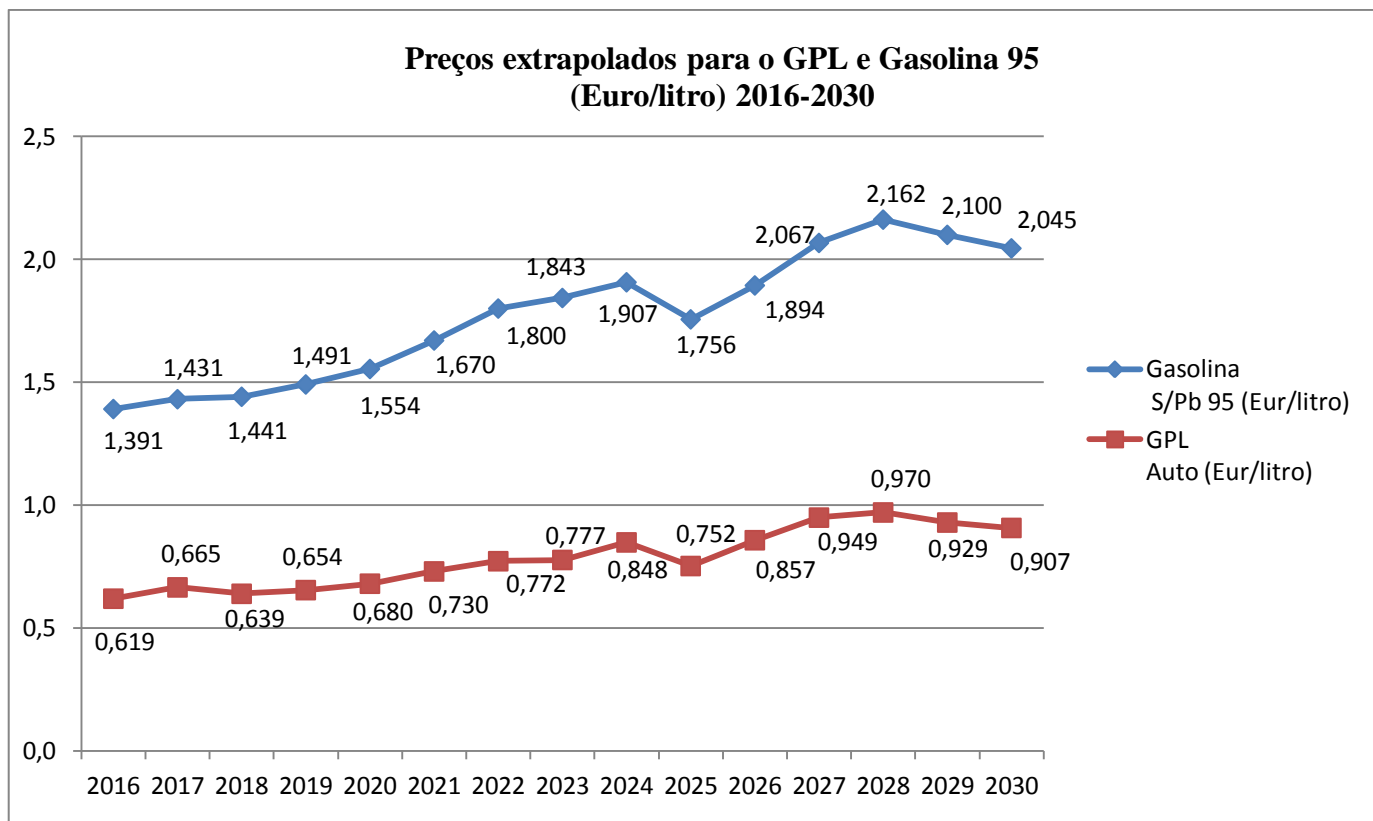


Figura 97 – Preços extrapolados do GPL e Gasolina 95 (Euro/litro) de 2016 a 2030

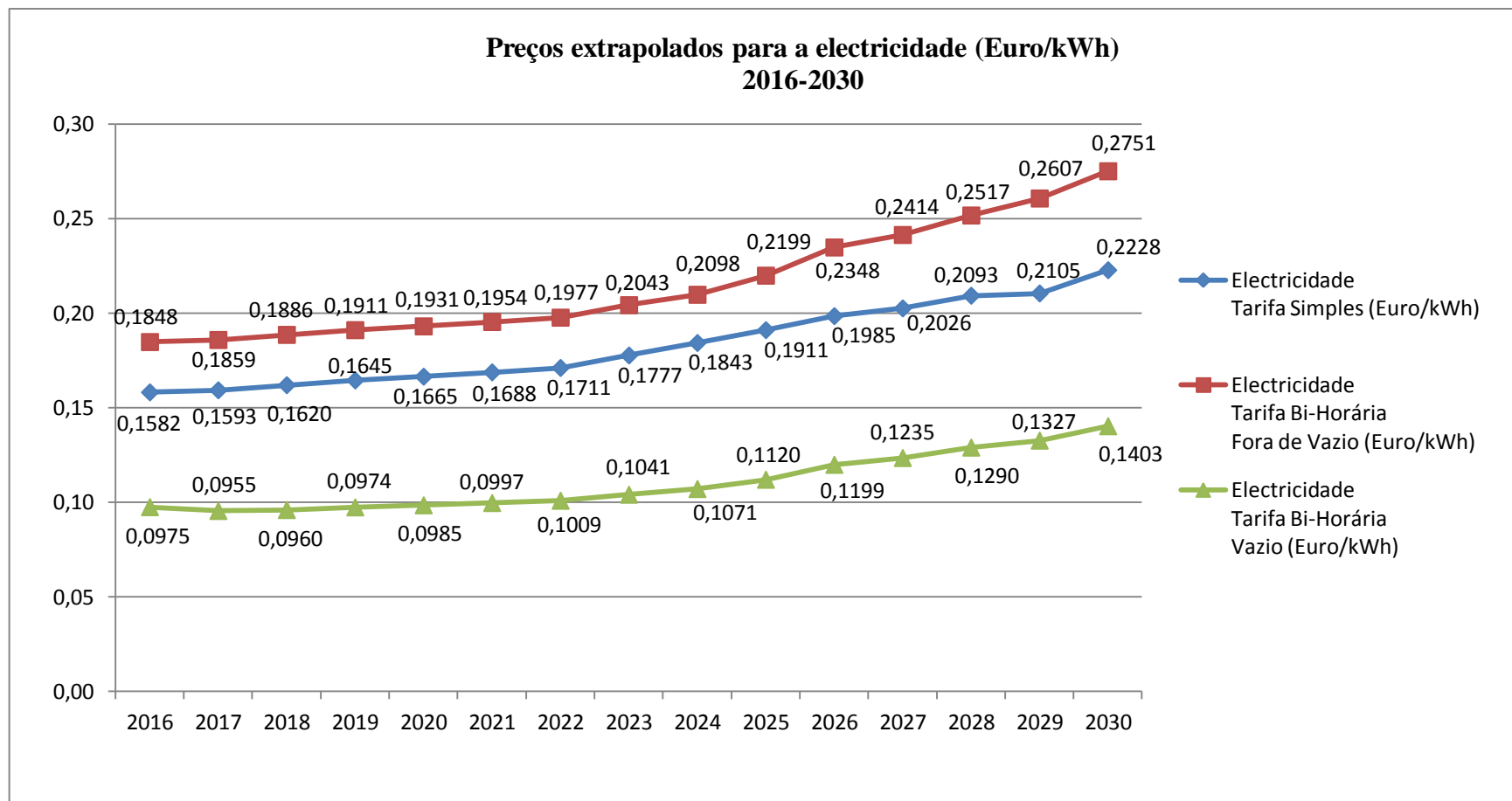


Figura 98 - Preços extrapolados para a electricidade (Euro/kWh) de 2016 a 2030

A tabela que deu origem aos gráficos das figuras 95 a 98 consta no Anexo C.

Um outro parâmetro importante para o estudo, que consta na tabela 22 corresponde ao consumo de energia (Wh/100Km) que o veículo eléctrico possui. Para o veículo em causa, o valor estimado para este parâmetro é de 29000 Wh/100Km.

Relativamente á distância média diária, foi considerado o valor de 70 Km.

A tabela 23 apresenta toda a informação constante na tabela 22, à qual foi adicionada os valores dos parâmetros que não variam de ano para ano. Os restantes valores estão representados nas figuras 97 e 98.

Tabela 23 – Parâmetros considerados consoante o veículo (inclui valores dos parâmetros fixos)

Veículo	Parâmetros
Veículo convencional (antes da conversão)	Preço da gasolina/GPL (€/litro)
	Distância média diária – 70 Km
	Consumo médio de gasolina - 10 (litros/100km)
	Consumo médio de GPL - 11 (litros/100km)
	Capacidade do depósito gasolina – 60 (litros)
	Capacidade do depósito GPL – 80 (litros)
EV (após conversão)	Preço da energia eléctrica (€/KWh)
	Distância média diária – 70 Km
	Consumo médio de energia - 29000 Wh/100Km
	Energia armazenada no pack de baterias - 41 KWh

Com base na informação presente na tabela 23 e nas figuras 97 e 98, foram efectuados cálculos com o objectivo de determinar a viabilidade económica da conversão durante um período de quinze anos. Alguns desses cálculos referem-se ao custo anual da gasolina e do GPL, que serão de seguida apresentados a título de exemplo para o ano de 2016.

O veículo original tinha uma capacidade do depósito de gasolina que rondava os 60 L. Com um consumo de 10 litros/100km, e assumindo que o condutor atestava o depósito cada vez que se dirigia ao posto de abastecimento, logo com o depósito cheio o veículo percorria 600 km. Tendo em conta a distância média diária de 70 km, conclui-se que um depósito durava cerca de 8,5 dias. Na prática, o valor de 8,5 dias significa que o condutor quando entrava no nono dia, só conseguia fazer cerca de 35 Km ($70/2 = 35$). Sendo assim, o depósito de combustível era atestado 4 vezes por mês, ou seja 48 vezes por ano. Posto isto de acordo com a expressão (5.1) anualmente eram gastos cerca de 2880 litros de gasolina, uma vez que:

$$60 \text{ (litros deposito Gasolina)} \times 48 \text{ (n}^\circ \text{ de vezes que o deposito era atestado por ano)} = 2880 \text{ L} \quad (5.1)$$

A titulo de exemplo, para o ano de 2016 com base na figura 97 extrapolou-se o preço da gasolina em 1,391 €/litro, logo de acordo com a expressão (5.2), o custo relativo ao combustível seria de 4006,08 € pois:

$$2880 \text{ (Litros de gasolina/Ano)} \times 1,391 \text{ (€/Litro)} = 4006,08 \text{ €/Ano} \quad (5.2)$$

Para o GPL, os cálculos a realizar são semelhantes aos anteriormente descritos, no entanto a capacidade do depósito do GPL era de 80 L e o consumo de 11L/100 Km. Assim sendo, com o depósito cheio o veículo percorria cerca de 727 Km, permitia uma utilização durante cerca de 10 dias, logo por mês tinha que ser atestado 3 vezes, totalizando 36 vezes por ano.

Anualmente eram dispendidos cerca de 2880 litros de GPL conforme demonstra a expressão (5.3), tendo em conta que:

$$80 \text{ (litros deposito de GPL)} \times 36 \text{ (n}^\circ \text{ de vezes que o deposito era atestado por ano)} = 2880 \text{ L} \quad (5.3)$$

Recorrendo novamente á figura 97, para o ano de 2016 o preço do GPL extrapolado situa-se nos 0,619 €/Litro, o que significa um custo para esse ano de 1782,72 € de acordo com a expressão (5.4), dado que:

$$2880 \text{ (Litros de GPL/Ano)} \times 0,619 \text{ (€/Litro)} = 1782,72 \text{ €/Ano} \quad (5.4)$$

Uma vez determinados os custos dos combustíveis para o ano de 2016, torna-se necessário prosseguir com os cálculos para se saber os custos das duas tarifas da electricidade consideradas.

Dado que cada bateria colocada no veículo tem uma tensão de 3.2V e uma capacidade de 100 Ah, logo cada bateria pode armazenar 320Wh de energia e como foram instaladas 128 baterias, a energia do conjunto de baterias totaliza os de 40960 Wh. Atendendo ao consumo estimado de 29000 Wh/100Km, obtém-se o valor da autonomia em modo eléctrico que é de 141,2 Km, logo entrando em linha de conta com a distância média diária de 70 Km, cada carregamento das baterias dura cerca de 2 dias, sendo necessário carregar o veiculo cerca de

15 vezes por mês, ou seja 180 vezes por ano. Assim sendo, recorrendo á expressão (5.5) conclui-se que anualmente são gastos cerca de 7372,8 KWh, uma vez que:

$$40960 \text{ Wh (energia baterias)} \times 180 \text{ (n}^\circ \text{ de carregamentos por ano)} = 7372,8 \text{ KWh} \quad (5.5)$$

Pegando nos valores da figura 98, para o ano de 2016 extrapolou-se o preço da electricidade (tarifa simples) em 0,1582 €/Kwh, logo o custo relativo á electricidade para a tarifa referida é de 1166,38 €/Ano conforme se demonstra na expressão (5.6):

$$7372,8 \text{ (KWh/Ano)} \times 0,1582 \text{ (€/KW h)} = 1166,38 \text{ €/Ano} \quad (5.6)$$

Relativamente ao custo da electricidade para a tarifa bi-horária (fora de vazio e vazio), o mesmo calcula-se de modo semelhante ao demonstrado para a tarifa simples, apenas variando o preço da energia ano após ano, uma vez que a energia consumida é igual.

O valor da poupança alcançada efectuou-se utilizando a diferença de custos para cada um dos casos. A título de exemplo, a poupança estimada para o ano de 2016 quando se compara o custo da gasolina com o da electricidade (tarifa simples) situa-se nos 2839,70€, de acordo com a expressão (5.7):

$$4006,08 \text{ (Custo anual gasolina)} - 1166,38 \text{ (Custo anual electric. tarifa simples)} = 2839,70 \text{ €} \quad (5.7)$$

Para os restantes anos, os cálculos em si são semelhantes aos anteriormente descritos.

No cálculo do valor remanescente a amortizar em 2016, entrou-se em linha de conta com o valor do investimento inicial, ao qual se adicionou o valor da poupança obtida nesse mesmo ano em cada caso. A título de exemplo, a expressão (5.8) mostra que o valor a amortizar em 2016 para o caso da gasolina e electricidade (tarifa simples) será de -35910,30€, atendendo a que:

$$\begin{aligned} -38750 \text{ (investimento conversão (€))} + 2839,70 \text{ (poupança gasolina} \rightarrow \text{electric.tarifa simples)} \\ = -35910,30 \text{ €} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Devido ao facto do cálculo do valor remanescente a amortizar diferir para os anos 2016, 2017 e 2026, o mesmo foi efectuado também para os dois últimos. No entanto, para o ano de 2026 o cálculo será explicado mais adiante. Para 2017 considerou-se a parcela referente ao valor a amortizar para o ano de 2016 em cada caso, e adicionou-se o valor da poupança obtida também para cada caso no ano de 2017.

Como exemplo, em 2017 o valor a amortizar para o caso gasolina e electricidade (tarifa simples) será de -32963,50€, de acordo com a expressão seguinte (5.9):

$$\begin{aligned} & -35910,30 \text{ (valor a amortizar em 2016)} + 2946,79 \text{ (poupança gasolina} \rightarrow \text{electric.tarifa simples em 2017)} \\ & = -32963,50\text{€} \end{aligned} \tag{5.9}$$

Com base nos dados do fabricante apresentados na tabela 20, verifica-se que as baterias permitem efectuar cerca de 2000 ciclos proporcionando uma duração de 11,1(1) anos até ser alcançado o período de vida útil das mesmas. A duração é dada pela expressão (5.10):

$$\frac{2000 \text{ (n}^\circ \text{ de ciclos das baterias)}}{180 \text{ (n}^\circ \text{ de carregamentos das baterias por ano)}} = 11,1(1) \text{ Anos} \tag{5.10}$$

Deste modo, no ano de 2026 as baterias terão atingido o fim da sua vida útil, devendo proceder-se á substituição das mesmas, conforme assinalado com um x na tabela 24.

A partir de contactos efectuados com o fabricante das baterias utilizadas na conversão, verificou-se que o preço actual das mesmas é de 12635€. No entanto, quando as baterias atingirem o fim da sua vida útil não é expectável que o preço das mesmas seja o referido anteriormente. Ainda assim para efeitos de estudo, optou-se por efectuar os cálculos do valor a amortizar entrando com o preço actual das baterias na altura devida. Deste modo, para o ano de 2026 considerou-se a parcela referente ao valor a amortizar para o ano de 2025 em cada caso, e adicionou-se o valor da poupança obtida também para cada caso no ano de 2026 e o preço das novas baterias a colocar no veículo.

Como exemplo, em 2026 o valor a amortizar para o caso gasolina e electricidade (tarifa simples) será de - 13055,43€, de acordo com a expressão (5.11):

$$\begin{aligned} & -4411,64 \text{ (valor a amortizar em 2025)} + 3991,22 \text{ (poupança gasolina} \rightarrow \text{electric.tarifa simples em 2026)} \\ & \quad -12635\text{€ (Preço das baterias)} = -13055,43\text{€} \end{aligned} \tag{5.11}$$

Para os restantes anos, o cálculo do valor remanescente a amortizar é semelhante ao mencionado para o ano de 2017.

Posto isto, na tabela 24 apresenta-se o custo relativo aos combustíveis (gasolina, GPL) e electricidade, tendo por base os preços extrapolados para os próximos quinze anos, presentes nas figuras 97 e 98. Na mesma tabela consta ainda a poupança alcançada, bem como a evolução do valor a amortizar referente á conversão do veículo e preços das novas baterias nesse mesmo período de tempo, face aos dois tipos de combustível que o veículo podia utilizar antes de ser convertido.

A tabela 24 e toda a informação presente no Anexo C constam no ficheiro Excel que acompanha este trabalho, cujo título é: “*Variação de preços dos combustíveis e electricidade e Amortização do Investimento*”.

Tabela 24 – Evolução da amortização do investimento em função do custo dos combustíveis/electricidade e poupança alcançada com a conversão.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Litros de gasolina gastos por ano	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Preço do litro de gasolina	1,391	1,431	1,441	1,491	1,554	1,670	1,800	1,843	1,907	1,756	1,894	2,067	2,162	2,100	2,045
Custo da gasolina	4006,08	4121,28	4150,08	4294,08	4475,52	4809,60	5184,00	5307,84	5492,16	5057,28	5454,72	5952,96	6226,56	6048,00	5889,60
Litros de GPL gastos por ano	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880	2880
Preço do litro de GPL	0,619	0,665	0,639	0,654	0,680	0,730	0,772	0,777	0,848	0,752	0,857	0,949	0,970	0,929	0,907
Custo do GPL	1782,72	1915,20	1840,32	1883,52	1958,40	2102,40	2223,36	2237,76	2442,24	2165,76	2468,16	2733,12	2793,6	2675,52	2612,16
Nº de KWh consumidos por ano	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8	7372,8
Preço da electricidade Tarifa Simples	0,1582	0,1593	0,1620	0,1645	0,1665	0,1688	0,1711	0,1777	0,1843	0,1911	0,1985	0,2026	0,2093	0,2105	0,2228
Custo da electricidade Tarifa Simples	1166,38	1174,49	1194,39	1212,83	1227,57	1244,53	1261,49	1310,15	1358,81	1408,94	1463,50	1493,73	1543,13	1551,97	1642,66
Preço da electricidade Tarifa Bi-Horária Fora de Vazio	0,1848	0,1859	0,1886	0,1911	0,1931	0,1954	0,1977	0,2043	0,2098	0,2199	0,2348	0,2414	0,2517	0,2607	0,2751
Custo da electricidade Tarifa Bi-Horária Fora de Vazio	1362,49	1370,60	1390,51	1408,94	1423,69	1440,65	1457,60	1506,26	1546,81	1621,28	1731,13	1779,79	1855,73	1922,09	2028,26
Preço da electricidade Tarifa Bi-Horária Vazio	0,0975	0,0955	0,0960	0,0974	0,0985	0,0997	0,1009	0,1041	0,1071	0,1120	0,1199	0,1235	0,1290	0,1327	0,1403
Custo da electricidade Tarifa Bi-Horária Vazio	718,85	704,10	707,79	718,11	726,22	735,07	743,92	767,51	789,63	825,75	884,00	910,54	951,09	978,37	1034,40
Substituição das baterias											X				
Poupança alcançada															
Gasolina → electricidade Tarifa Simples	2839,70	2946,79	2955,69	3081,25	3247,95	3565,07	3922,51	3997,69	4133,35	3648,34	3991,22	4459,23	4683,43	4496,03	4246,94
Gasolina → electricidade Tarifa Bi-Horária Fora de Vazio	2643,59	2750,68	2759,57	2885,14	3051,83	3368,95	3726,40	3801,58	3945,35	3436,00	3723,59	4173,17	4370,83	4125,91	3861,34
Gasolina → electricidade Tarifa Bi-Horária Vazio	3287,23	3417,18	3442,29	3575,97	3749,30	4074,53	4440,08	4540,33	4702,53	4231,53	4570,72	5042,42	5275,47	5069,63	4855,20
GPL → electricidade Tarifa Simples	616,34	740,71	645,93	670,69	730,83	857,87	961,87	927,61	1083,43	756,82	1004,66	1239,39	1250,47	1123,55	969,50
GPL → electricidade Tarifa Bi-Horária Fora de Vazio	420,23	544,60	449,81	474,58	534,71	661,75	765,76	731,50	895,43	544,48	737,03	953,33	937,87	753,43	583,90
GPL → electricidade Tarifa Bi-Horária Vazio	1063,87	1211,10	1132,53	1165,41	1232,18	1367,33	1479,44	1470,25	1652,61	1340,01	1584,16	1822,58	1842,51	1697,15	1577,76
Custo da Conversão (referente a 2015)	-38750										-12635				
Amortização do investimento															
Gasolina → electricidade Tarifa Simples	-35910,30	-32963,50	-30007,82	-26926,56	-23678,61	-20113,54	-16191	-12193,34	-8060	-4411,64	-13055,43	-8596,19	-3912,76	583,2637	4830,20
Gasolina → electricidade Tarifa Bi-Horária Fora de Vazio	-36106,41	-33355,74	-30596,17	-27711	-24659,20	-21290,24	-17563,84	-13762,27	-9816,92	-6380,92	-15292,33	-11119,17	-6748,34	-2622,43	1238,913
Gasolina → electricidade Tarifa Bi-Horária Vazio	-35462,77	-32045,59	-28603,30	-25027,3	-21278	-17203,50	-12763,41	-8223,08	-3520,55	710,98	-7353,30	-2310,88	2964,586	8034,215	12889,41
GPL → electricidade Tarifa Simples	-38133,66	-37392,94	-36747	-36076,32	-35345,49	-34487,62	-33525,75	-32598,14	-31514,70	-30757,88	-42388,23	-41148,83	-39898,36	-38774,82	-37805,32
GPL → electricidade Tarifa Bi-Horária Fora de Vazio	-38329,77	-37785,18	-37335,37	-36860,79	-36326,08	-35664,32	-34898,56	-34167,07	-33271,64	-32727,16	-44625,13	-43671,81	-42733,94	-41980,51	-41396,61
GPL → electricidade Tarifa Bi-Horária Vazio	-37686,13	-36475	-35342,50	-34177,09	-32944,91	-31577,58	-30098,13	-28627,88	-26975,27	-25635,26	-36686,1	-34863,52	-33021	-31323,86	-29746,11

Observando a tabela 24 verifica-se que para a tendência estabelecida, o preço previsto por litro de gasolina nos próximos quinze anos irá continuar a ser bastante superior comparativamente ao preço do KWh da electricidade. Para o caso do GPL, a diferença do preço por litro prevista face ao preço do KWh da electricidade, de acordo com a mesma tendência, revela-se bem menos acentuada. Assim sendo, não é de estranhar que o custo da gasolina face ao da electricidade seja mais elevado, quando comparado com o custo do GPL face ao da electricidade, sendo notória essa diferença nos valores da poupança alcançada para cada uma das comparações anteriormente referidas.

Relativamente ao valor a amortizar, de notar que o mesmo depende não só dos cálculos anteriormente descritos, mas também do investimento inicial e do custo de substituição das baterias no fim da sua vida útil. Quanto á primeira situação em concreto, o valor da conversão foi de 38.750€, revelando-se bastante elevado e prolongando assim o tempo de recuperação do valor dispendido. Juntando ao investimento inicial o custo da substituição das baterias na ordem dos 12.635€, acaba por atrasar um pouco mais a recuperação do valor dispendido. Somente para a gasolina é que a conversão se torna viável ainda que a longo prazo, sendo o valor do investimento (inicial + custo de novas baterias) totalmente recuperado ao fim de 14 anos para a tarifa simples e 15 anos caso se opte pela tarifa bi-horária fora de vazio. Em relação á tarifa bi-horária em vazio, ao fim de 10 anos o investimento inicial é recuperado. Porém com o término da vida útil das baterias ao fim de 11 anos torna-se necessário novo investimento que é recuperado ao fim de 2 anos.

Verifica-se a título de exemplo para 2016 que o custo por cada 100 km para o veículo convertido se situa nos 4,59€ ($29KWh \times 0.1582 \text{ €/KWh}$) para a tarifa simples, variando esse mesmo custo entre os 2,83€ e os 5,36€ para a tarifa bi-horária em vazio e fora do vazio, respectivamente. Para a gasolina e o GPL o custo para percorrer igual distância é superior, situando-se nos 13,91€ ($10Litros \times 1,391 \text{ €/litro}$) e nos 6,81€ ($11 \text{ litros} \times 0,619 \text{ €/litro}$), respectivamente.

6 - Conclusões

A elaboração deste trabalho final de mestrado permitiu ao autor adquirir mais conhecimentos sobre os equipamentos que compõem um EV, os tipos de EVs existentes actualmente e as suas características. Além disso, permitiu também adquirir conhecimento sobre a legislação em Portugal e não só, aplicável na conversão de veículos convencionais em eléctricos.

Dada a existência de um leque variado de soluções tecnológicas em termos de equipamentos que podem ser instalados durante a conversão, aliada à flexibilidade que os EVs proporcionam, torna necessário um planeamento e execução cuidados por parte de quem executa a conversão, de modo a garantir a compatibilidade dos equipamentos usados, bem como manter as características técnicas do veículo dentro dos parâmetros admissíveis.

Com o intuito de promover a utilização de EVs tanto os convertidos como os novos, é fundamental dar especial atenção aos postos de carregamento através da colocação dos mesmos em locais devidamente sinalizados e mantendo o seu bom funcionamento. Além disso, o alargamento e melhoria da rede de postos de abastecimento é essencial, uma vez que desta maneira torna-se possível percorrer distâncias maiores, e de certa forma atenuar a autonomia limitada dos EVs.

O contacto com a empresa New Electric foi essencial para a construção do caso de estudo apresentado, permitindo mostrar na prática as principais fases que constituem o processo de conversão.

Na vertente da viabilidade económica do projecto constatou-se que o preço da conversão foi bastante elevado, verificando-se que num período de 15 anos só é possível amortizar o investimento (inicial + custo de novas baterias), entre os 13 e os 15 anos no caso da gasolina (dependendo da tarifa da electricidade escolhida), e no caso do GPL a mesma é inviável nesse mesmo período devido ao preço do GPL ser bem mais baixo que o da gasolina.

Em termos de custo por cada 100 Km tendo por base o ano de 2016, destaque para uma redução bastante acentuada no caso da gasolina, passando dos 13,91 €/100Km para os 4,58€/100Km (tarifa simples), 5,36€/100Km (tarifa bi-horária fora de vazio), ou ainda

2,83€/100Km (tarifa bi-horária vazio), dependendo da tarifa escolhida. Relativamente ao GPL no mesmo ano, o custo por cada 100 Km situa-se nos 6,80€/100Km, demonstrando uma variação bem menor face ao custo por 100Km da electricidade, referido anteriormente.

O EV pode ser adoptado como alternativa ao veículo convencional sobretudo nas deslocações diárias dentro da cidade onde os índices de poluição são mais elevados, permitindo não só uma poupança no custo de funcionamento e manutenção comparativamente a um veículo convencional, como também no custo do estacionamento na via pública, mediante requisição do dístico verde.

7 – Propostas para trabalhos futuros

Apesar de há uns anos atrás algumas empresas portuguesas terem apostado na conversão de veículos convencionais para eléctricos, actualmente, devido em parte à crise em que Portugal se encontra e também à fraca adesão do público, tal não se verifica.

Este tipo de projectos não deve permanecer circunscrito a algumas empresas, estabelecimentos de ensino superior ou a pessoas a título individual, mas deverá estar disponível num futuro próximo para o público em geral, permitindo desta forma a redução de preços inerentes ao processo de conversão.

Seria interessante efectuar o acompanhamento de todo o processo de homologação de um veículo convertido junto da entidade competente para o efeito (IMTT), desde a elaboração da documentação necessária para iniciar o processo, passando pela realização de eventuais testes ao veículo que comprovem na prática que a legislação aplicável foi cumprida, até á emissão do comprovativo de homologação para o veículo em causa.

8 – Referências Bibliográficas

- [1] C. C. Chan, A. B. Fellow e K. Chen, “Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles: Architectures and Modeling,” *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, vol. 59, n.º 2, pp. 589-598, Fevereiro 2010.
- [2] P. Melo, “Veículos Elétricos – Características e Tipos de Motores,” *Neutro á Terra*. p13-22, Dezembro 2009.
- [3] D. A. J. Rand, R. Woods e R. M. Dell, *Batteries for Electric Vehicles*, Taunton : Research Studies, 1998.
- [4] Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), “APREN - Associação Portuguesa de Energias Renováveis,” Maio 2015. [Online]. Available: http://www.apren.pt/fotos/newsletter/conteudos/energiapt_2013_dgeg_1433429705.pdf. [Acedido em 31 Janeiro 2016].
- [5] D. –. D. d. P. e. E. Económicos, Novembro 2015. [Online]. Available: http://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_petroleo_e_derivados.pdf. [Acedido em 31 Janeiro 2016].
- [6] J. L. James Larminie, *Electric vehicle technology explained*, John Wiley & Sons, 2003.
- [7] Nissan, [Online]. Available: <http://www.nissan.pt/PT/pt/vehicle/electric-vehicles/leaf/prices-and-equipment/prices-and-specifications.html>. [Acedido em 26 Setembro 2015].
- [8] Mitsubishi, [Online]. Available: <http://www.mitsubishi-motors.pt/imiev/#!>. [Acedido em 26 Setembro 2015].
- [9] Peugeot, [Online]. Available: <http://www.peugeot.pt/showroom/ion/5-portas/>. [Acedido em 26 Setembro 2015].
- [10] Citroen, [Online]. Available: <http://www.citroen.pt/veiculos/citroen/c-zero.html>. [Acedido em 26 Setembro 2015].
- [11] Renault, [Online]. Available: <http://www.renault.pt/gama/veiculos-eletricos/>. [Acedido em 26 Setembro 2015].
- [12] BMW, [Online]. Available: <http://www.bmw.pt/pt/all-models/bmw-i/i3/2013/at-a-glance.html>. [Acedido em 26 Setembro 2015].
- [13] Volkswagen, [Online]. Available: <http://www.volkswagen.pt/pt/parceria-edp.html>. [Acedido em 26 Setembro 2015].

- [14] Mercedes-Benz, [Online]. Available: http://www.mercedesbenz.pt/content/portugal/mpc/mpc_portugal_website/ptng/home_mpc/passengercars/home_new_cars/models/b-class/w242.flash.html#_int_passengercars:home:model-navi:w242. [Acedido em 5 Novembro 2015].
- [15] Smart, [Online]. Available: <https://www.smart.com/pt/pt/index/smart-fortwo-electric-drive.html#?showme.ccindex=0>. [Acedido em 5 Novembro 2015].
- [16] “Zeev mobility for people,” [Online]. Available: <http://www.zeev.pt/>. [Acedido em 17 Novembro 2015].
- [17] MINISTÉRIO DA ECONOMIA DA INOVAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO, “IMT - Instituto da Mobilidade e dos Transportes,” 26 Abril 2010. [Online]. Available: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2010/04/08000/0137101386.pdf>. [Acedido em 12 Dezembro 2014].
- [18] MINISTÉRIOS DAS FINANÇAS E DA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, DA ECONOMIA, DA INOVAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO E DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES, 7 Julho 2010. [Online]. Available: <https://dre.pt/application/dir/pdf1s/2010/07/13000/0247702479.pdf>. [Acedido em 29 Setembro 2014].
- [19] I. Husain, *Electric and Hybrid Vehicles : Design Fundamentals*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2003, p. 270.
- [20] M. Ehsani, Y. Gao e A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles - Fundamentals, Theory and Design - Second Edition*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2010.
- [21] Z. Guirong, Z. Henghai e L. Houyu, “The Driving Control of Pure Electric Vehicle,” em *2011 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2011)*, China, 2011.
- [22] P. Melo, “Estruturas e Características de Veículos Híbridos e Eléctricos,” *Neutro á Terra* p17-26, pp. 17-26, Dezembro 2010.
- [23] N. M. A. Sampaio, “Estudo da Viabilidade Técnica e Económica da Conversão para Veículo Eléctrico.,” Porto, 2012.
- [24] L. Guzzella e A. Sciarretta, *Vehicle propulsion systems : introduction to modeling and optimization*, Berlim: Springer, 2005.
- [25] A. Emadi, *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*, CRC, 2005.

- [26] I. BUCHMANN, Batteries in a portable world : a handbook on rechargeable batteries for non-engineers Second Edition, Richmond: Cadex Electronics Inc, 2001.
- [27] [Online]. Available: <http://www.algarbaterias.com/index/index/page/4>. [Acedido em 28 Janeiro 2015].
- [28] [Online]. Available: <http://jceletronica.2k00.com/Jc-Eletronica-b0/author-Admin-b0-aut1-64.htm>. [Acedido em 15 Outubro 2014].
- [29] “Wikienergia,” [Online]. Available: http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Bateria_de_n%C3%ADquel-c%C3%A1dmio. [Acedido em 15 Outubro 2014].
- [30] D. Linden e T. B. Reddy, Handbook of Batteries - Third Edition, Mc-Graw Hill, 2002.
- [31] “Green Packs,” [Online]. Available: <http://www.greenpacks.org/2010/10/29/toyota-to-recycle-used-nickel-for-new-batteries/>. [Acedido em 16 Outubro 2014].
- [32] “Wikimedia,” [Online]. Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ni-MH_Battery_01.JPG. [Acedido em 16 Outubro 2014].
- [33] K. Jung, S. Lee, G. Kim e C.-S. Kim, “Stress analyses for the glass joints of contemporary sodium sulfur,” *Journal of Power Sources*, vol. 269, 2014.
- [34] T. Oshima, M. Kajita e A. Okuno, “Development of Sodium-Sulfur Batteries,” *International Journal of Applied Ceramic Technology - Ceramic Product Development and Commercialization*, 2004.
- [35] “APVE,” [Online]. Available: http://www.apve.pt/upload/conteudo_index/bus/news.htm. [Acedido em 18 Outubro 2014].
- [36] A. J. L. Rómulo e M. L. P. Santiago, “DISEÑO, ADAPTACIÓN Y CONVERSIÓN DE UNA MOTOCICLETA DE 100 C.C. A GASOLINA EN ELÉCTRICA,” Sangolquí, 2013.
- [37] “Encmag,” [Online]. Available: <http://www.ecnmag.com/articles/2007/04/lithium-ion-batteries-good-things-small-packages>. [Acedido em 17 Outubro 2014].
- [38] C. P. Ordóñez, “ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS,” Madrid, 2011.
- [39] “Wikipédia,” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery#mediaviewer/File:NASA_Lithium_Ion_Polymer_Battery.jpg. [Acedido em 28 Outubro 2014].
- [40] W. Jiayuan, S. Zechang e W. Xuezhe, “Performance and Characteristic Research in LiFePO4 Battery for Electric Vehicle Applications,” em *Vehicle Power and Propulsion Conference, 2009. VPPC '09. IEEE*, Dearborn, MI, 2009.

- [41] M. d. F. N. C. Rosolem, R. F. Beck, G. R. d. Santos e V. T. Arioli, Julho/Dezembro 2012. [Online]. Available: http://scholar.google.pt/scholar?hl=en&q=Bateria+de+l%C3%ADtio%C3%ADon%3A+conceitos+b%C3%A1sicos+e+potencialidades&btnG=&as_sdt=1%2C5&as_sdtp=. [Acedido em 08 Agosto 2015].
- [42] [Online]. Available: http://www.tnd-battery.com/html_products/LiFePO4-Pristmatic-Battery-cell-32V-100AH-691522P-276.html. [Acedido em 07 Agosto 2015].
- [43] M. S. Whittingham, "History, Evolution, and Future Status of Energy Storage," *Proceedings of the IEEE*, vol. 100, n.º Special Centennial Issue, pp. 1518 - 1534, 10 05 2012.
- [44] A. Ritchie, "Recent developments and likely advances in lithium rechargeable batteries," *Journal of Power Sources*, vol. 136, n.º 2, pp. 285-289, 1 Outubro 2004.
- [45] J. C. M. d. Silva, *Sistema de mobilidade eléctrica de duas rodas de elevada eficiência e performance*, 2013.
- [46] "Inside Evs," [Online]. Available: <http://insideevs.com/1000-mile-aluminum-air-battery-consumes-aluminum-as-fuel-dreamy-battery-tech-is-only-feasible-in-dreams/>. [Acedido em 30 Outubro 2014].
- [47] Electric Fuel Transportation Corporation, "Electric Fuel introduces practical, zero-emission transportation," [Online]. Available: <http://www.electric-fuel.com/evtech/EF-tech-brochure.pdf>. [Acedido em 30 Outubro 2014].
- [48] P. V. d. Bossche, F. Vergels, J. V. Mierlo, J. Matheys e W. V. Autenboer, "SUBAT: An assessment of sustainable battery technology," vol. 162, n.º 2, 2006.
- [49] S. J. Gerssen-Gondelach e A. P. Faaij, "Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term," *Journal of Power Sources*, vol. 212, pp. 111-129, 10 Abril 2012.
- [50] G. Ren, G. Ma e N. Cong, "Renewable and Sustainable Energy Reviews," *Review of electrical energy storage system for vehicular applications*, vol. 41, pp. 225-236, Janeiro 2015.
- [51] B. G. Pollet, I. Staffell e J. L. Shang, "Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects," *Electrochimica Acta*, vol. 84, pp.235-249, 1 Dezembro 2012.
- [52] "Wikipédia," [Online]. Available: es.wikipedia.org/wiki/Toyota_Prius#Grupo_de_bater.C3.ADas. [Acedido em 4 Fevereiro 2015].
- [53] S. F. Tie e C. W. Tan, "A review of energy sources and energy management system in electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 82-102, Abril 2013.

- [54] J. Dixon, "Energy Storage for Electric Vehicles," em *Industrial Technology (ICIT), 2010 IEEE International Conference on*, Vi a del Mar, 2010.
- [55] J. V. Mierlo, P. V. d. Bossche e G. Maggetto, "Models of energy sources for EV and HEV: fuel cells, batteries, ultracapacitors, flywheels and engine-generators," vol. 128, n.º 1, 2004.
- [56] J. L. Pérez-Aparicio e L. Ripoll, "Exact, integrated and complete solutions for composite flywheels," vol. 93, n.º 1, 2011.
- [57] L. Kumar e S. Jain, "Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, p. 924–940, Janeiro 2014.
- [58] Joaquim Carlos Novais de Freitas, "Tese sobre Projeto e análise ao funcionamento de carros elétricos. Orientador : Jorge Martins e Coorientador: Francisco Brito," Universidade do Minho, 2012.
- [59] A. Khaligh e Z. Li, "Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 59, n.º 6, pp. 2806 - 2814, Julho 2010.
- [60] N. K. Medora e A. Kusko, "Battery management for hybrid electric vehicles using supercapacitors as a supplementary energy storage system," em *Telecommunications Energy Conference (INTELEC), 2012 IEEE 34th International* , Scottsdale, AZ , 2012.
- [61] A. Burke, "Ultracapacitors: why, how, and where is the technology," vol. 91, n.º 1, 2000.
- [62] P. Gwangmin, L. Seonghun, J. Sungho e K. Sangshin, "Integrated modeling and analysis of dynamics for electric vehicle powertrains," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, n.º 5, p. 2595–2607, Abril 2014.
- [63] "Protean," [Online]. Available: <http://www.proteanelectric.com/en/subsystems/>. [Acedido em 20 Janeiro 2015].
- [64] A. Francisco, *Motores Eléctricos*, 5ª (Actualizada) ed., ETEP – Edições Técnicas e Profissionais, 2013, p. 196.
- [65] S. A. M. Granadeiro, "Controlo de Motor Assíncrono Aplicado a Veículos Eléctricos," 2009.
- [66] B. M. M. Amiano, "Soluções de Transporte com Propulsão Eléctrica (Variante Automóvel)," 2010.
- [67] P. S. Melo, *Sebenta de Máquinas de Indução Trifásicas*, 2013/2014, p. 74.
- [68] M. Alves, *ABC das Máquinas Eléctricas*, I. – D. d. E. Eletrotécnica, Ed., 2003.

- [69] [Online]. Available: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/rotorbobinado.gif>. [Acedido em 10 Fevereiro 2016].
- [70] “Wikipédia,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_control_\(motor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vector_control_(motor)) . [Acedido em 11 Fevereiro 2016].
- [71] N. Hashemnia e B. Asaei, “Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles,” em *Proceedings of the 2008 International Conference on Electrical Machines*, Vilamora, 2008.
- [72] G. Nanda e N. C. Kar, “A SURVEY AND COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF MOTOR DRIVES USED IN ELECTRIC VEHICLES,” em *Electrical and Computer Engineering, 2006. CCECE '06. Canadian Conference on*, Ottawa, Ont., 2006.
- [73] M. YILDIRIM, M. POLAT e H. KÜRÜM, “A SURVEY ON COMPARISON OF ELECTRIC MOTOR TYPES AND DRIVES USED FOR ELECTRIC VEHICLES,” em *16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, Turkey, 2014.
- [74] T. Finken, M. Felden e K. Hameyer, “Comparison and design of different electrical machine types regarding their applicability in hybrid electrical vehicles.,” em *Electrical Machines, 2008. ICEM 2008. 18th International Conference on* , Vilamoura , 2008.
- [75] F. A. S. d. Araújo, “Conversão de Veículos Diesel para Tração Elétrica.,” Lisboa, 2013.
- [76] A. Fuhs, *Hybrid Vehicles and the Future of Personal Transportation*, Boca Raton FL: CRC Press, 2009.
- [77] C. Mi, M. A. Masrur e D. W. Gao, *HYBRID ELECTRIC VEHICLES - PRINCIPLES AND APPLICATIONS WITH PRACTICAL PERSPECTIVES*, John Wiley & Sons Ltd, 2011.
- [78] E. W. C. LO, “Review on the Configurations of Hybrid Electric Vehicles,” Hong Kong, 2009.
- [79] “Chevrolet,” [Online]. Available: <http://www.chevrolet.com/volt-electric-car.html>. [Acedido em 3 Janeiro 2015].
- [80] C. C. Chan, A. Bouscayrol e K. Chen, “Electric, Hybrid, and Fuel-Cell Vehicles : Architectures and Modeling,” *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, vol. 59, n.º 2, 2010.
- [81] “Toyota,” [Online]. Available: <http://www.toyota.pt/new-cars/prius/index.json>. [Acedido em 6 Janeiro 2015].
- [82] “Toyota,” [Online]. Available: <http://www.toyota.pt/>. [Acedido em 29 Setembro 2015].
- [83] Z. Guirong, L. Houyu e H. Fei, “Propulsion Control of Fuel Cell Electric Vehicle,” em *2011 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*

- (ESIAT 2011), China, 2011.
- [84] J. Andújar e F. Segura, “Fuel cells: History and updating. A walk along two centuries,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, p. 2309–2322, 25 Março 2009.
- [85] C. Chan, “The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 90, n.º 2, pp. 247 - 275, Fevereiro 2002.
- [86] L. Kumar e S. Jain, “Electric propulsion system for electric vehicular technology: A review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 29, pp. 924 - 940, Janeiro 2014.
- [87] F. Nemry, G. Leduc e A. Muñoz, “JOINT RESEARCH CENTRE - The European Commission's in-house science service,” 2009. [Online]. Available: http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC54699_TN.pdf. [Acedido em 1 Fevereiro 2016].
- [88] Putrus G. A.; Suwanapingkarl P.; Johnston D.; Bentley E. C.; Narayana M., “Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks,” em *Vehicle Power and Propulsion Conference*, Dearborn, MI, 2009.
- [89] Sociedade Gestora de Operações da Rede de Mobilidade Eléctrica - SGORME, “MOBI.E - Mobilidade Eléctrica,” [Online]. Available: <http://www.mobie.pt/a-rede-mobi.e>. [Acedido em 9 Novembro 2015].
- [90] Sociedade Gestora de Operações da Rede de Mobilidade Eléctrica - SGORME, “APVE - Associação Portuguesa do Veículo Eléctrico,” 19 Agosto 2011. [Online]. Available: http://www.apve.pt/upload/docs/info_mobi.pdf. [Acedido em 20 Novembro 2015].
- [91] “Wikipédia,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Charging_station. [Acedido em 30 Novembro 2015].
- [92] Legrand, [Online]. Available: http://www.legrand.fr/files/fck/Image/2973_HD/prise_fiche_EV_Plug.jpg. [Acedido em 2 Dezembro 2015].
- [93] “Electric Motor News,” [Online]. Available: http://www.electricmotornews.com/wp-content/gallery/convegno-scame-parre/scame_ev_plug_alleanza_14.jpg. [Acedido em 2 Dezembro 2015].
- [94] “Wikipedia,” [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/File:CHAdEMO_Plug_VacavilleDavisStDC2.jpg. [Acedido em 2 Dezembro 2015].
- [95] “Tesla motor club,” [Online]. Available:

- <http://www.teslamotorsclub.com/attachment.php?attachmentid=1840&d=1306112475>.
[Acedido em 14 Dezembro 2015].
- [96] “Wikipedia,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196#/media/File:CCSCombo2.svg . [Acedido em 2 Dezembro 2015].
- [97] “ZEEV - Mobility for people,” [Online]. Available: <http://www.zeev.pt/wp-content/uploads/noticias/tesla-e-magnum-cap-320x202.jpg>. [Acedido em 15 Dezembro 2015].
- [98] [Online]. Available: http://i237.photobucket.com/albums/ff54/sealhonda/Diversas/DSC_9633.jpg. [Acedido em 14 Dezembro 2015].
- [99] [Online]. Available: <http://i.imgur.com/Gucrr4Y.jpg>. [Acedido em 14 Dezembro 2015].
- [100] Magnum Cap, “Magnum Cap,” [Online]. Available: <http://magnumcap.com/>. [Acedido em 14 Dezembro 2015].
- [101] [Online]. Available: http://images.teinteresa.es/motor/Cable-carga-estandar-parte-frontal_TINIMA20120223_0635_5.jpg. [Acedido em 14 Dezembro 2015].
- [102] [Online]. Available: http://autoviva.sapo.pt/img/photos/851/renault_twizy_big_32851.jpg. [Acedido em 14 Dezembro 2015].
- [103] “Mennekes - Plugs for the World,” [Online]. Available: www.mennekes.com. [Acedido em 15 Dezembro 2015].
- [104] EFACEC, “EFACEC,” Janeiro 2013. [Online]. Available: http://newsletter-trp.efacec.com/TRPNews8/index_files/Page315.htm. [Acedido em 15 Dezembro 2015].
- [105] EFACEC, “EFACEC,” [Online]. Available: <http://electricmobility.efacec.com/ev-homecharger/>. [Acedido em 11 Novembro 2015].
- [106] Magnum Cap, “Magnum Cap,” [Online]. Available: <http://magnumcap.com/index.php/component/content/article?id=28> . [Acedido em 15 Dezembro 2015].
- [107] EFACEC, “EFACEC,” [Online]. Available: <http://electricmobility.efacec.com/wp-content/uploads/2015/06/Home-Charger.pdf>. [Acedido em 12 Novembro 2015].
- [108] IMTT, “IMTT,” [Online]. Available: <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/Aprovacoes/HomologacoesVeiculos/Paginas/HomologacaoVeiculos.aspx>. [Acedido em 6 Março 2015].
- [109] “Diário da Republica Electrónico,” [Online]. Available:

- <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2010/03/05000/0073000803.pdf>. [Acedido em 11 Fevereiro 2015].
- [110] IMTT, “Decreto-Lei Nº 16/2010,” [Online]. Available: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2010/03/05000/0073000803.pdf>. [Acedido em 11 Fevereiro 2015].
- [111] IMTT, “IMTT - Homologação de Veiculos M1 e N1,” [Online]. Available: <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Veiculos/Aprovacoes/HomologacoesVeiculos/M1N1/Paginas/M1N1.aspx>. [Acedido em 6 Março 2015].
- [112] United Nations Economic Commission for Europe, 12 Agosto 2013. [Online]. Available: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R100r2e.pdf>. [Acedido em 11 Fevereiro 2015].
- [113] United Nations Economic Commission for Europe, “Regulamento UNECE Nº100,” 12 Agosto 2013. [Online]. Available: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2013/R100r2e.pdf>. [Acedido em 11 Fevereiro 2015].
- [114] United Nations Economic Commission for Europe, “Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles (R.E.3),” 23 Janeiro 2014. [Online]. Available: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29resolutions/ECE-TRANS-WP29-78-r3e.pdf>. [Acedido em 18 Março 2015].
- [115] “Associação de Profissionais do Ensino da Condução,” [Online]. Available: http://www.apdec.pt/Docs/1999/Despacho_5392_99.pdf. [Acedido em 11 Fevereiro 2015].
- [116] Autoridade Tributária e Aduaneira, “Imposto Único de Circulação - Lei n.º 22-A/2007 - 29/06,” 29 Junho 2007. [Online]. Available: http://info.portaldasfinancas.gov.pt/pt/informacao_fiscal/codigos_tributarios/iuc/iuc5.htm. [Acedido em 9 Maio 2015].
- [117] Emel, “Emel,” [Online]. Available: <http://www.emel.pt/pt/disticos/estacionamento-na-via-publica/distico-verde/>. [Acedido em 14 Maio 2015].
- [118] C. U. Inc., “CALB USA Inc.,” [Online]. Available: <http://www.calbusainc.com/additional-information/>. [Acedido em 15 Outubro 2015].
- [119] Manzanita Micro Power Systems, “Manzanita,” [Online]. Available: http://www.manzanitamicro.com/products?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=39&category_id=14. [Acedido em 30 Novembro 2015].
- [120] “Victron Energy,” [Online]. Available: <http://www.victronenergy.pt/upload/>

- documents/Datasheet-BMV-700-series-PT.pdf. [Acedido em 23 Setembro 2015].
- [121] “The Engineering Toolbox,” [Online]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/iec-duty-cycles-d_739.html. [Acedido em 26 Novembro 2015].
- [122] EV TV Motor Verks, “EV TV Motor Verks,” [Online]. Available: http://media3.ev-tv.me/DMOC645_User_Manual.pdf. [Acedido em 28 Novembro 2015].
- [123] EV TV Motor Verks, “EV TV Motor Verks,” [Online]. Available: <http://store.evtv.me/products.php?cat=21>. [Acedido em 15 Outubro 2015].
- [124] V. Santos, “Seminário: “Mobilidade Eléctrica: O Veículo” - Viabilidade da transformação de Veículos,” [Online]. Available: http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Noticias/Documents/Semin%C3%A1rio%2008%20Mar%C3%A7o%202010%20-%20PDFs/Vasco_Santos.pdf. [Acedido em 12 Outubro 2015].
- [125] “Direção Geral de Energia e Geologia,” [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>. [Acedido em 12 Outubro 2015].
- [126] “Entidade Reguladora do Sector Energético (ERSE),” [Online]. Available: www.erse.pt. [Acedido em 13 Novembro 2015].
- [127] “European Environment Agency,” 19 Novembro 2014. [Online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2014>. [Acedido em 26 Maio 2015].
- [128] R. Nicolau e A. Machado, “Instituto Nacional de Saude Doutor Ricardo Jorge,” [Online]. Available: http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/Publicacoes/Outros/Documents/Epidemiologia/Relatorio_Poluicao_final.pdf. [Acedido em 26 Maio 2015].
- [129] “Diário da República Electrónico,” [Online]. Available: (<https://dre.pt/application/file/737182>). [Acedido em 20 Novembro 2015].

ANEXO A

ANEXO A – Efeitos nocivos da poluição atmosférica nas populações [127], [128]

O ar que todos os seres vivos utilizam para respirar, possui cada vez mais partículas poluentes devido aos processos existentes na natureza ou aos processos desenvolvidos pela própria civilização.

Estas partículas poluentes podem surgir na atmosfera após terem sido lançadas para o ar, por parte de veículos automóveis, indústria, etc (designados de poluentes primários), ou devido a reacções químicas entre os poluentes primários (constituindo os poluentes secundários).

Em seguida apresenta-se uma descrição dos compostos poluentes primários e secundários, respectivamente.

Poluentes Primários

Monóxido de Carbono

Este composto é um dos subprodutos de uma combustão incompleta resultante da queima de um combustível fóssil. Ao entrar em contacto com a hemoglobina (um dos constituintes do sangue), pode originar perturbações no transporte do oxigénio aos tecidos.

Dióxido de Enxofre

È um composto que resulta da queima de combustíveis que contenham enxofre. Exemplos deste tipo de combustíveis são os biocombustíveis utilizados no sector dos transportes, aquecimento de edifícios e produção de energia. Para além disso, este tipo de poluente é lançado para a atmosfera em grandes quantidades cada vez que ocorre uma erupção vulcânica, sendo os vulcões os principais responsáveis pelo aumento deste poluente na natureza.

Óxidos de Azoto

São obtidos aquando da queima de combustíveis fósseis nos motores dos veículos convencionais, bem como na produção de energia. Fazem parte dos óxidos de azoto, o monóxido de azoto (NO) e o dióxido de azoto (NO₂), existindo o primeiro composto em

maior quantidade na atmosfera em relação ao segundo. Apesar disso, os veículos a diesel são responsáveis pelo aumento dos valores de dióxido de azoto (NO₂), devido ao tratamento dos gases de escape que estes veículos possuem, originar um aumento das emissões deste poluente.

Partículas Inaláveis

São partículas que podem ser divididas em primárias e secundárias, consoante o modo como surgem na atmosfera. Enquanto as primárias são lançadas para a atmosfera pelas fontes de poluição, as secundárias têm a sua origem na atmosfera. Para além disso, as partículas primárias podem ser encontradas na natureza (nas cinzas vulcânicas, no pó existente no ar e no pólen), ou serem causadas pela mão do homem (na queima de combustíveis em veículos, produção de energia de origem térmica, aquecimento de habitações e no tratamento de resíduos sólidos urbanos).

As partículas inaláveis secundárias são devidas às reacções químicas com outros gases presentes na atmosfera. No geral, as partículas inaláveis são constituídas pelos seguintes compostos: metais, compostos biológicos e orgânicos, sulfatos, nitratos e carbono.

Poluentes Secundários

Ozono

Trata-se de um dos constituintes presentes na estratosfera, cuja função consiste em evitar que os raios ultra-violeta atinjam a superfície terrestre. No entanto, devido à poluição causada pelos veículos com motor de combustão, constata-se a presença de óxidos de azoto e hidrocarbonetos na troposfera. Esses componentes poluentes ao reagirem com os raios ultra-violeta dão origem ao ozono troposférico, responsável pela destruição da camada do ozono.

Na tabela 25 apresenta-se os efeitos na saúde das populações em função dos poluentes e da exposição aos mesmos.

Tabela 25 - Alguns poluentes presentes na atmosfera e os seus efeitos na saúde das populações [127]

Poluentes	Efeitos na saúde
Monóxido de Carbono (CO)	Pode ser a causa de patologias do coração e danificar o sistema nervoso central, para além de poder estar na origem de fadiga e dores de cabeça.
Óxidos de Enxofre (inclui o SO₂)	A inalação destes poluentes pode agravar os sintomas associados á asma, prejudicar o funcionamento normal dos pulmões, causar dores de cabeça, desconforto e ansiedade.
Óxidos de Azoto (Efeito devido ao NO₂)	Este poluente aumenta o número de óbitos devido a problemas dos foros cardiovascular e respiratório.
Partículas Inaláveis	Pode dar origem a patologias do foro cardiovascular e pulmonar, bem como ataques cardíacos e arritmias. Pode também causar doenças cancerígenas.
Ozono (O₃)	Pode prejudicar o funcionamento normal dos pulmões, agravar os sintomas associados á asma, bem como outras patologias dos pulmões.

ANEXO B

A IEC (*International Electrotechnical Commission*) classifica 8 tipos de regimes de funcionamento dos motores eléctricos [121].

A tabela 26 caracteriza cada um desses regimes.

Tabela 26- Regimes de funcionamento dos motores (Retirado de [121])

S1	Continuous duty	The motor works at a constant load for enough time to reach temperature equilibrium.
S2	Short-time duty	The motor works at a constant load, but not long enough to reach temperature equilibrium. The rest periods are long enough for the motor to reach ambient temperature.
S3	Intermittent periodic duty	Sequential, identical run and rest cycles with constant load. Temperature equilibrium is never reached. Starting current has little effect on temperature rise.
S4	Intermittent periodic duty with starting	Sequential, identical start, run and rest cycles with constant load. Temperature equilibrium is not reached, but starting current affects temperature rise.
S5	Intermittent periodic duty with electric braking	Sequential, identical cycles of starting, running at constant load and running with no load. No rest periods.
S6	Continuous operation with intermittent load	Sequential, identical cycles of running with constant load and running with no load. No rest periods.
S7	Continuous operation with electric braking	Sequential identical cycles of starting, running at constant load and electric braking. No rest periods.
S8	Continuous operation with periodic changes in load and speed	Sequential, identical duty cycles run at constant load and given speed, then run at other constant loads and speeds. No rest periods.

ANEXO C

Ano	Gasolina S/Pb 95 (Eur/litro)	Varição de Preço Gasolina S/Pb 95 (Eur/litro)	GPL Auto (Eur/litro)	Varição de Preço GPL Auto (Eur/litro)	Electricidade Tarifa Simples (Euro/kWh)	Varição de Preço Electricidade Tarifa Simples (Euro/kWh)
1999	0,840	--	0,372	--	0,0887	--
2000	0,870	0,030	0,439	0,067	0,0882	-0,0005
2001	0,910	0,040	0,485	0,046	0,0893	0,0011
2002	0,920	0,010	0,459	-0,026	0,0920	0,0027
2003	0,970	0,050	0,474	0,015	0,0945	0,0025
2004	1,033	0,063	0,500	0,026	0,0965	0,0020
2005	1,149	0,116	0,550	0,050	0,0988	0,0023
2006	1,279	0,130	0,592	0,042	0,1011	0,0023
2007	1,322	0,043	0,597	0,005	0,1077	0,0066
2008	1,386	0,064	0,668	0,071	0,1143	0,0066
2009	1,235	-0,151	0,572	-0,096	0,1211	0,0068
2010	1,373	0,138	0,677	0,105	0,1285	0,0074
2011	1,546	0,173	0,769	0,092	0,1326	0,0041
2012	1,641	0,095	0,790	0,021	0,1393	0,0067
2013	1,579	-0,062	0,749	-0,041	0,1405	0,0012
2014	1,524	-0,055	0,727	-0,022	0,1528	0,0123
2015	1,361	-0,163	0,552	-0,175	0,1587	0,0059
2016	1,391	0,030	0,619	0,067	0,1582	-0,0005
2017	1,431	0,040	0,665	0,046	0,1593	0,0011
2018	1,441	0,010	0,639	-0,026	0,1620	0,0027
2019	1,491	0,050	0,654	0,015	0,1645	0,0025
2020	1,554	0,063	0,680	0,026	0,1665	0,0020
2021	1,670	0,116	0,730	0,050	0,1688	0,0023
2022	1,800	0,130	0,772	0,042	0,1711	0,0023
2023	1,843	0,043	0,777	0,005	0,1777	0,0066
2024	1,907	0,064	0,848	0,071	0,1843	0,0066
2025	1,756	-0,151	0,752	-0,096	0,1911	0,0068
2026	1,894	0,138	0,857	0,105	0,1985	0,0074
2027	2,067	0,173	0,949	0,092	0,2026	0,0041
2028	2,162	0,095	0,970	0,021	0,2093	0,0067
2029	2,100	-0,062	0,929	-0,041	0,2105	0,0012
2030	2,045	-0,055	0,907	-0,022	0,2228	0,0123

Ano	Electricidade Tarifa Bi- Horária Fora de Vazio (Euro/kWh)	Varição de Preço Electricidade Tarifa Bi-Horária Fora de Vazio (Euro/kWh)	Electricidade Tarifa Bi- Horária Vazio (Euro/kWh)	Varição de Preço Electricidade Tarifa Bi- Horária Vazio (Euro/kWh)
1999	0,0887	--	0,0521	--
2000	0,0882	-0,0005	0,0518	-0,0003
2001	0,0893	0,0011	0,0498	-0,0020
2002	0,0920	0,0027	0,0503	0,0005
2003	0,0945	0,0025	0,0517	0,0014
2004	0,0965	0,0020	0,0528	0,0011
2005	0,0988	0,0023	0,0540	0,0012
2006	0,1011	0,0023	0,0552	0,0012
2007	0,1077	0,0066	0,0584	0,0032
2008	0,1132	0,0055	0,0614	0,0030
2009	0,1233	0,0101	0,0663	0,0049
2010	0,1382	0,0149	0,0742	0,0079
2011	0,1448	0,0066	0,0778	0,0036
2012	0,1551	0,0103	0,0833	0,0055
2013	0,1641	0,0090	0,0870	0,0037
2014	0,1785	0,0144	0,0946	0,0076
2015	0,1853	0,0068	0,0978	0,0032
2016	0,1848	-0,0005	0,0975	-0,0003
2017	0,1859	0,0011	0,0955	-0,0020
2018	0,1886	0,0027	0,0960	0,0005
2019	0,1911	0,0025	0,0974	0,0014
2020	0,1931	0,0020	0,0985	0,0011
2021	0,1954	0,0023	0,0997	0,0012
2022	0,1977	0,0023	0,1009	0,0012
2023	0,2043	0,0066	0,1041	0,0032
2024	0,2098	0,0055	0,1071	0,0030
2025	0,2199	0,0101	0,1120	0,0049
2026	0,2348	0,0149	0,1199	0,0079
2027	0,2414	0,0066	0,1235	0,0036
2028	0,2517	0,0103	0,1290	0,0055
2029	0,2607	0,0090	0,1327	0,0037
2030	0,2751	0,0144	0,1403	0,0076

Nota: Os preços da gasolina e do GPL são preços médios, retirados de [125].

Nota: O valor a azul representa o preço da gasolina a 12-10-2015.

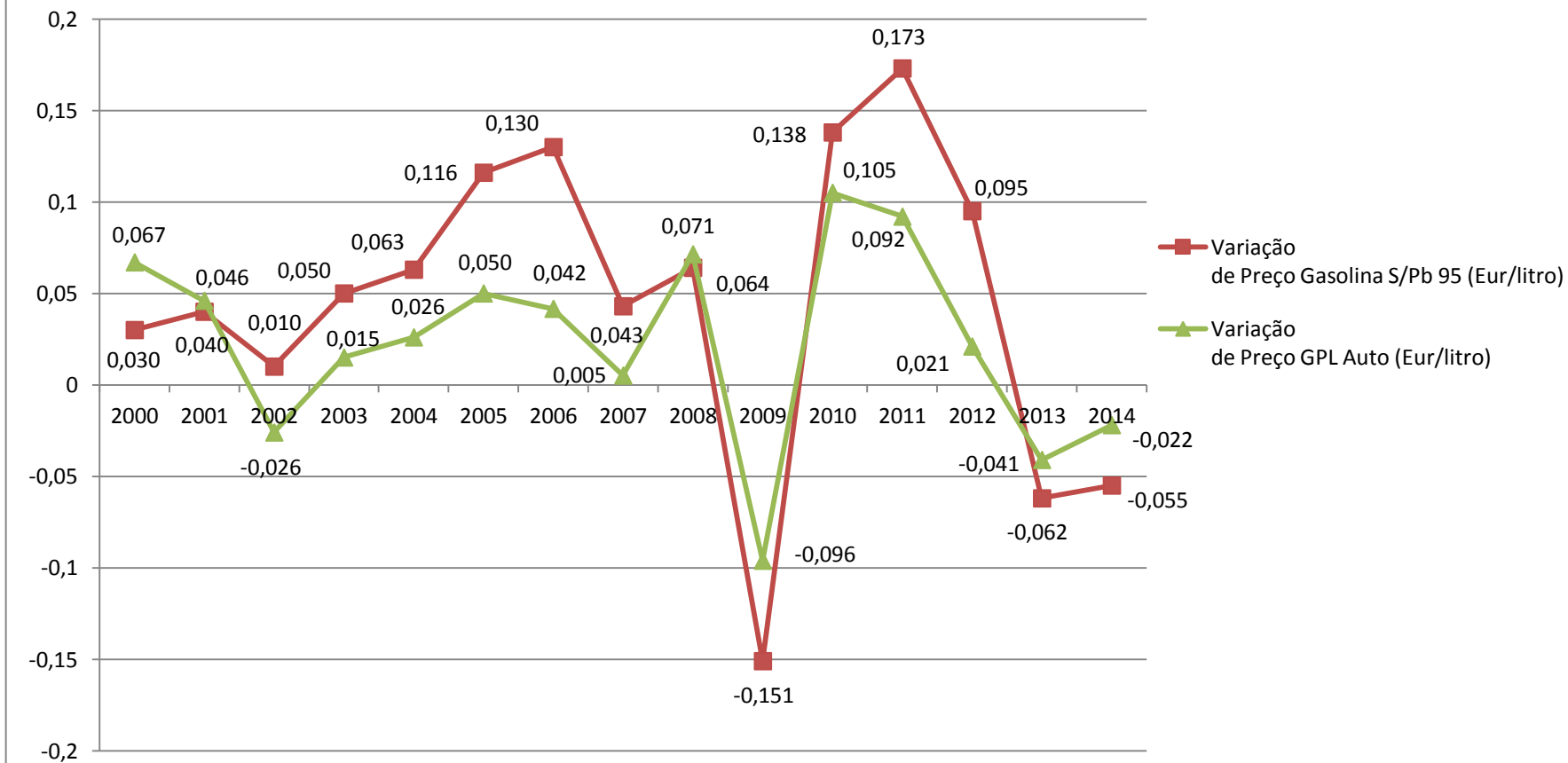
Nota: O valor a vermelho representa o preço do GPL no dia 12-10-2015.

Nota: Os preços da electricidade foram retirados de [126].

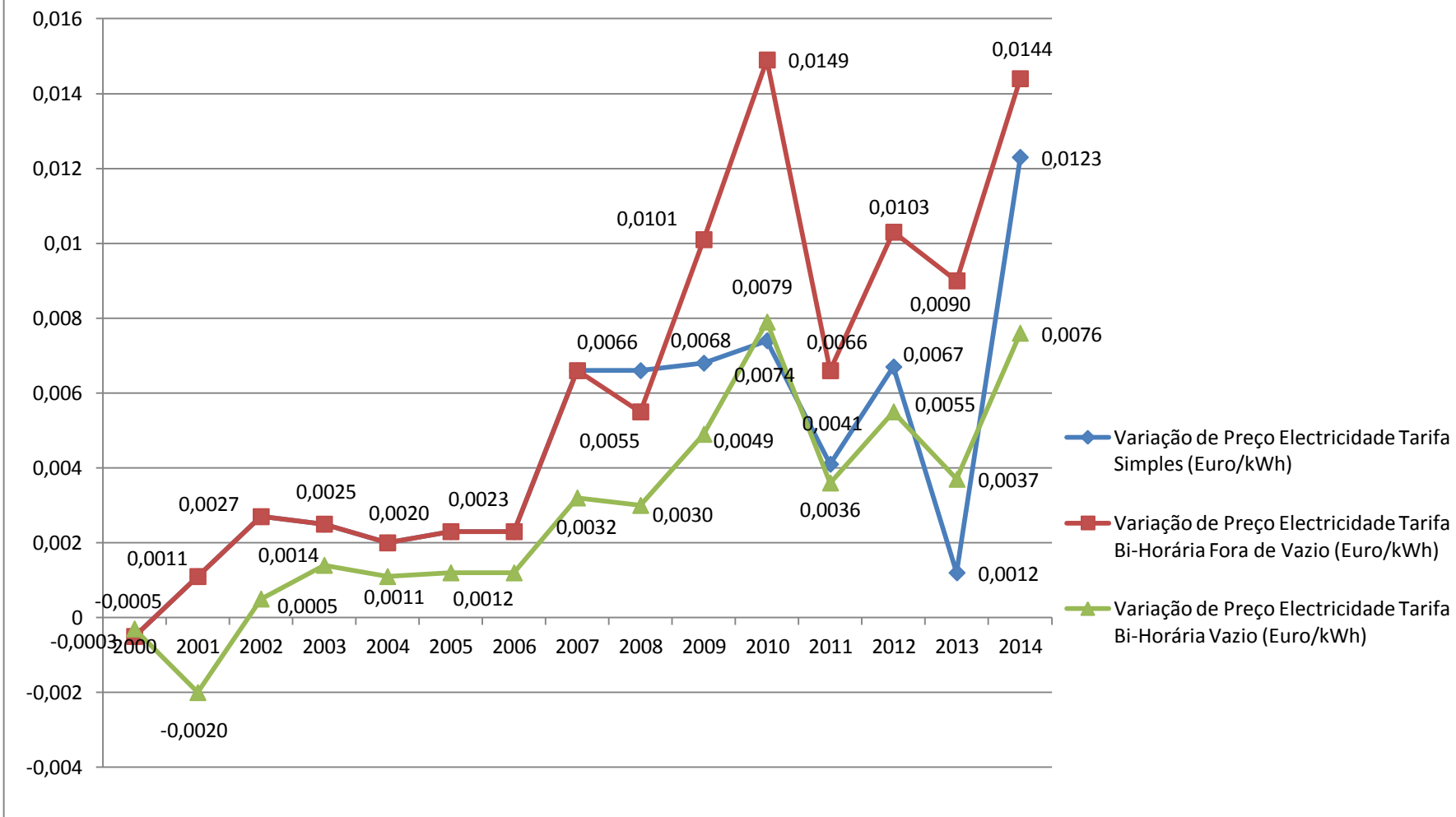
Nota: O valor a verde representa o preço da electricidade a 13-11-2015.

Nota: Os valores a laranja foram obtidos do site do diário da república online [129].

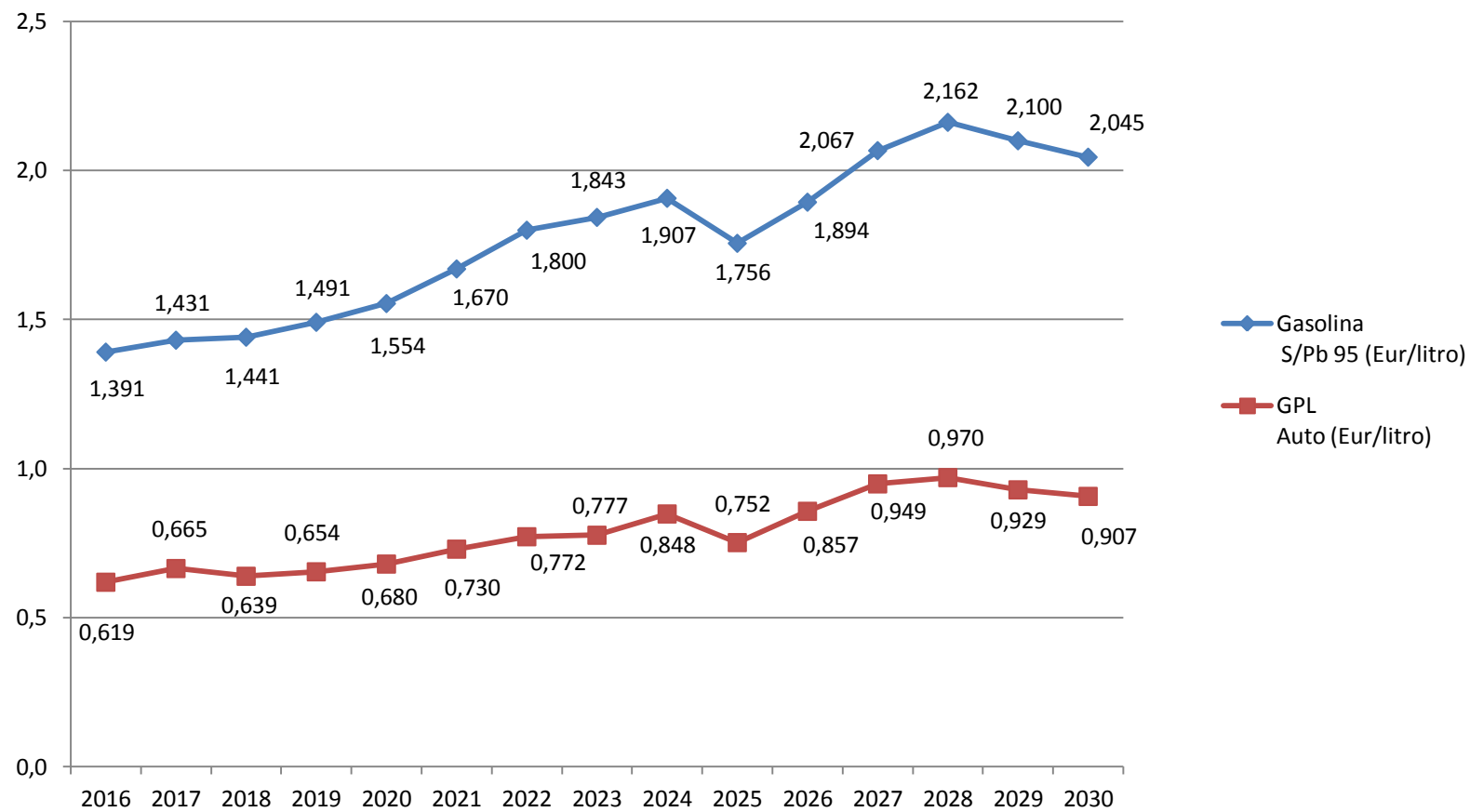
**Variação dos Preços do GPL e Gasolina 95 (Euro/litro)
2000-2014**



**Variação de Preços Electricidade (Euro/kWh)
2000-2014**



**Preços extrapolados para o GPL e Gasolina 95 (Euro/litro)
2016-2030**



Preços extrapolados para a electricidade (Euro/kWh) 2016-2030

