



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL



Soluções de Transporte com Propulsão Eléctrica (Variante Automóvel)

Bruno Manuel Marques Amiano
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Prof. Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques
Eng.º. Luís Afonso de Melo
Prof. Mestre Luís Manuel Barbosa da Cunha

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Quaresma Dias

Vogais:

Prof.ª Doutora Maria do Rosário Alves Calado
Prof. Mestre Nuno Paulo Ferreira Henriques
Eng.º. Luís Afonso de Melo
Prof. Mestre Luís Manuel Barbosa da Cunha

Setembro de 2010

Resumo

A presente dissertação aborda a questão de como o veículo eléctrico contribuirá para uma mobilidade sustentável.

Numa primeira fase, mostra quais as necessidades que a humanidade poderá ter até 2050 e os caminhos a seguir para a sua sustentabilidade sem degradar o nosso planeta.

Para responder à questão apresentada, foi feita uma pesquisa das diferentes tecnologias associadas ao veículo eléctrico e a análise de dois veículos para conhecer as suas performances.

Da análise realizada verificou-se que o veículo eléctrico puro está apto para circuitos urbanos e a ciclos de utilização casa-trabalho e trabalho-casa, por ter a sua autonomia limitada pela capacidade das suas baterias.

Demonstra-se que o custo inicial das baterias é elevado, mas com uma utilização diária do veículo o seu custo anual vai ter custos de utilização razoáveis. Com o aumento da investigação industrial vai existir um aumento dos ciclos de carga, da capacidade das baterias e a redução de custos de produção deste tipo de tecnologia, tornando-se cada vez mais atractiva para os utilizadores.

É apresentada uma antevisão de evolução de rede eléctrica ao longo do tempo em função do veículo eléctrico, em que este terá uma importância crescente ao longo do tempo, contribuindo para uma utilização eficiente da energia utilizada nos transportes.

A principal conclusão do trabalho é que o veículo eléctrico é parte da solução para os problemas causados pela crescente necessidade de mobilidade.

Palavras-chave: Veículo eléctrico, Mobilidade e soluções de transporte com propulsão eléctrica.

Abstract

This work approaches the question of how the electric vehicle will contribute to a sustainable mobility.

On the first part, it is showed the needs that humankind will have until 2050 and the way to go to achieve sustainability without degrading the planet.

To answer that question, it was made a research about the different technologies associated to the electric vehicle and a final analysis of two vehicles to know them and compare their performances.

From that analysis it was verified that the pure electric vehicle is the best solution in urban circuits and in utilization cycles of home-work-home because it has his autonomy limited due to the capacity of the batteries.

It can be demonstrated that the initial cost of the batteries is high, but with its daily and increasing utilization, its annual cost will have reasonable utilization costs. The continuous increase of industrial investigation will lead to an increase on the charge cycles, battery capacity and reduction on the production costs on this type of technologies, becoming more and more attractive to the users.

Here is made a proposal of how the electric net will evolve with time regarding the electric vehicles; it will have a growing importance along time contributing to an efficient utilization of the transport energy.

The main conclusion of this work is that the electric vehicle is part of the solution for the problem created by the growing need of mobility.

Keywords: Electric vehicle, Mobility and Transport solutions with electric propulsion

Agradecimentos

Em primeiro lugar um forte agradecimento vai para o meu orientador, Nuno Paulo Ferreira Henriques, pela disponibilidade constante, e por ter insistido constantemente comigo na execução de mais e melhor trabalho.

Ao Eng^o Luís Afonso de Melo, meu co-orientador, agradeço todo o apoio e muito particularmente a visão que me transmitiu das questões associadas às soluções de transporte com propulsão eléctrica.

Deixo também um agradecimento aos professores Afonso Leite e Fernando Carreira pelo apoio e atenção que demonstraram.

Agradecimentos especiais vão para todos os meus colegas e amigos de mestrado, pelo espírito de grupo e apoio mútuo mantido.

Finalmente, mas não menos importante gostaria de agradecer à minha família. Em especial aos meus pais Lucília e Manuel pelo apoio, esforço e dedicação ao longo do meu percurso académico, à minha irmã Flávia pela preocupação e apoio. Aos meus avós, António, Lucília, Tibério e Irene, pelo carinho e suporte que me ofereceram ao longo do meu percurso de vida. Ao Senhor Francisco, Dona Ema, Polidóro, Dona Gertrudes e senhor António por todo o apoio.

À Ana Oliveira um agradecimento muito sentido pela paciência, apoio, compressão e carinho.

Obrigado!

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Índice	iv
Índice de ilustrações.....	v
Índice de tabelas.....	vii
1 Enquadramento Geral.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.1.1 Resumo histórico.....	2
1.2 Objectivos para reduzir o efeito de estufa.....	2
1.3 Tipos de veículos Eléctricos utilizados hoje em dia.....	3
1.3.1 Porquê veículos eléctricos?.....	6
1.3.2 Tendências de desenvolvimento.....	6
1.3.3 Situação Actual.....	7
1.3.4 Comparação energética	8
1.3.5 Veículos puramente eléctricos.....	9
1.3.6 Eléctricos Híbridos.....	19
1.3.7 Veículos a Pilha a Combustível.....	30
2 Fontes de Energia Interna	38
2.1 Bateria de Acumuladores	38
2.1.1 Introdução.....	38
2.1.2 Requisitos de armazenamento de energia	40
2.1.3 Comparação de vários tipos de baterias.....	41
2.1.4 Carregamento de baterias.....	44
2.2 Ultra condensador.....	45
3 Fontes de energia externa.	47
3.1.1 Potência eléctrica do veículo para a rede “V2G”	50
3.1.2 Carregadores de baterias	52
3.1.3 Postos de abastecimento	53
4 Propulsão eléctrica.....	61
4.1.1 Tipos de Motores	64

4.1.2	Dispositivos de Comutação	71
4.1.3	Onduladores	71
4.1.4	Comparação de Sistemas de Propulsão Eléctrica	72
5	Simulação	77
5.1	Dimensionamento e simulação de veículos eléctricos	77
5.1.1	Análise	78
5.1.2	Optimização.....	96
6	Conclusões.....	98
7	Sugestões para Trabalho Futuro	108
8	Bibliografia	109
9	Anexos.....	112

Índice de ilustrações

Ilustração 1-	Tendências de desenvolvimento de veículos (Toyota, 2003).....	7
Ilustração 2-	Configuração do Veículo Eléctrico	15
Ilustração 3-	Variantes de veículos Eléctricos	16
Ilustração 5-	Configurações de "power Train" com "in Wheel motor"	17
Ilustração 4 -	"In wheel motor"	17
Ilustração 6 -	Configuração de "Power train" com Diferencial (Toyota, 2003).....	18
Ilustração 7-	Tipos de Configuração de " Power Train" com Diferencial.....	18
Ilustração 8 -	Comparação de automóveis Híbridos Eléctricos no Grupo TOYOTA (Corporation, 2008).....	19
Ilustração 9 -	Eficiência energética de motor de combustão interna e motor eléctrico (Ireland, 2007)	20
Ilustração 10-	Comparação de sistemas Híbridos (Toyota, 2003)	24
Ilustração 11-	Plug in Hybrid (Corporation, 2008)	26
Ilustração 12 -	Diversos tipos de veículos (Larminie, Electric Vehicle Technology Explained, 2003)	26
Ilustração 13 -	Sistema Série (Toyota, 2003)	27
Ilustração 14-	Sistema Híbrido série aplicado a Chevrolet VOLT (GM, 2010)	27
Ilustração 15-	Sistema Paralelo (Toyota, 2003)	28
Ilustração 16-	Sistema Paralelo Honda IMA (Honda, 2009)	28
Ilustração 17-	Sistema Paralelo/Série (Toyota, 2003).....	29
Ilustração 18-	Elemento a célula de Combustível (Silva, 2003)	31
Ilustração 19-	Sistema de propulsão com pilhas de Combustível (Leon, 2008)	34
Ilustração 20 -	Sistema de propulsão GM (Leon, 2008)	36
Ilustração 21 -	Eficiência do sistema de propulsão com pilhas de combustível (Leon, 2008)....	37
Ilustração 22-	Reacção química numa célula galvânica (Mendonça, 2008)	38
Ilustração 23-	Requisitos para baterias operarem como baterias de tracção (mpoweruk, 2010)	41
Ilustração 24 -	Comparações dos diferentes tipos de baterias (Keller, 2009)	42
Ilustração 25-	Objectivos para baterias em veículos eléctricos (Møller, 2009)	43

Ilustração 26- Baterias existentes e a desenvolver pela Toyota (Toyota, 2003)	44
Ilustração 27- Evolução dos custos de baterias (Møller, 2009).....	44
Ilustração 28- Ciclo de Utilização de Veículos Eléctricos (Dias, 2009)	47
Ilustração 29- Infra-estrutura de fornecimento de Energia (Watanabe, 2008).....	48
Ilustração 30- Sistema residencial (Watanabe, 2008)	49
Ilustração 31- Ponto de Abastecimento em casa (Kazunori Handa, 2008)	54
Ilustração 32- Ponto de Abastecimento Electrobay (Elektromotive, 2010).....	55
Ilustração 33- Ponto de Abastecimento rápido (Kazunori Handa, 2008).....	56
Ilustração 34- Posto de abastecimento rápido (TEPCO, 2008).....	56
Ilustração 35- Modelo de aplicação de célula de combustível (MOURA, 2009)	58
Ilustração 36- Sistema aplicado a uma moradia (MOURA, 2009)	58
Ilustração 37- Modelo apresentado pela Honda (Honda, 2010).....	59
Ilustração 38- Disponibilidade de potência eléctrica numa residência	59
Ilustração 39- Consumo e produção de potência eléctrica foto voltaica diária	60
Ilustração 40- Exemplo de Sistema de Propulsão (C. C. CHAN, 2001)	62
Ilustração 41- Potência e binário requeridos para a tracção eléctrica (Z. Q. Zhu, 2007)	63
Ilustração 42- Características ideais de binário/ potência - velocidade (Z. Q. Zhu, 2007)	63
Ilustração 43- Requisitos de tracção eléctrica (M. Zeraouia1, 2005).....	65
Ilustração 44- Características do motor de Indução com variador de frequência (Granadeiro, 2009)	67
Ilustração 45- Característica Binário-Velocidade do motor de magnetos permanentes (Granadeiro, Controlo de Motor Assíncrono Aplicado a Veículos Eléctricos, 2009).....	68
Ilustração 46- Características Binários Velocidade do motor de magnetos permanentes com controlo (M. Zeraouia1, 2005).....	69
Ilustração 47- Características de binário – Velocidade (Granadeiro, 2009)	70
Ilustração 48- Circuito do conversor Trifásico (Explained, 2003).....	72
Ilustração 49- Análise do Peso, Rendimento e Custo de Motores Eléctricos (Granadeiro, Controlo de Motor Assíncrono Aplicado a Veículos Eléctricos, 2009).....	72
Ilustração 50- Veículo em aceleração com velocidade constante (Afonso, 2006).....	74
Ilustração 51- Veículo a desacelerar numa descida.....	74
Ilustração 52- Funcionamento da máquina eléctrica funcionando nos quatro quadrantes (Hughes, 2010).....	75
Ilustração 53- Reapresentação da travagem dinâmica (Afonso, 2006)	76
Ilustração 54- Curvas características dos diversos tipos de elementos de acumuladores (Ltd, 2010)	80
Ilustração 55- Configuração Motor (Fenton, 2001)	81
Ilustração 56- Aceleração de veículo A	82
Ilustração 57- Diagrama de veículo eléctrico (Larminie, Electric Vehicle Technology Explained, 2003)	83
Ilustração 58 - Ciclo europeu de condução (Wikipedia®, 2010).....	85
Ilustração 59- Simulação de autonomia sem restrições de massa e volume das baterias (Veículo A)	86
Ilustração 60- Período disponível das baterias total de simulação sem restrições de massa e volume (veículo A)	87
Ilustração 61- Custo Inicial Baterias (veículo A).....	88
Ilustração 62-Custo de conjuntos de baterias por ano (veículo A).....	89
Ilustração 63-Vida da bateria	89
Ilustração 64- Performances Baterias Veículo (A).....	90

Ilustração 65- Autonomia Veículo A	91
Ilustração 66- Custo de conjuntos de baterias por ano.....	91
Ilustração 67- Simulação com ECE-15	92
Ilustração 68-Custo anual de baterias por ano segundo o ciclo ECE-15.....	93
Ilustração 69-Performances Baterias veículos (B).....	93
Ilustração 70-Autonomia Veículo B	94
Ilustração 71- Autonomia Veículo B como base no ciclo ECE-15	94
Ilustração 72- Comparação de autonomia Bateria N e O.....	95
Ilustração 73- Comparação de custos bateria N e O	95
Ilustração 74- Autonomia A vs A1	97
Ilustração 75- Custo de conjuntos de baterias por ano A vs A1.....	97
Ilustração 76- Rede Eléctrica (Actualidade)	102
Ilustração 77-Rede Eléctrica (Curto Prazo).....	103
Ilustração 78- Rede Eléctrica (Médio Prazo)	105
Ilustração 79- Rede Eléctrica (Longo Prazo)	107

Índice de tabelas

Tabela 1-Objectivos para redução de efeito de estufa (Prof. P. Capros, 2008).....	3
Tabela 2- Características dos Veículos (CHAN, 2002)	5
Tabela 3- Comparação Energética - (Kazunori Handa, 2008)	8
Tabela 4- Comparação de custos relativos a utilizadores de Veículos eléctricos comparativamente a veículos a gasolina e gasóleo (Ireland, 2007)	12
Tabela 5- Comparação de emissões em diferentes tipos de veículos (Ireland, 2007).....	13
Tabela 6- Quando é rentável comprar um veículo eléctrico híbrido a gasolina? (Ireland, 2007)22	
Tabela 7- Quando é rentável comprar um veículo eléctrico híbrido a Gasóleo? (Ireland, 2007)	22
Tabela 8-Comparação de custos dos diferentes veículos (Ireland, 2007)	22
Tabela 9-Estimativa das emissões dos diferentes veículos (Ireland, 2007)	23
Tabela 10-Objectivos para comercialização de baterias (Explained, 2003).....	40
Tabela 11- Postos de abastecimento eléctrico.....	54
Tabela 12- Características veículo Familiar 5 Lugares (A).....	78
Tabela 13- Características veículo Urbano 2 lugares (B).....	79
Tabela 14- Características motor 150 Kw.....	79
Tabela 15- Características motor 45 Kw.....	80
Tabela 16- Constrangimentos de volume e peso.....	85
Tabela 17-Características veículo Familiar 5 Lugares (A1)	96
Tabela 18-Características veículo cidadão 2 lugares (B1).....	96
Tabela 19- Simulação de com variação de Percentagem de travagem regenerativa.....	98

1 Enquadramento Geral

1.1 Introdução

Desde o início da humanidade, que o seu crescimento tem vindo a ser impulsionado pelo desenvolvimento de novos meios de transporte. Na actualidade existe uma enorme necessidade de mobilidade de bens e pessoas.

Com o aumento desta necessidade, as fontes de energia têm sido muito solicitadas. Com um crescente aumento da dependência dos combustíveis fósseis, o aumento de custo de energia, aumento de emissões de CO₂, aumento do aquecimento global e redução da qualidade do ar. Isto veio trazer também desigualdades sociais, catástrofes naturais, aumento da temperatura global e problemas de saúde pública.

Surge então a questão: “Serão os sistemas de transporte que incluem soluções de propulsão Eléctrica parte da solução para os problemas causados pelas necessidades de Mobilidade?”

Para uma mobilidade Sustentável, existem vários factores a ter em conta, a geração de energia eléctrica, as suas fontes de energia e os veículos com propulsão eléctrica.

O objecto de estudo neste trabalho está focado nos veículos com propulsão eléctrica, que podem melhorar a eficiência energética dos veículos utilizados actualmente. Aproveitando as energias renováveis, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis, emissões de CO₂ e aumento da qualidade do ar.

“A mobilidade que responde às necessidades da sociedade em termos de livre movimento, acessibilidade, comunicação, trocas e relacionamento sem sacrificar outros requisitos humanos ou ecológicos no presente ou no futuro” (Conselho empresarial para o desenvolvimento sustentável, Mobility Project 2030)

Em particular, pretende-se responder às seguintes questões de investigação:

- Até que ponto os automóveis eléctricos poderão ser solução para uma mobilidade sustentável?
- Quais poderão ser as características do automóvel eléctrico do futuro?

Para tal desenvolveu-se uma investigação do âmbito das necessidades de mobilidade europeia (anexo 00), o estado da arte das tecnologias associadas ao veículo

eléctrico, o dimensionamento e análise de diferentes veículos eléctricos em diferentes condições de utilização e uma previsão de como evoluirá o veículo eléctrico inserido na rede eléctrica.

1.1.1 Resumo histórico

Em 1830, foi apresentado ao público o primeiro veículo com propulsão eléctrica, com pilhas (não recarregáveis).

No Final do século XIX iniciou-se a produção em massa de baterias de acumuladores (recarregáveis) que impulsionou a utilização de veículos eléctricos, sendo esta vista como uma boa solução para o futuro dos transportes terrestres. (1)

Os primeiros produtores de veículos eléctricos foram “Bakker Electric”, “Columbia Electric” e “Detroit Electric”. (1)

Quando o automóvel a combustão foi desenvolvido os automóveis eléctricos já existiam em maior número, devido à facilidade como podiam ser manobrados e à maior fiabilidade relativamente aos motores de combustão interna.

No entanto com as crescentes necessidades de mobilidade, o baixo custo do petróleo, a invenção do motor de arranque e a crescente necessidade de maiores autonomias, levou a que os veículos com motor de combustão interna substituíssem o veículo eléctrico. (1)

Também no início da comercialização de veículos eléctricos foi desenvolvido o conceito de veículo híbrido, como forma de aumentar a autonomia dos veículos. (1)

1.2 Objectivos para reduzir o efeito de estufa

Para minimizar os efeitos das emissões produzidas por veículos é imperativo desenvolver ou melhorar tecnologias.

Uma solução é reduzir drasticamente o consumo de petróleo para minimizar emissões de gases que agravam o efeito de estufa. Os veículos eléctricos e híbridos têm um grande potencial para uma redução dos problemas atrás apresentados. (2)

Existem alguns caminhos para reduzir o consumo de petróleo e gases em veículos de transporte. Uma proposta está resumida na seguinte tabela:

Tabela 1-Objectivos para redução de efeito de estufa (2)

	Opções	Barreiras
Redução de trajectos	-Taxas petrolíferas, -Planeamento urbano	- Difícil implementação
Redução de resistência	-Redução de dimensões e peso -Melhoramento da aerodinâmica -Redução de atrito	- Difícil implementação -Requisitos de segurança Implementação incremental
Aumento de eficiência	-Aumento de eficiência do veículo - Aplicação da sobrealimentação aos motores -Utilização de motores diesel -Melhoramento das transmissões	-Desempenho Implementação incremental
Utilização de combustíveis com baixa dependência do petróleo	-Hidrogénio -Electricidade Bio combustível	- Desenvolvimento da produção e armazenamento de energia renovável
Novos sistemas de propulsão	HEV, PHEV, BEV e FCEV ⁽¹⁾	-Custos, tecnologias e infra-estruturas

(1) HEV- Veículos híbridos eléctricos; BEV- Veículos eléctricos com baterias (BEV); - FCEV -veículos eléctricos de pilhas a combustível.

1.3 Tipos de veículos Eléctricos utilizados hoje em dia

Neste tópico irão ser abordados as diferentes soluções que têm vindo a ser apresentadas pela Ciência, assim como uma análise da viabilidade de cada sistema, os seus prós e contras.

Os (BEV), (HEV) e (FCEV), são considerados os principais tipos de veículos eléctricos (4).

Os veículos eléctricos têm incorporado diferentes tipos de tecnologias, nomeadamente estrutura, carroçaria, sistemas de propulsão e fontes de energia (3).

Hoje em dia o BEV, HEV e FCEV estão em diferentes estados de desenvolvimentos. (3). As principais limitações dos BEV são:

- Capacidade das baterias.
- Reduzida autonomia.

Relativamente ao HEV:

- Custo
- Complexidade

Os FCEV estão num estado de desenvolvimento um pouco menor que os HEV, mas apresentam-se como uma solução como muito potencial. Mas neste momento o custo de produção e a falta de postos de abastecimento são os maiores problemas. (4)

Na seguinte tabela, apresentada por “Chan” (4), onde estão descritas as várias características destes tipos de veículos. Onde apresenta quais são as dúvidas associadas a cada tipo de veículo, o tipo de propulsão utilizada, as características, necessidades de sistemas de abastecimento, infraestruturas e os diferentes sistemas energéticos utilizados.

Tabela 2- Características dos Veículos (4)

Tipos de Veículos Eléctricos	Veículos Eléctricos	Veículos Eléctricos Híbridos	Veículos Eléctricos com pilha de Combustível
Dúvidas	Gestão da bateria	Gestão de múltiplas fontes de energia	Custo da Pilha de combustível
	Propulsão de alto desempenho	Depende do ciclo de condução	Processamento do combustível
	Facilidades de carregamento energético	Gestão e dimensões da bateria	Sistema de reabastecimento de combustível
Propulsão	Motores Eléctricos	Motores Eléctricos	Motores Eléctricos
		Motor de combustão Interna	Emissões poluentes nulas ou muito reduzidas
Características	Zero emissões	Emissões reduzidas	Elevada eficiência energética
	Zero consumos de petróleo	Elevada Autonomia	Independência do petróleo
	100 a 200 km de autonomia	Dependência de petróleo	Autonomia Satisfatório
	Custo inicial elevado	Estrutura complexa	Elevado Custo
	Disponível comercialmente	Disponível comercialmente	Tecnologia em desenvolvimento
Sistema de abastecimento e Infra-Estrutura	Energia da rede eléctrica	Postos de abastecimento de combustível	Hidrogénio
		Energia da rede eléctrica	Metanol ou Gasolina
			Etanol
Sistema de Energia	Bateria e Supercondensadores	Bateria e Supercondensadores	Pilha de Combustível
		Motor de Combustão Interna	

A comercialização crescente de veículos eléctricos híbridos permitiu o aumento do desempenho e autonomia dos veículos com propulsão eléctrica.

De modo a diminuir o custo, têm sido realizados esforços de melhoramento de diversos subsistemas eléctricos dos veículos híbridos nomeadamente motor eléctrico, a electrónica de potência, as unidades de gestão de energia e baterias (4).

1.3.1 Porquê veículos eléctricos?

Segundo as perspectivas da Europa, no que concerne ao consumo de energia até 2030 os veículos privados consumirão 55,9 % de energia disponível para os transportes, mas irá verificar-se um grande aumento de consumo por parte dos transportes de mercadorias (Anexo 00) e aumento de 0,8% por ano de consumo de energia nos transportes rodoviários.

Surgem então as questões: As reservas de petróleo serão suficientes? Qual o nível de emissões? Como estará o ambiente e o aquecimento global? (2)

Surge então como possível solução os veículos eléctricos, que são livres de emissões. Tendo também em consideração as emissões das centrais eléctricas, o uso de veículos eléctricos pode reduzir significativamente a poluição. (4)

1.3.2 Tendências de desenvolvimento

Nas próximas décadas, espera-se que ambos os BEV e HEV sejam comercializados em maior escala e aumentem as suas quotas de mercado. Os BEV serão bem aceites por alguns nichos de mercado, ou seja, os utilizadores do transporte em cidade, as zonas onde a energia eléctrica é barata, zonas onde existe facilidade de acesso e os locais com obrigatoriedade de zero emissões. Por seu lado os HEVs terão um nicho de mercado para aqueles utilizadores que desejem longos percursos de condução. A introdução final do BEV e HEV dependerá principalmente dos respectivos custos sendo que a comercialização de FCEVs tem vinda a crescer nas últimas décadas, apresentando maior potencial para oferecer a mesma gama e desempenho como os actuais ICEVs (Veículo com Motor de Combustão Interna), mas ainda está ainda em fase de desenvolvimento. (4)

A propulsão eléctrica e as fontes de energia serão as principais tecnologias a serem estudadas nos EV e HEV, enquanto que as fontes energia, ambiente e economia serão as principais questões para a comercialização do EV.

A ilustração 1 mostra as tendências de desenvolvimento e tecnologias associadas, onde o objectivo será a utilização de energia limpa e eficiência de utilização

energética, para a sustentabilidade dos transportes no século XXI. Onde é de salientar, que o desenvolvimento de qualquer dos diferentes tipos de veículos incorporará tecnologia eléctrica híbrida.

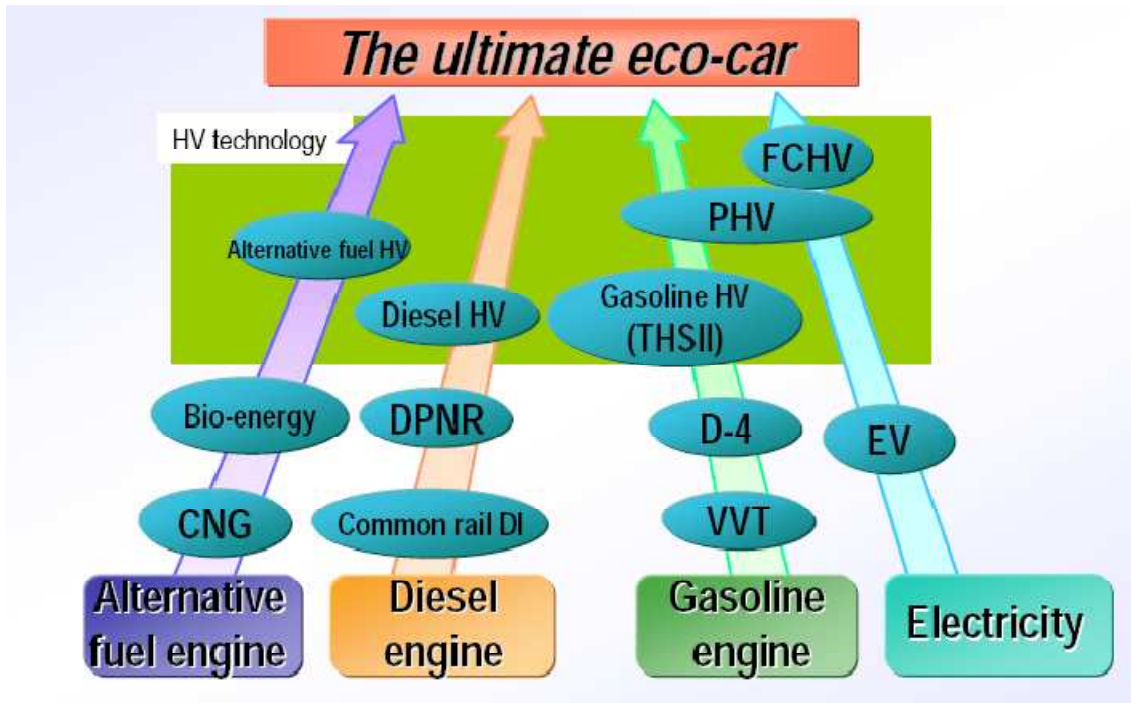


Ilustração 1- Tendências de desenvolvimento de veículos (5)

*- CNG- Gás natural comprimido; D-4- Motor a gasolina de injeção directa a 4 tempos; HV- Veículo Híbrido; VVT- Válvula Variável inteligente; DPNR- sistema de redução de NO_x e partículas Diesel;

1.3.3 Situação Actual

Actualmente as tecnologias relacionadas com os EV estão a entrar no estado de alguma maturidade. Muitas tecnologias foram desenvolvidas para aumentar a autonomia e reduzir os custos. Foram melhorados os motores eléctricos para aumentar performances, desenvolvidas novas baterias para aumentar a autonomia, aplicados novos materiais para reduzir o peso das carroçarias e optimizada a aerodinâmica dos veículos reduzindo o coeficiente aerodinâmico. Também foram melhorados os novos métodos de carregamento rápido, sistemas que permitir realizar o respectivo controlo para utilização racional dos vários sistemas no veículo com máxima eficiência (4). Estão também em desenvolvimento novas tecnologias associadas a novas baterias de

elevada capacidade com baixo volume e peso, mas também o desenvolvimento de pilhas de combustível.

O anexo 05 faz uma referência à filosofia de desenvolvimento de veículos eléctricos.

1.3.4 Comparação energética

Tabela 3- Comparação Energética - (6)

Tipo de veículo	Rendimento energético total		Rendimento energético total
	Produção e Transporte	Rendimento do veículo	
Eléctrico	Refinação, Produção de Energia e transmissão. 43%	Rendimento do veículo 67 % (incluindo eficiência de carregamento de baterias, 83%)	29%
Diesel	Refinação e transporte 88%	Rendimento do veículo 18%	16%
Híbrido a Gasolina	Refinação, transporte 82%	Rendimento do veículo 30%	25%
Gasolina		Rendimento do veículo 15%	12%

O rendimento energético total de um veículo é baseado no rendimento energético da produção para o Depósito ou bateria dos vários tipos de veículos e eficiência do veículo.

Comparando o rendimento dos vários tipos de veículos e a rendimento de produção e transporte, a eficiência global é melhor no BEV. Este facto deve-se à melhor eficiência intrínseca do veículo eléctrico, comparada com os outros veículos. BEV é o que tem menor rendimento na produção do seu combustível, ou seja, a electricidade, mas sendo a sua eficiência elevada consegue ser mais eficiente do que os restantes veículos.

É de notar também um bom rendimento energético total nos HEV (6). Pelo facto de utilizarem soluções com propulsão eléctrica, melhorando a eficiência dos veículos de combustão.

1.3.5 Veículos puramente eléctricos

O veículo eléctrico puro é um tipo de veículo que utiliza motores unicamente eléctricos. É composto por um sistema primário de energia, uma ou mais máquinas eléctricas e um sistema de accionamento e controle a velocidade do binário.

Considera-se veículo puramente eléctrico todo o veículo que depende unicamente da energia eléctrica como fonte para tracção. (7)

São exemplos deste tipo de veículos eléctricos a bateria, os veículos eléctricos solares e os veículos eléctricos que estão fisicamente ligados a uma rede de distribuição de energia (normalmente veículos de transporte colectivo).

1.3.5.1 Porque comprar BEV?

1.3.5.1.1 Benefício para o meio Ambiente

Os BEV são livres de emissões para o ambiente comparativamente com os tradicionais veículos a gasolina e gasóleo quando estão em funcionamento.

Quando utilizamos veículos eléctricos contribuímos para uma redução da poluição nas nossas cidades, porque efectivamente são de emissão nula no local da sua circulação, depende 100% de energia eléctrica, que contribui para a redução das emissões de CO₂. (8)

1.3.5.1.2 Custo de utilização

Como exemplo de redução do custo de utilização, temos a capacidade de realizar uma desaceleração regenerativa (regeneração de energia eléctrica a partir de energia cinética). Possibilidade de eliminar alguns órgãos mecânicos usuais na transmissão dos veículos automóveis convencionais, contribuindo para uma redução do peso, melhor eficiência e fiabilidade de todo o sistema.

1.3.5.1.3 Mais silenciosos que os veículos convencionais

Não existindo ICEV (Motor de combustão Interna) o ruído provocado pelo EV é muito menor. Num veículo eléctrico teremos o ruído de rolamento, e a altas rotações o ruído dos motores.

Existem marcas que ao desenvolverem BEV, desenvolvem sistemas para produzir ruído para que os peões detectem a presença de um BEV.

1.3.5.1.4 Perfeito para utilização em cidade

Ao reduzir o nível de poluição e ruído, melhora a qualidade de vida dos respectivos cidadãos.

1.3.5.2 Desvantagens dos BEV

- Componentes e tecnologia, baterias e motores são muito pesados e com elevado custo. (8)
- Infra-estruturas para carregamento de baterias.
- Baixo rendimento na produção e transporte de energia, cerca de 43% comparado com os veículos com motor de combustão interna (motores Diesel 88% e Gasolina 82%)
- Autonomia limitada
- Velocidade limitada em alguns casos
- Problemas nas baterias
- Custo de aquisição elevado
- Geralmente o veículo eléctrico é mais caro que um veículo convencional

Os BEV tendem a ser de menor tamanho e têm velocidades máximas menores do que carros convencionais. Contudo, híbridos e híbridos recarregáveis na tomada são comparáveis em termos de velocidade e autonomia com os veículos actuais.

1.3.5.3 Custos associados à compra de um BEV

Ao adquirir um BEV, temos de ter em conta que o seu custo inicial é maior que nos veículos convencionais, pelo facto das baterias terem um custo muito elevado. Mas este problema pode ser atenuado no futuro com o aumento de produção de baterias, levando à conseqüente redução de custos. De acordo com o artigo (8) o custo de utilização do veículo “Th!nk City car” é aproximadamente de 120 € por mês através de leasing.

A manutenção dos veículos eléctricos é mais simples, pelo facto de a mecânica ser menos complexa. De acordo com este mesmo artigo o custo mensal de manutenção ronda os 0.08 cêntimos por quilómetro, o que é um custo muito reduzido comparativamente aos veículos actuais.

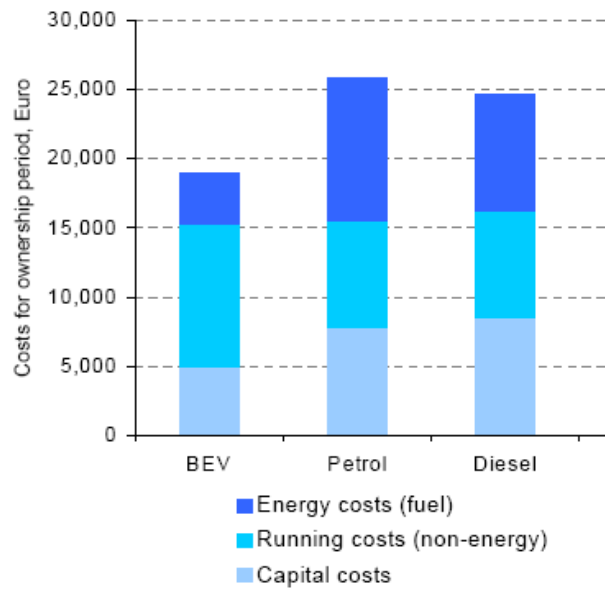
Relativamente a impostos, os veículos eléctricos têm uma carga fiscal reduzida, estando condicionada ao país onde se vai adquirir o veículo.

No artigo (8) foi feita uma comparação entre custos de um veículo eléctrico puro, um veículo a gasolina e outro a gasóleo. Este estudo foi feito utilizando uma média de utilização, de cada tipo de veículo durante 10 anos com 17000 km percorridos por ano.

Conclui-se que no fim da vida útil dos veículos, o custo de utilização do BEV é menor relativamente aos outros veículos em análise, em parte pelo facto do custo com energia ser significativamente menor como mostra a tabela 4.

É de notar que este estudo foi feito com base em pequenos veículos. (8)

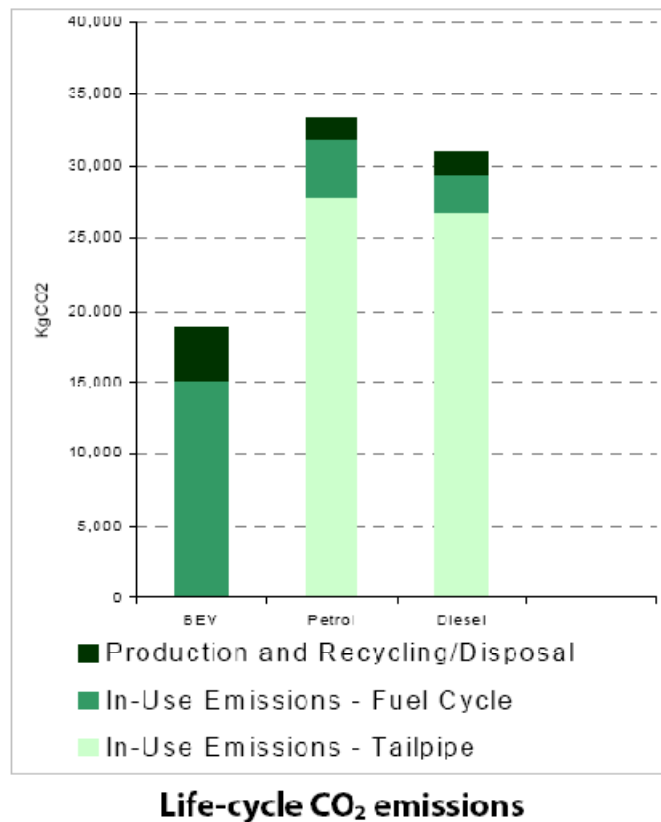
Tabela 4- Comparação de custos relativos a utilizadores de Veículos eléctricos comparativamente a veículos a gasolina e gasóleo (8)



1.3.5.4 Impacto do veículo eléctrico no meio ambiente

Na Tabela seguinte, observarmos que a quantidade final de emissões é menor que em veículos convencionais. Porque durante a utilização do BEV não existe emissões de gases.

Tabela 5- Comparação de emissões em diferentes tipos de veículos (8)



Os BEV relativamente aos outros veículos, têm uma grande produção de CO₂ durante a produção do combustível (electricidade), e reciclagem dos seus componentes (8), mas com a utilização de energias renováveis a redução deste tipo de emissões poderá reduzir-se significativamente.

1.3.5.5 Descrição

1.3.5.5.1 Configuração do BEV

O fluxo de potência eléctrica nos veículos a baterias ocorre principalmente em cabos eléctricos flexíveis, em detrimento das ligações mecânicas verificadas nos veículos de combustão interna, adoptando uma configuração de subsistemas distribuídos. A utilização de diferentes sistemas de propulsão implica diferenças na configuração do veículo, assim como a utilização de diferentes fontes de armazenamento de energia, que implica diferentes formas de reabastecimento. Na ilustração seguinte, está representada a constituição de um veículo eléctrico a baterias, constituído pelo subsistema de propulsão eléctrica, subsistema de armazenamento e fonte de energia, e subsistema auxiliar. (3)

Através das entradas de controlo dos pedais de travão e acelerador do veículo, o controlador electrónico disponibiliza sinais de controlo adequados à ligação e corte dos dispositivos de electrónica de potência, cuja função incide na regulação do fluxo de potência entre a fonte de armazenamento de energia e o motor eléctrico. O sentido inverso de fluxo de potência deve-se à energia cinética recuperada na desaceleração num veículo eléctrico, sendo esta armazenada na bateria. A unidade de gestão de energia colabora com o controlador electrónico de modo a controlar a potência eléctrica obtida da recuperação de energia cinética durante a desaceleração, cooperando igualmente com a unidade de reabastecimento de energia eléctrica, de modo a controlar o respectivo reabastecimento. A fonte auxiliar de energia disponibiliza a potência necessária com diferentes níveis de tensão para todos os módulos auxiliares, como o controlo de temperatura e unidade de controlo de direcção. (3)

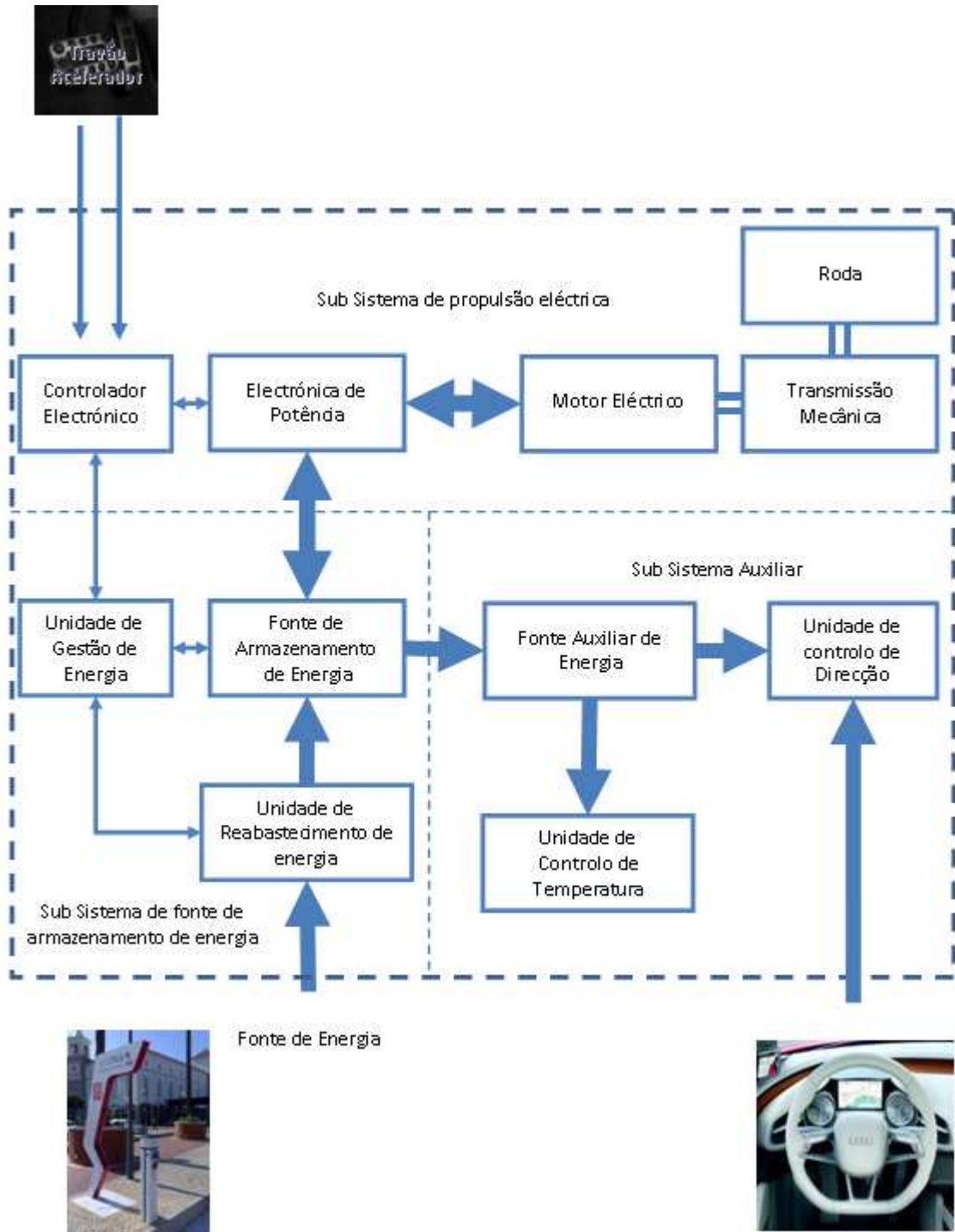


Ilustração 2- Configuração do Veículo Eléctrico

1.3.5.6 Tipos de Veículos eléctricos Puros

Existem diversos tipos de veículos eléctricos desde o Segway até mini-autocarros. Em seguida são apresentados alguns exemplos:

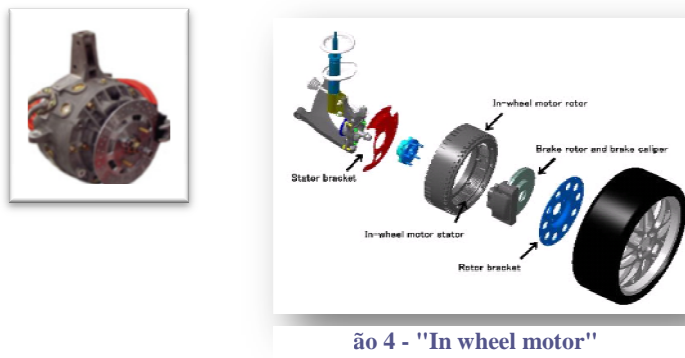
	Recreativos
	Bicicletas
	Motociclos
	Quadriciclos
	Veículos de 2 passageiros
	Veículos para 4 passageiros
	Desportivos
	Mini Autocarros
	Comerciais
	Máquinas

Ilustração 3- Variantes de veículos Eléctricos

1.3.5.7 Configurações de Sistemas de Propulsão

Relativamente aos Sistemas de propulsão existem diversas configurações para transmissão da potência mecânica dos motores eléctricos às rodas. Existem dois tipos de acoplamento de motores, os motores acoplados directamente no interior das rodas (In wheel motor) ou motor e diferencial a transmitir potência mecânica às rodas motrizes.

1.3.5.7.1 O sistema “in wheel motor” tem a seguinte configuração:



Existem vários tipos de veículos com este sistema, como podemos observar na tabela seguinte:

Numero de rodas motrizes	Veículo	Power Train
2	<p>Cosmo EV</p>	
4	<p>Joule EV</p>	

Ilustração 5 -Configurações de "Power Train" com "in Wheel motor"

1.3.5.7.2 Motor e Diferencial

Este é o dos sistemas mais actualizado. Onde existe apenas um motor a transmitir potência a duas rodas motrizes através de um diferencial.

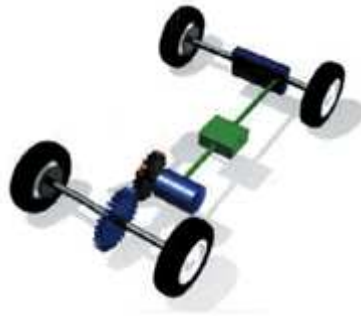


Ilustração 6 - Configuração de "Power train" com Diferencial (5)

São exemplo desta sistema os seguintes veiculos:


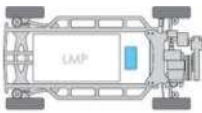




Tipo	Veículo	Power Train
Tracção Dianteira		
Tracção Traseira		
Tracção 4x4		

Ilustração 7- Tipos de Configuração de " Power Train" com Diferencial

No anexo 1 é feita a análise a dois veículos eléctricos puros, para melhor conhecer as suas características.

1.3.6 Eléctricos Híbridos

Um automóvel híbrido é um veículo que possui mais que um motor propulsor, os quais usam tipos diferentes de alimentação.

O que está mais difundido é o automóvel que combina motor de combustão e motor eléctrico.

Embora o automóvel híbrido polua menos do que os automóveis somente com motor a combustão, os seus custos de produção são altos se comparados com diferença de emissão de poluentes.

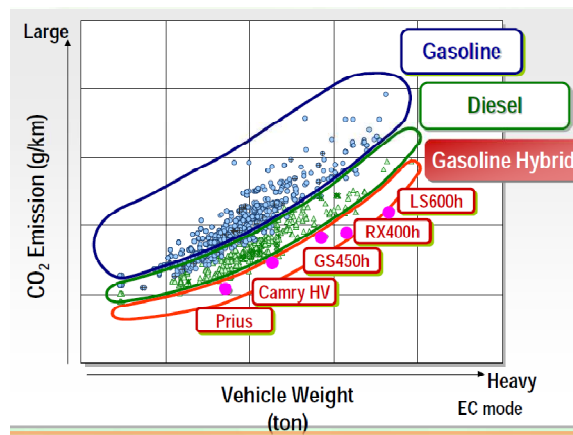


Ilustração 8 - Comparação de automóveis Híbridos Eléctricos no Grupo TOYOTA (9)

De acordo com o grupo TOYOTA, como se pode observar na Ilustração 8 os veículos Híbridos a gasolina, tem menores emissões do que veículos puros a gasolina a gasóleo.

Este sistema tem sido desenvolvido com o objectivo de melhorar a eficiência energética dos automóveis, estando associado normalmente mais do que um motor propulsor, diferentes tipos de alimentação, aproveitamento da energia cinética gerada pela travagem e sistema de start-stop, que para e arranca automaticamente o motor de combustão interna.

Nos motores de combustão convencional apenas 15% de energia gerada pela combustão é aproveitada para mover os passageiros e abastecer os sistemas do veículo. Sendo que o motor eléctrico aproveita 80% da energia para realizar a mesma função.

Tendo os híbrido esta configuração, irá melhorar a eficiência do veículo desde da entrada de combustível no veículo até à potência aplicada pelas rodas (Tank-to-wheel efficiency). (9)

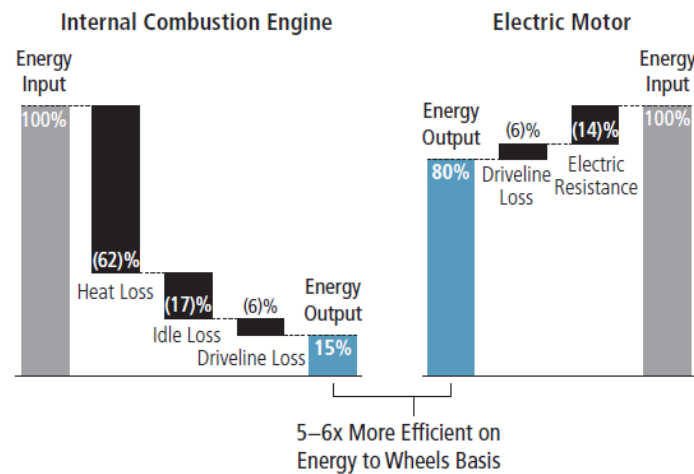


Ilustração 9 - Eficiência energética de motor de combustão interna e motor eléctrico (8)

Neste tipo de veículo a máquina eléctrica pode ter vários regimes de funcionamento. Poderá funcionar como motor ou como gerador, só funcionar durante os arranques, velocidades reduzidas e de cruzeiro. Podendo assim os motores de combustão interna ser menos poluentes e trabalhar em domínios de velocidade e rotação onde terá melhor rendimento.

O sistema de Start-Stop, que pára e arranca automaticamente o motor de combustão Interna enquanto o carro está parado, a velocidades reduzidas e a velocidades de cruzeiro quando a bateria está suficientemente carregada para alimentar o motor sem sofrer descarga profunda.

A desaceleração regenerativa é uma das vantagens deste veículo porque o motor eléctrico aplica um binário resistente à transmissão para auxiliar a travagem, aproveitando a energia cinética dissipada na travagem para carregar a bateria, que poderá estar disponível quando o motor eléctrico necessitar da energia armazenada.

O Toyota Prius com THS II (Toyota Hybrid System) tem um rendimento de 32% “well-to-wheel” (do poço de petróleo até à roda), tendo uma eficiência de 37% “tank-to-wheel” (do depósito até à roda) . Este tipo de veículo tem uma eficiência energética total de 3% superior ao veículo eléctrico puro que é uma mais-valia importante. Comparando a eficiência “tank-to-wheel” é bastante mais reduzida do que os 67% do veículo Eléctrico Puro. (5)

1.3.6.1 Porquê comprar HEV?

Um HEV custa cerca de 20-25% mais que os veículos convencionais, mas com o aumento da produção deste tipo de veículo o custo de aquisição irá reduzir-se consideravelmente.

Pelo facto de ter um consumo de combustível inferior aos veículos convencionais, ajuda a compensar o custo da compra do veículo.

Estes veículos têm uma manutenção cara porque têm de funcionar com sistemas do BEV e dos veículos a gasolina ou gasóleo (8), podendo ter necessidade de manutenção suplementar pela existência de mais sistemas eléctricos

Por outro lado a recuperação de enérgica cinética durante a desaceleração, reduz os custos de substituição de disco e pastilhas de travão.

1.3.6.2 Quais os benefícios de comprar HEV

Os proprietários que fazem uma elevada quantidade de quilómetros anualmente têm provavelmente benefícios em ter um HEV, pois, apesar de mais caro na sua aquisição, os híbridos são mais baratos durante a utilização. As Tabelas seguintes mostram que os híbridos têm de ser utilizados de uma forma mais intensiva do que os convencionais ou mantidos por maiores períodos para que os proprietários possam reduzir custos. Por exemplo, alguém que pretende possuir um veículo híbrido por apenas 5 anos terá que viajar 38.000 quilómetros (23.500 milhas) por ano, mais do que duas vezes a distância média anual conduzida na Irlanda, para compensar compra de um carro híbrido a gasolina (8). Em alternativa, alguém que possui um veículo híbrido a gasolina para 10 anos (a duração média de propriedade), terá de viajar 25.500 quilómetros (16.000 milhas) por ano para eliminar os custos adicionais de aquisição de um veículo híbrido. As distâncias equivalentes para fazer a compra de um veículo diesel híbrido de valor semelhante são ainda mais devido aos menores custos de combustíveis convencionais associados ao fornecimento de automóveis a gasóleo (em comparação com veículos a gasolina). Os condutores que viajam uma distância média de 17.000 quilómetros por ano teriam de possuir um veículo híbrido a gasolina durante 21 anos para receber os custos adicionais para comprar o veículo e os de gasóleo por mais de 25 anos. Como se pode observar nas seguinte tabelas (8):

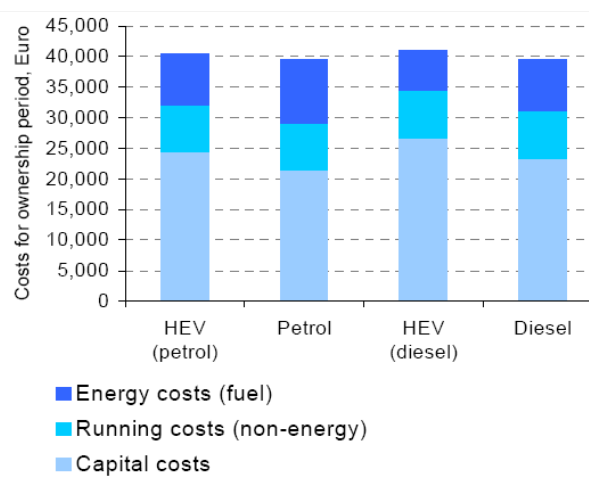
Tabela 6- Quando é rentável comprar um veículo eléctrico híbrido a gasolina? (8)

Assumption:	Average ownership	Short-term ownership/ high use	Average use/ Long-term ownership
Ownership period (years)	10	5	21
Annual distance driven (km)	25,500	38,000	17,000
% of driving in city areas	25%	25%	25%
<i>Financial costs:</i>			
Capital cost (after discount and including resale)	€25,500	€23,600	€27,100
Running costs (non-energy i.e. tax + maintenance)	€7,800	€4,800	€12,200
Running costs (energy)	€12,300	€11,200	€12,900
Total cost (over ownership period)	€45,500	€39,600	€52,200

Tabela 7- Quando é rentável comprar um veículo eléctrico híbrido a Gasóleo? (8)

Assumption:	Average ownership	Short-term ownership/ high use
Ownership period (years)	10	5
Annual distance driven (km)	34,500	53,500
% of driving in city areas	25%	25%
<i>Financial costs:</i>		
Capital cost (after discount and including resale)	€28,800	€27,300
Running costs (non-energy i.e. tax + maintenance)	€7,800	€4,800
Running costs (energy)	€13,400	€12,800
Total cost (over ownership period)	€50,000	€44,900

Tabela 8-Comparação de custos dos diferentes veículos (8)

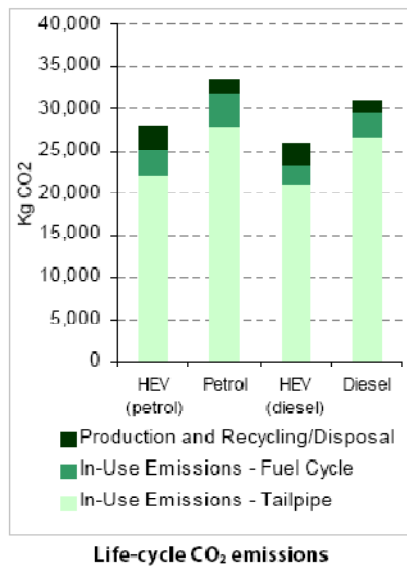


1.3.6.3 Impacto dos HEV no meio Ambiente

Analisando a tabela seguinte podemos concluir que os HEV têm menos emissões que os veículos convencionais. Sendo que os HEV a gasóleo têm menos emissões que os HEV a gasolina, e que a sua aquisição compensa quando existe uma utilização elevada do veículo. Na tabela 9 também é possível concluir que os veículos híbridos a gasóleo são os que tem menores emissões de CO₂.

Este estudo foi apresentado no artigo (8)

Tabela 9-Estimativa das emissões dos diferentes veículos (8)



1.3.6.4 Características dos sistemas híbridos:

O veículo híbrido tem diferentes características:

Redução de perdas de energia

Um dos sistemas utilizados é o “Start-Stop”, que é um sistema que pára e arranca automaticamente o motor de combustão interna, por exemplo o carro tem de parar nos semáforos, reduzido assim as perdas de energia, consumos e emissões de gases.

Recuperação e reutilização de energia

A energia normalmente pode ser recuperada durante a desaceleração e descidas, utilizando o motor eléctrico como gerador, carregando e aumentando a autonomia.

Sistema de controlo da eficiência do veículo

Este sistema melhora a eficiência geral do veículo usando o motor eléctrico e o de combustão de acordo com as necessidades do condutor.

Hybrid system comparison

	Fuel economy improvement			Driving performance		
	Idling stop	Energy recovery	High-efficiency operation control	Total efficiency	Acceleration	Continuous high output
Series	●	⊙	●	●	○	○
Parallel	●	●	○	●	●	○
Series/parallel	⊙	⊙	⊙	⊙	●	●

⊙ Excellent ● Superior ○ Somewhat unfavorable

Ilustração 10- Comparação de sistemas Híbridos (5)

De acordo com a Toyota, o sistema paralelo / série é o que tem melhor performance, como se pode constatar da ilustração 10 (5). É de notar também que é este sistema, que tem a melhor eficiência, não sendo excelente em acelerações e potência é melhor que o sistema série ou mesmo o paralelo. No entanto neste quadro não é focada a complexidade deste sistema da Toyota, que é a grande desvantagem relativamente aos outros sistemas existentes (5)

Analisando os vários sistemas iremos perceber, concretamente esta diferença.

1.3.6.5 Tipos de Híbridos

1.3.6.5.1 Híbrido com assistência eléctrica

Normalmente são veículo com um motor eléctrico com Potência Eléctrica instalada de 1 a 5 kW. O motor eléctrico auxilia o motor de combustão interna nos arranques, sendo essencialmente um grande motor de arranque, que poderá ser usado também para assistir o motor de combustão. O motor eléctrico não tem capacidade de propulsionar o veículo sem ajuda do motor de combustão.

1.3.6.5.2 “Híbrido moderado”

Normalmente tem potência eléctrica instalada de 10 kW a 20 kW, utilizam tensão de 42 volt para fornecer energia a motor de arranque, aproveitando já a energia gerada na desaceleração e utilizando sistema de arranque automático (“start-stop”). Quando este tipo de veículo abranda, o motor eléctrico continua a funcionar motor de combustão interna é desligado frequentemente. O motor eléctrico é reforçado para poder suportar frequentes arranques. Sem comprometer a longevidade pode também funcionar como gerador para carregar as baterias.

O Motor de arranque é sobredimensionado para permitir que quando o veículo abrandar, funcione como gerador e auxilie a travagem. Ao abrandar o motor de combustão interna é desligado e o motor eléctrico tem a função de realizar os sucessivos arranques do veículo.

1.3.6.5.3 Híbrido Total

Potência instalada de 20 a 100kW, com tensão de 500 volts ou mais podendo rolar no modo puramente eléctrico.

Com sistema exterior de carregamento de baterias “Plug-in” é possível carregar a bateria directamente da rede eléctrica, tendo baterias de grandes capacidades. Sendo o “Toyota Prius Plug in” considerado um Híbrido completo.

Estes veículos têm um computador que controla o funcionamento dos motores., definindo qual o motor que deve trabalhar para em determinado requisito de potência, de modo a melhorar o rendimento do veículo. Esta divisão é de elevada complexidade.

(5)

1.3.6.5.4 “Plug-in hybrid”

É um automóvel híbrido cuja bateria utilizada para alimentar o motor eléctrico pode ser carregada directamente, por carregadores ligados a uma tomada, possui as mesmas características do automóvel híbrido convencional, tendo um motor eléctrico e um de apoio ao motor de combustão. No híbrido tradicional a bateria é carregada unicamente pelo motor de combustão ou em alguns poucos casos pela energia regenerativa de desaceleração Esta possibilidade de alimentação alternada directamente

da rede eléctrica faz com que o modelo “Plug-in” possa funcionar com uma quantidade significativamente reduzida de combustível fóssil.



Ilustração 11- Plug in Hybrid (9)

1.3.6.6 Tipos de sistemas

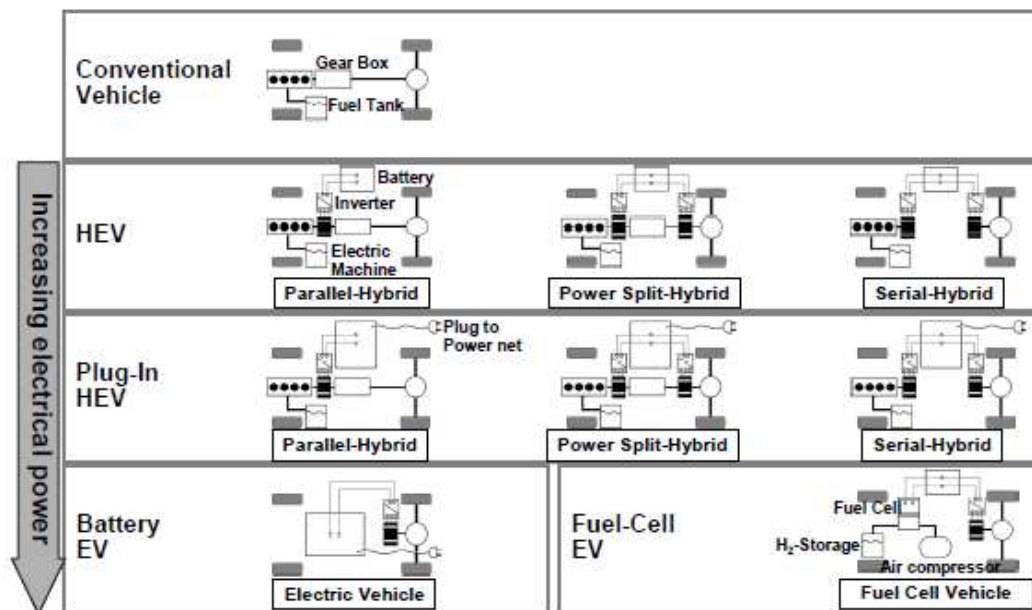


Ilustração 12 - Diversos tipos de veículos (1)

No caminho para a electrificação completa do automóvel, o veículo híbrido encontra-se a meio caminho dessa solução. Estando feita essa representação na ilustração 12.

Seguidamente serão apresentados os diversos sistemas, e o princípio básico de funcionamento.

1.3.6.6.1 Híbrido Serie

Neste sistema o motor de combustão interna acciona o gerador. O gerador alimenta a bateria e o(s) motor(es) eléctrico(s). A energia eléctrica proveniente do gerador e da bateria é transformada em potência mecânica transmitida às rodas.

É designado sistema serie, porque a potência é transmitida “em série”(motor de combustão interna, gerador, bateria, motor eléctrico) como está representado na ilustração 13, ou em sentido oposto durante a desaceleração.

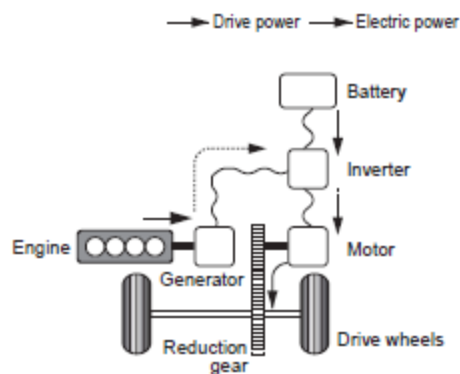


Ilustração 13 - Sistema Série (5)

Assim sendo o motor de combustão pode trabalhar a uma gama de rotações onde tem maior eficiência energética gerando energia eléctrica para as baterias e motor eléctrico. Estes tipos de veículos poderão não necessitar de transmissão (acoplamento directo, motores nas rodas).

O motor de combustão interna, o gerador e o conjunto do(s) motor(es) eléctrico(s) tem potências semelhantes.

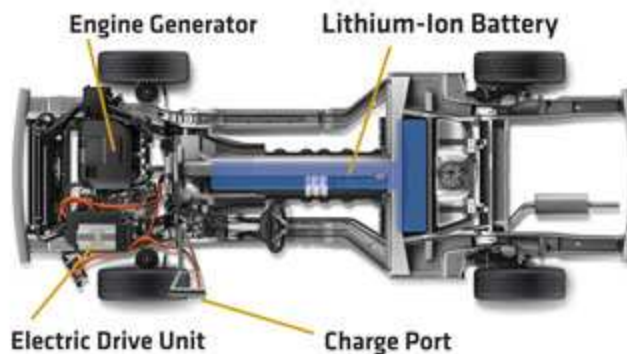


Ilustração 14- Sistema Híbrido série aplicado a Chevrolet VOLT (10)

1.3.6.6.2 Híbrido Paralelo

Nestes sistemas, ambos os motores transmitem directamente potência para as rodas estando ligados a uma transmissão. A energia das duas fontes pode ser utilizada de acordo com as necessidades em questão. É um sistema em paralelo porque a potência flui para as rodas de duas formas distintas. Neste sistema o carregamento da bateria é feito quando a máquina eléctrica funciona como gerador, mas não é possível carregar as baterias quando está a funcionar como motor.

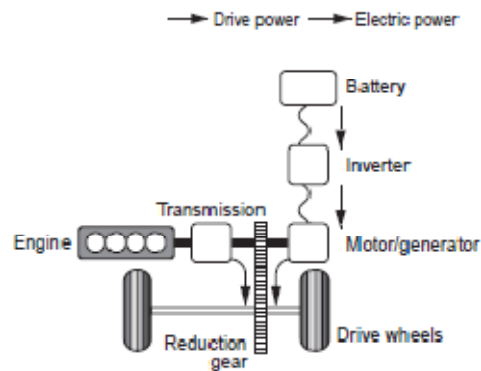


Ilustração 15- Sistema Paralelo (5)

No sistema paralelo o motor de combustão interna é usado para transmitir potência ao veículo. Por sua vez o motor eléctrico é um auxiliar durante a aceleração. Ou seja o motor de combustão interna realiza a maior parte do trabalho do sistema de transmissão de potência.



Ilustração 16- Sistema Paralelo Honda IMA (11)

1.3.6.6.3 Híbrido Serie/paralelo

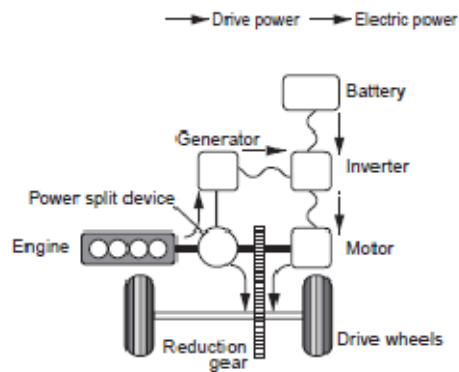


Ilustração 17- Sistema Paralelo/Série (5)

Este sistema combina o sistema híbrido paralelo com a série, maximizando os benefícios dos dois sistemas.

A unidade de divisão de potência (Power split device), é responsável por alimentar o gerador eléctrico e transmitir potência gerada pelo motor de combustão interna às rodas. Neste caso o motor de combustão interna, e a máquina eléctrica fornecem potência mecânica simultaneamente às rodas. O que não acontecia nos sistemas anteriormente apresentados.

Nos veículos com motores de combustão interna, é necessário um motor de alta cilindrada para realizar arranques não muito lentos, neste caso a existência de um motor eléctrico melhora a performance do veículo porque o motor eléctrico tem o binário máximo disponível desde a velocidade nula.

O Tempo de funcionamento do motor eléctrico, ou do motor de combustão interna é definido pelo sistema de divisão de potência, por isso esta pode ir para as rodas vinda do motor de combustão ou motor eléctrico.

No anexo 02 foi feita uma análise ao sistema utilizado pelo Toyota Prius, onde é apresentada uma breve descrição dos seus constituintes.

1.3.7 Veículos eléctricos Pilha de Combustível

1.3.7.1 O que é uma elemento electroquímico a combustível

Um elemento a combustível gera uma potência eléctrica, combinando um combustível (hidrogénio, gasolina, etanol. etc.) e oxigénio através de uma reacção química. Pode ser vista como uma bateria que funciona continuamente desde que alimentada por combustível.

1.3.7.2 De onde vem o Hidrogénio

“ A principal fonte de produção de hidrogénio, que é usado para fins industriais, é o gás natural. Continua a ser uma fonte fóssil, por isso não é uma alternativa de longo prazo aos derivados de petróleo (12)

Mas o hidrogénio é também um subproduto das fábricas de cloro. O cloro é obtido por electrólise da água salgada e, além de óxidos de azoto, produz grandes quantidades de hidrogénio.”

1.3.7.3 Princípio de funcionamento

Gera potência eléctrica sem a combustão de hidrogénio, através de uma reacção electroquímica entre o hidrogénio e o oxigénio proveniente da atmosfera. O hidrogénio é fornecido ao elemento a combustível no eléctrodo negativo onde se dá uma reacção catalítica, libertando os electrões do átomo de hidrogénio. Os electrões passam do eléctrodo negativo para o positivo, constituindo uma corrente eléctrica. Entretanto os átomos de hidrogénio que perderam os seus electrões tornam-se iões e atravessam membrana electrolítica para alcançarem o lado positivo. Ai, os iões de hidrogénio juntam-se ao oxigénio formando água. (13)

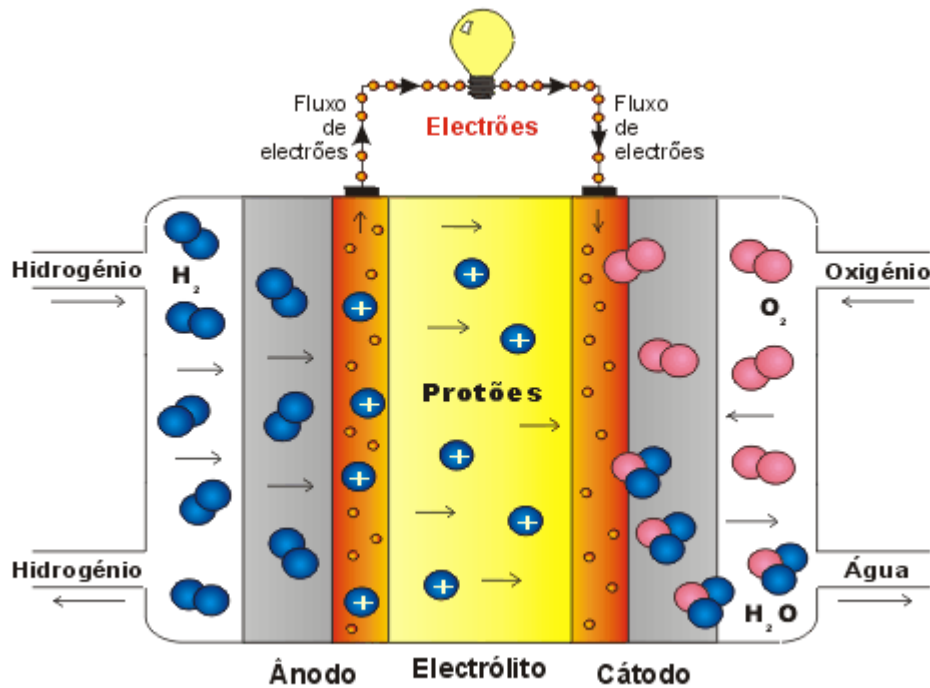
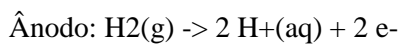


Ilustração 18- Elemento a célula de Combustível (13)

A título de exemplo, utilizando o hidrogénio como combustível e o oxigénio como oxidante, as reacções no ânodo e cátodo do elemento a combustível são as seguintes, respectivamente:



Os elementos a combustível operam de forma quase silenciosa e pode ser vista como uma combustão fria, uma vez que tem lugar a temperaturas muito inferiores comparativamente às de um processo de combustão. Enquanto numa combustão convencional toda a energia gerada é libertada sob a forma de calor, num elemento a combustível parte da energia da reacção electroquímica é libertada directamente como energia eléctrica, só o remanescente é libertado sobre a forma de calor.

Existem vários tipos básicos de elementos a combustível.

Os elementos:

- Alcalinos
- PEM
- De ácido fosfórico
- De carbonatos fundidos
- Óxido sólido

1.3.7.4 Características

Teoricamente, um elemento a combustível consegue converter 83% da energia da reacção do hidrogénio em energia eléctrica.

A reacção é realizada a baixa temperatura comparativamente ao motor de combustão interna, mas para entrarem em funcionamento tem de atingir uma determinada temperatura.

Pode ser produzido em vários tamanhos e têm diversas aplicações. Sendo que para produzirem potência suficiente para alimentar um motor eléctrico, terão de ser construídas pilhas de elementos a combustível. (13)

Vantagens

- Não produz CO₂ ou emissões nocivas para o ambiente, resultando apenas água e calor.
- Consegue converter 90% da energia contida num combustível em energia eléctrica e calor.
- Podem ser instaladas centrais de produção de energia eléctrica junto a pontos de fornecimento de combustível.
- Para além de produzir energia eléctrica poderá gerar calor e vapor e água quente.
- Devido ao facto de não possuírem partes moveis o elemento a combustível, terão maior fiabilidade do que os motores de combustão interna.
- Funcionamento silencioso.
- Apresentam um elevado potencial de desenvolvimento.
- Os elementos combustível convertem a energia contida no combustível em energia eléctrica, pelo facto do rendimento não estar limitado pelo ciclo de Carnot, como é o caso dos motores de combustão interna.
- As baterias eléctricas são também um dispositivo que realiza uma reacção electroquímica. Contudo o seu funcionamento está limitado a carga contínua se a mesma se não for carregada. Pelo contrário as pilhas a combustível são alimentadas continuamente.

Desvantagens

- Necessidade da utilização de metais nobres (platina)
- Elevado Custo
- Elevada pureza que o fluxo de alimentação de hidrogénio deve ter é importante para não contaminar o catalisador.
- Problemas associados a distribuição de hidrogénio

1.3.7.5 Aplicação a veículos automóveis

Existem diferentes tipos de elemento, distinguindo-se pelo tipo de electrólito usado, material dos elementos, temperatura de funcionamento e o tipo de combustível, cada uma diferentes tipos de aplicações, sendo que apenas os elementos de (PEM Proton Exchange Membrane) membrana polimérica são viáveis para a industria automóvel. Porque trabalham a baixas temperaturas, tipicamente entre os 60 e os 80 ° C. (13)

A tensão gerada por cada elemento é entre 0 a 1 volt dependendo das condições de funcionamento e carga pedida ao elemento. O valor tipo encontrado em elementos a combustível 0,7 V.

Principais características de cada elemento

- Tensão: 0.5 – 1 V
- Corrente: 0.3 – 1 A /cm²
- Potência: 0.3 – 0.5 W/cm²

Para obter tensão elevada tem de se ligar múltiplos elementos em série. A tensão total da pilha é obtida multiplicando o número de elementos pela tensão média de cada um.

No veículo com pilhas de combustível o armazenamento de energia é feito externamente à pilha, um dos reagentes, o oxigénio, é retirado do ar atmosférico e o outro, hidrogénio, é armazenado em tanques a alta pressão ou tanques criogénicos, que poderão ser enchidos num posto de abastecimento.

O tempo de abastecer um depósito é muito menor que o tempo necessário para carregar uma bateria.

1.3.7.6 Sistemas de propulsão

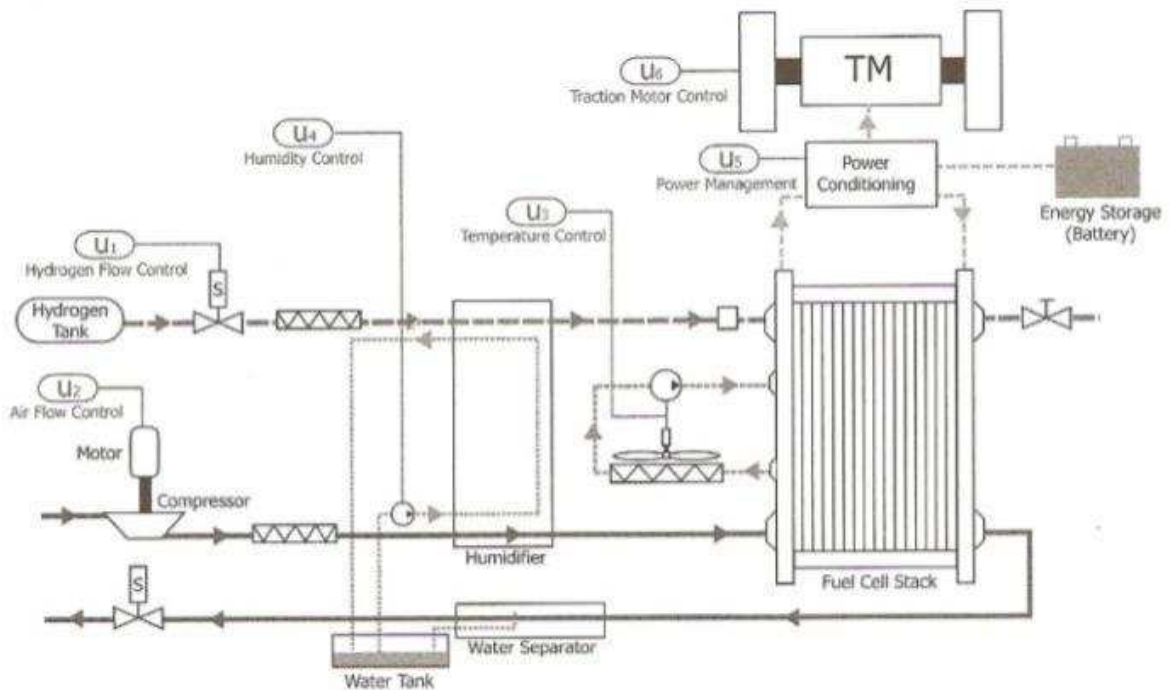


Ilustração 19- Sistema de propulsão com pilhas de Combustível (14)

A pilha de combustível necessita de ser integrada com diversos componentes auxiliares:

- Sistema de fornecimento de hidrogénio ao Ânodo
- Fornecimento de ar ao Cátodo
- Sistema de refrigeração com água ionizada

Sistema de água ionizada para humidificar o hidrogénio e os fluxos de ar.

Estes sistemas são controlados pelas unidades de controlo de entrada de ar e de hidrogénio (u_1 e u_2).

Para bom funcionamento da pilha deverá existir um sistema de alta pressão que insufla ar atmosférico, para que seja melhorada a reacção química, o rendimento da pilha e a carga disponível.

No sistema de fornecimento de ar o motor acciona o compressor cria um fluxo e pressão necessários para alimentar a célula. A compressão do ar aumenta a sua temperatura, logo necessita que o ar seja refrigerado, antes que o ar entre na Pilha.

Um humidificador é usado para adicionar vapor de água ao caudal de ar para prevenir a desidratação da membrana dos elementos a combustível.

No funcionamento normal das pilhas a combustível existe libertação de vapor de água, nos sistemas aplicados a automóveis terá de existir um separador de água para reaproveitar a água para usar no processo de humificação.

O fornecimento de hidrogénio é feito através de um depósito de hidrogénio pressurizado ou liquefeito, controlado por uma válvula. Em alguns sistemas o hidrogénio é humidificado antes de entrar na pilha. (14)

Para que a membrana esteja devidamente humidificada e mantida a uma determinada temperatura, o excesso de calor é extraído através de um circuito de água ionizada.

Para controlar a potência eléctrica gerada pela pilha existe uma unidade de controlo de potência. É importante porque a tensão gerada varia significativamente, o que não é adequado para alimentar motores ou componentes electrónicos.

Durante os regimes transitórios terá de ser garantida uma determinada tensão, temperatura, humificação da membrana e pressões de ar, para não existir uma redução da vida e rendimento da pilha.

Para conseguir obter resultados satisfatórios terá de ser criado uma unidade que faça a gestão das diversas acções de forma a não existirem conflitos entre sistemas, para conjugar de forma eficiente as diversas acções. (14)

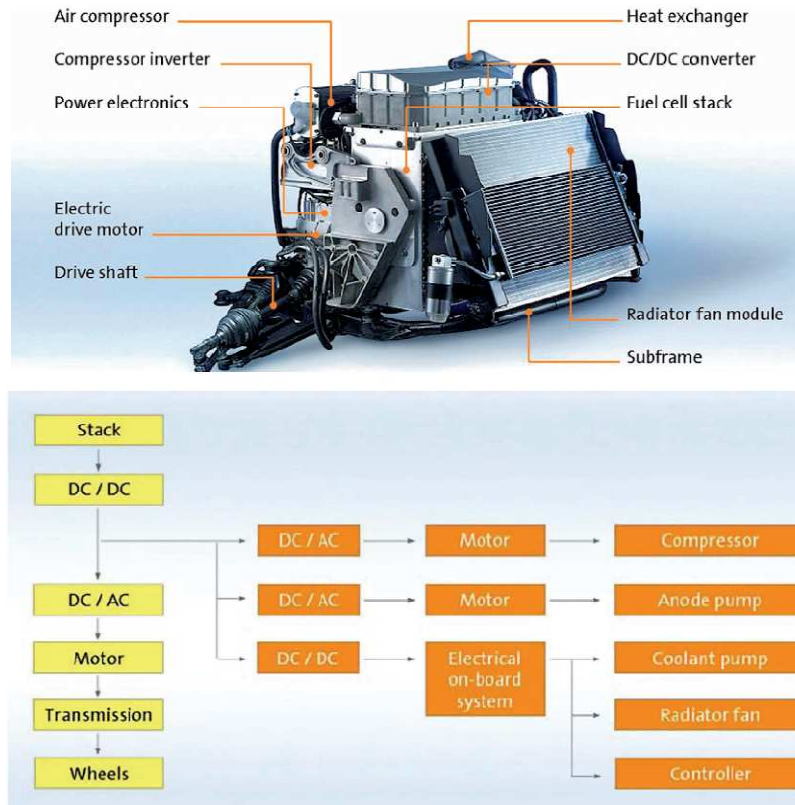


Ilustração 20 -Sistema de propulsão GM (14)

Na implementação realizada pela GM no Hydrogen3, existe um sistema eléctrico algo complexo. Os motores são alimentados com tensão alternada de 320 V.

Como a pilha gera relativamente baixa tensão contínua, existe um conversor que, eleva de tensão como é apresentado no esquema. Após a jusante desse andar a tensão é distribuída pelos motores e sistemas auxiliares sendo à entrada onde cada sistema realizada a respectiva conversão de tensão. No caso dos motores é feita uma conversão de corrente contínua para alternada e um aumento de tensão. (14)

1.3.7.7 Eficiência do sistema de propulsão desde os depósitos às rodas

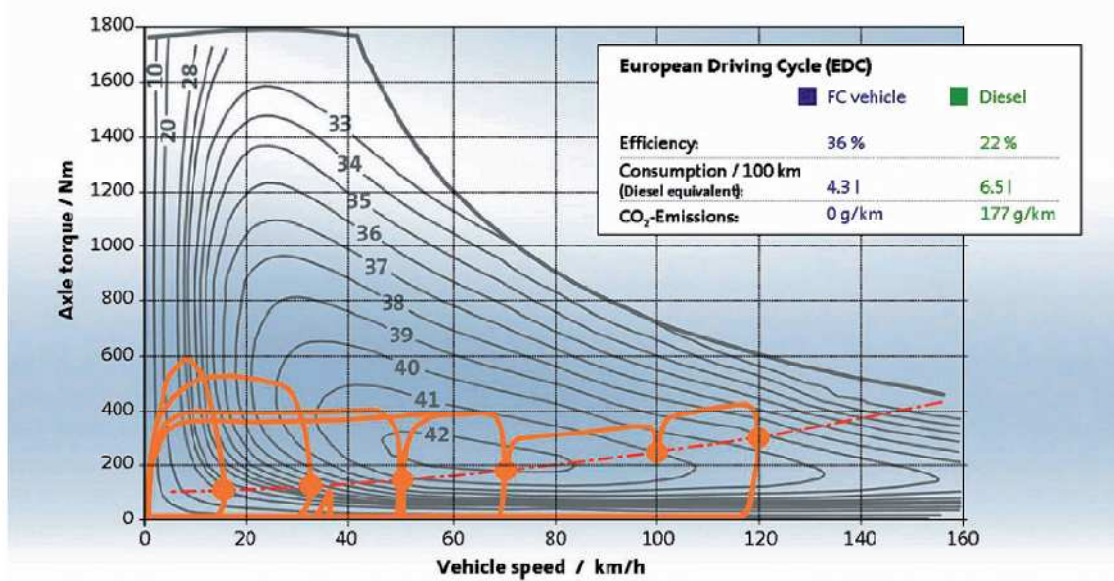


Ilustração 21 - Eficiência do sistema de propulsão com pilhas de combustível (14)

Analisando o gráfico acima, que reapresenta um tipo mapa de rendimento de uma pilha de combustível, a laranja o EDC (European Driving Cycle), e a vermelho a curva de carga.

Para períodos onde o EDC está abaixo da curva de carga o binário é mais baixo do que o requerido para manter a velocidade e aceleração constantes.

Nestes sistemas de propulsão o seu rendimento diminui com a diminuição de binário, sendo a melhor zona de rendimento perto das zonas de utilização de 50 a 100 km/h.

O melhor rendimento do veículo a pilhas de combustível é cerca de 36%, superior aos veículos de combustão interna 22 %. (14)

No anexo 3 foi feita uma análise a diferentes veículos de hidrogénio.

2 Fontes de Energia Interna

2.1 Bateria de Acumuladores

2.1.1 Introdução

O armazenamento de energia é a barreira chave para o desenvolvimento de veículos eléctricos. (15)

Uma bateria é um dispositivo electroquímico, com o objectivo de armazenar energia química para posteriormente a converter em eléctrica. Consiste na união de dois ou mais elementos, estes convertem a energia química em electricidade. (7)

Estes elementos poderão ser Voltaicos, electrolíticos, a combustível, ou “*flow cells*”. O elemento é constituído por um eléctrodo negativo e outro positivo mergulhados num electrolítico. Um elemento de uma bateria, é constituída por dois ou mais elementos, em cada elemento encontra-se um eléctrodo de metal emerso num electrólito. Os dois elementos estão ligas em série, tendo um disco poroso a separá-las, um deles funciona como cátodo e outro como ânodo. (16)

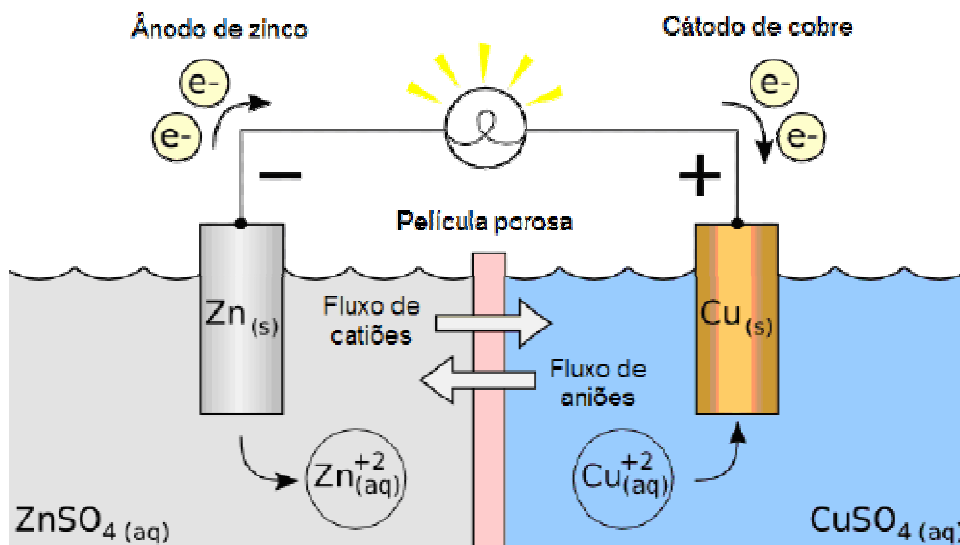


Ilustração 22- Reacção química numa célula galvânica (16)

Esta reacção química entre os eléctrodos e o electrolítico gera corrente continua.

Os acumuladores electroquímicos são a tecnologia de armazenamento de energia eléctrica mais antiga e ainda hoje mais utilizada. (7)

Actualmente existem vários tipos de baterias constituídas por diferentes acumuladores: Acumuladores Chumbo-ácido, Níquel Cádmio, Hidretos Metálicos de Níquel, Iões de Lítio, e iões de lítio com electrolítico de Polímero entre outras. (16)

Para o desenvolvimento de um veículo eléctrico, a bateria é tratada como uma caixa negra, que tem um conjunto de propriedades a ter em conta, como a energia específica, potência específica, densidade de potência, tensão, rendimento por ampere-hora, energia específica, comercialização disponível, custos, temperatura de funcionamento, taxa de descarga, número de ciclos de carga e períodos de carga. Também é necessário ter em conta a temperatura ambiente onde o veículo vai operar, (porque implica variação da energia disponível) a geometria da bateria, a temperatura óptima, método de carga, necessidades de refrigeração e desenvolvimentos futuros. (7)

A energia eléctrica armazenada é expressa kWh, e a potência máxima é expressa em kW.

O comportamento de uma bateria não é linear e varia pelas seguintes razões (16):

- Estado de carga (SOC)
- Capacidade de armazenamento da bateria
- Taxa de carga/descarga
- Temperatura
- Número de ciclos de carga
- Reacções químicas secundárias que se dão internamente

O peso e volume da bateria poderão ser calculados facilmente pelo consumo de energia (Wh/km) do veículo, a densidade de energia (Wh/kg) e a descarga no ciclo.

Relativamente aos pontos negativos das baterias a grande limitação, durante a vida útil é a auto descarga, baixa eficiência a elevadas correntes também são características desfavoráveis. Será necessário ter em conta o comportamento das baterias quando sujeitas a acidentes de viação, e os impactos para o ambiente na sua reciclagem e fabrico.

As dimensões das baterias nos veículos Puramente Eléctricos, são consideravelmente maiores que nos Híbridos. Isto é necessário porque embora a tensão dos dois sistemas seja semelhante, a energia armazenada nas baterias dos híbridos é muito menor.

Conhecer a resistência nas baterias é importante, para se conseguir extrair o máximo das mesmas, com a maior eficiência. (7)

Compreender as reacções químicas nas baterias é importante, para conhecer o desempenho e requisitos de manutenção dos diferentes tipos.

As necessidades típicas para veículos híbridos são um pico: 25 kW durante 10 segundos. Esta potência é necessária para um período de 100 h e 300 mil ciclos sendo necessários para cumprir uma vida de 10 a 15 anos (7).

2.1.2 Requisitos de armazenamento de energia

Um veículo familiar precisa de cerca de 40 kWh para percorrer cerca de 200 km. Para uma bateria de chumbo ácido isso significaria uma bateria com cerca 1,5 toneladas.

Como é lógico o baixo custo e autonomia são as principais características a ter em atenção no veículo eléctrico. Mas também as seguintes características são muito importantes (17):

- Número de ciclos de carregamento superior a 1000 ciclos.
- Taxa de auto descarga durante um mês ser inferior a 5 %.
- Reduzida manutenção.
- Domínio de funcionamento entre -30 a 65 °C.
- Resistência ao choque e vibração.

Os objectivos para a comercialização de baterias para HEV e EV estão na seguinte tabela: período

Tabela 10-Objectivos para comercialização de baterias (7)

	Unidades	HEV	BEV
Número de ciclos de funcionamento	Ciclo	300000	1000
Período de vida	Ano	15	10
Potência	kW	25	80
Energia requerida	kWh	0.25	40
Energia específica	Wh/kg	-	200
Massa	kg	40	200
Rendimento	-	90%	-

Em circunstâncias normais durante a vida de um veículos eléctrico a capacidade de uma bateria varia ao longo do tempo. Essa capacidade normalmente não é inferior a 80 % da capacidade no início de vida.

O diagrama abaixo compara a bateria e os requisitos de capacidade para um veículo do mesmo tamanho e peso quando configurado como um BEV, o HEV ou um PHEV.

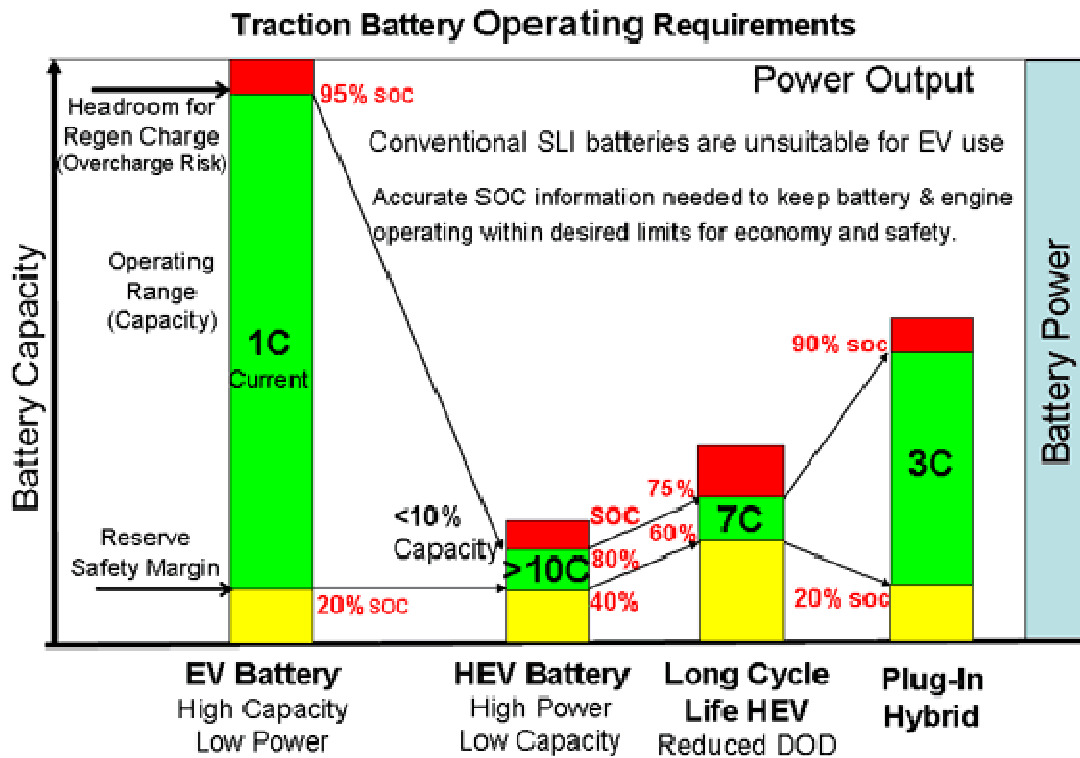


Ilustração 23- Requisitos para baterias operarem como baterias de tracção (17)

No caso do veículo eléctrico, a bateria é a única fonte de energia e deve ser dimensionada para fornecer potência aproximadamente constante.

A capacidade de uma bateria tem de ser suficiente para cumprir a autonomia estipulada, mas também deixar em reserva 20% da carga, a partir desse ponto a bateria está em sério risco de falha.

Não poderá estar 100% carregada, para poder receber a energia recuperada na desaceleração.

No anexo 4 existe uma breve descrição dos parâmetros a controlar numa bateria, no anexo 12 e anexo 9 uma descrição dos diferentes tipos de baterias e características dos diferentes tipos de baterias.

2.1.3 Comparação de vários tipos de baterias

Nas baterias de electrólito ácido, os eléctrodos crescem e encolhem desordenadamente e entram em interação com electrolítico.

Nas baterias de lítio e NiMH o armazenamento e libertação são feitos a partir de um electrólito sólido gelatinoso. Esta estrutura gelatinosa aumenta o número de ciclos de carga e descarga, aumentando a vida das baterias.

As baterias de electrólito ácido, estão no seu expoente máximo de desenvolvimento por sua vez as baterias de íões de lítio estão agora no início de seu ciclo de desenvolvimento, apresentando já características superiores às de ácido, como é visível no gráfico.

A evolução nesta bateria consiste na intercalação dos eléctrodos com o electrólito. No futuro as baterias de lítio irão substituir de NiMH, porque conseguem ter melhor desempenho.

Analisando o gráfico da revista ATZ (18), verificamos que em geral as baterias de lítio são as que têm melhores características, e mesmo estando no início de desenvolvimento, já conseguem o melhor desempenho de todas as baterias já desenvolvidas.

Pelo que é previsível uma melhoria significativa nas suas características, superando todas as outras baterias previamente existentes.

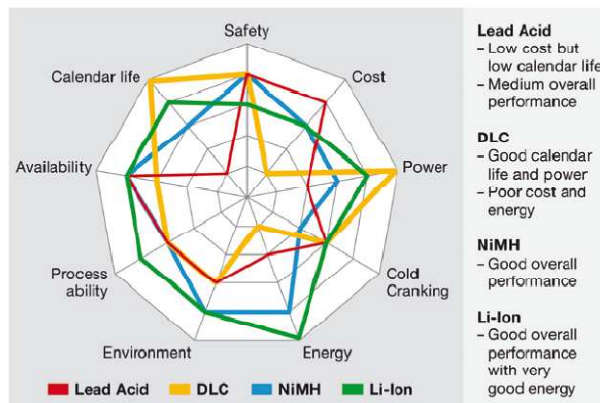


Ilustração 24 -Comparações dos diferentes tipos de baterias (18)

Segundo o gráfico apresentado na ilustração 24, podemos observar que as baterias de Lítio são as baterias das quais conseguimos obter maior densidade de energia, as de lítio poliméricas são as que mais se destacam. Estes valores ainda estão longe dos desejáveis, como se pode ver na ilustração 25, que são os 600 Wh/kg.

Segundo a ilustração 25 conseguimos obter 460 Wh/dm³ a densidade de potência, com as baterias comercializadas actualmente, que já está próximo do ideal para início de comercialização.

Relativamente à potência específica, ainda faltarão cerca de 100 Wh/kg, para conseguirmos atingir os objectivos.

Parameter(Units) of fully burdened system	Minimum Goals for Long Term Commercialization	Long Term Goal
Power Density(W/L)	460	600
Specific Power – Discharge, 80% DOD/30 sec(W/kg)	300	400
Specific Power - Regen, 20% DOD/10 secW/kg	150	200
Energy Density - C/3 Discharge Rate(Wh/L)	230	300
Specific Energy - C/3 Discharge Rate(Wh/kg)	150	200
Specific Power/Specific Energy Ratio	2:1	2:1
Total Pack Size(kWh)	40	40
Life(Years)	10	10
Cycle Life - 80% DOD (Cycles)	1,000	1,000
Power & Capacity Degradation(% of rated spec)	20	20
Selling Price - 25,000 units @ 40 kWh(\$/kWh)	<150	100
Operating Environment(°C)	-40 to +50 20% Performance Loss (10% Desired)	-40 to +85
Normal Recharge Time	6 hours (4 hours Desired)	3 to 6 hours
High Rate Charge	20-70% SOC in <30 minutes @ 150W/kg (<20min @ 270W/kg Desired)	40-80% SOC in 15 minutes
Continuous discharge in 1 hour - No Failure(% of rated energy capacity)	75	75

Ilustração 25- Objectivos para baterias em veículos eléctricos (19)

De acordo com a ilustração anterior, será desejável ter a densidade de potência de 460 W/dm³ e potência específica de 300 W/kg, é de realçar o ciclo de vida de cerca de 10 anos, com tempos de carga entre 30 minutos e 6 horas.

Segundo as previsões da Toyota, apresentadas na seguinte ilustração existem diferentes tipos de baterias em desenvolvimento, sendo as baterias de Sakichi definidas pela Toyota como as baterias ideais. Para esse objectivo, a empresa está a trabalhar no desenvolvimento de novas soluções.

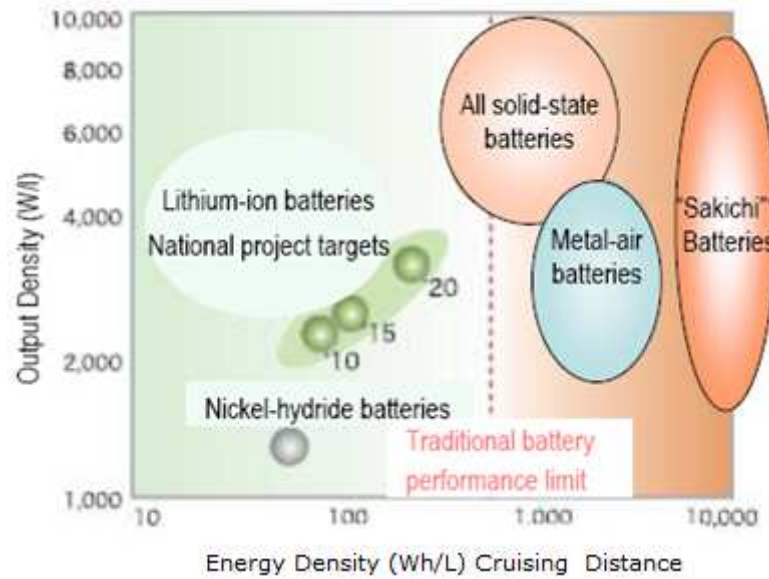


Ilustração 26- Baterias existentes e a desenvolver pela Toyota (5)

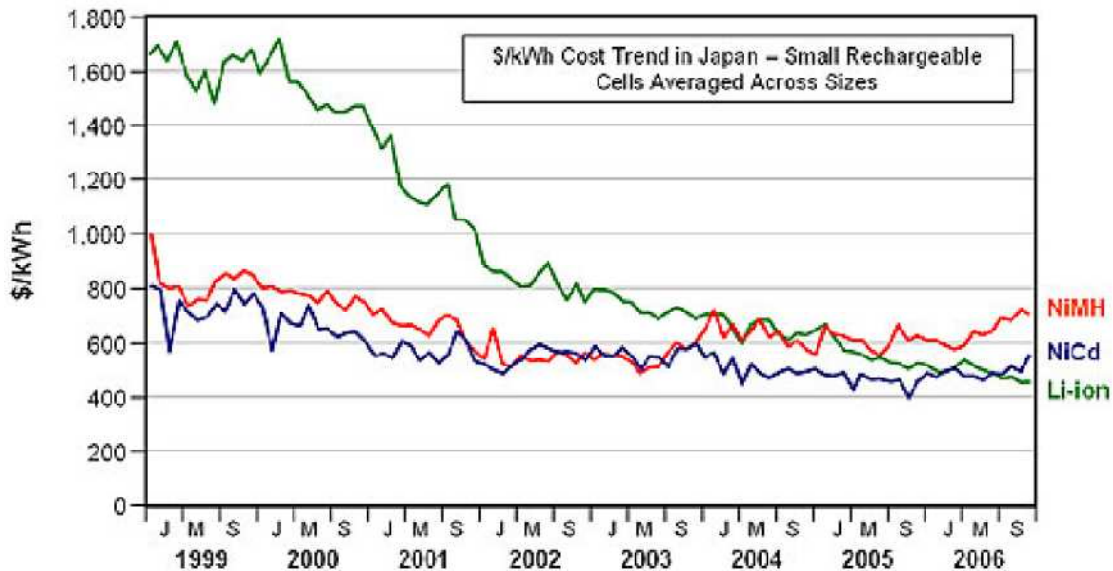


Ilustração 27- Evolução dos custos de baterias (19)

Na ilustração 27, podemos observar que as baterias de iões de Lítio em 2006 já estavam com um custo de produção inferior, às baterias de NiCd e NiMH. O que representa um grande avanço para a difusão deste tipo de baterias

2.1.4 Carregamento de baterias

A necessidade de reabastecimento das baterias é crucial, para manter a bateria em boas condições de funcionamento e evitar falhas.

Como visto anteriormente, o estado de descarga profunda na bateria acelera a processo de sulfatação provocando danos permanentes na bateria.

Quando o veículo precisa de carregar em diferente locais, onde não estão disponíveis postos de abastecimento. Será necessário ter no próprio veículo dispositivos que regulem a tensão e a corrente.

Exceptuando os painéis solares, a maior parte das fontes de abastecimento são em corrente alternada., pelo que será necessário existir um rectificador para a transformar em corrente contínua.

Um dos grandes problemas é a facilidade com que se poderá abastecer em locais públicos porque não existe normalização dos sistemas, para podermos realizar carregamentos seguros. Outro ponto importante é a equalização, que terá de ser feita em todas as baterias, em intervalos regulares, porque quando todos os elementos não recebem a mesma carga, iremos estar a criar desequilíbrios, tensões e cargas diferentes nos elementos.

No processo de carregamento, para otimizar a vida das baterias, estas deverão carregar no máximo 10-20% da sua capacidade nominal por hora (por exemplo, uma bateria de 100Ah deverá carregar um máximo de 20A por hora). O processo de carga das baterias não é linear, isto é, nas primeiras quatro horas a bateria carrega cerca de 80% da sua capacidade e nas três horas seguintes carrega os restantes 20%. Durante o ciclo de carga a tensão individual de cada elemento não será necessariamente igual, existindo pequenas diferenças. Estas diferenças podem ser colmatadas através da equalização da bateria, que deverá ser efectuada periodicamente e deverá ter uma duração entre 2 e 16 horas.

No anexo 14, existe uma descrição dos diferentes tipos de pilhas de combustível e suas características. Também no anexo 13 existe uma referência às baterias que estão em investigação as quais poderão alterar significativamente o desempenho das baterias actuais.

2.2 Ultra condensador

Os ultra-condensadores, também conhecidos como condensadores electroquímicos de dupla camada, têm características únicas quando em comparação com outros dispositivos de armazenamento de energia eléctrica. Os ultra-condensadores são capazes de cargas e descargas muito rápidas, e capazes de funcionar durante um grande número de ciclos sem degradação. Tendo uma ampla aplicação na indústria, em

processos onde são exigidos impulsos eléctricos de curta duração mas muitíssimo intensos.

Relativamente a esta tecnologia existem ultra-condensadores de carbono de dupla camada, que estão a ser considerados no desenvolvimento de veículos eléctricos, eléctricos híbridos e com pilhas de combustível.

O número de ciclos do ultra condensador, ronda os 500 000 ciclos quando aplicado em um veículo híbrido.

Um dos problemas que limitam os super condensadores, é terem tensões de funcionamento muito baixas 1 a 3 V. (7)

A “EESstor” afirma que os seus condensadores podem funcionar a tensões extremamente altas, na ordem de vários milhares de volts. Quanto à energia específica, os existentes super-condensadores comerciais, atingem aproximadamente os 10 Wh/kg. Os investigadores do “MIT” demonstraram que é possível atingir os 60 Wh/kg a curto prazo, enquanto a “EESstor” afirma que os seus exemplares atingem capacidades de 200 a 300 Wh/kg. Por comparação as baterias de iões de lítio são aproximadamente capazes de atingir 120 Wh/kg.

Adicionalmente, os super-condensadores oferecem densidades de potência muito maiores do que as baterias.

A densidade de potência combina a densidade de energia com a velocidade que a energia pode ser retirada do dispositivo, os condensadores podem ser carregados ou descarregados num intervalo de tempo que é limitado pela corrente que aquece os eléctrodos. A densidade de potencia é dez a cem vezes maior do que a das baterias.

São componentes altamente eficientes. A sua eficiência é maior do que 99% até em correntes muito altas, o que significa que pouca carga é perdida ao carregar e descarregar do ultra-condensador. São projectados com uma resistência interna em série equivalente muito baixa, o que permite também ser carregado e descarregado em curto intervalo de tempo.

Os valores de tensão não estão confinados a uma janela de tensão estreita, como nas baterias, (7) os ultra-condensadores funcionam sem a existência de reacções químicas, eles podem funcionar a diferentes temperaturas.

O mecanismo de armazenamento de energia de um ultra-condensador é um processo altamente reversível. Este move apenas iões, não cria nem quebra ligações químicas. Por isso, é capaz de centenas de, de milhares de ciclos completos. (7)

Fontes de alimentação, como baterias e pilhas de combustível não funcionam bem em condições transitórias. Para alguns componentes, os transitórios podem encurtar significativamente o seu tempo de vida. Adicionando um ultracondensador a essas fontes de alimentação reduz-se muito esses regimes transitórios da fonte principal, aumentando o numero de ciclos de vida.

3 Fontes de energia externa.

A aposta nos veículos eléctricos, traz novas necessidades externas ao próprio veículo.

Como a necessidade de uma infra-estrutura de carregamento, que suporte uma transição e desenvolvimento sustentável de uma frota automóvel totalmente não poluente.

Uma das propostas de utilização é apresentada no seguinte gráfico:

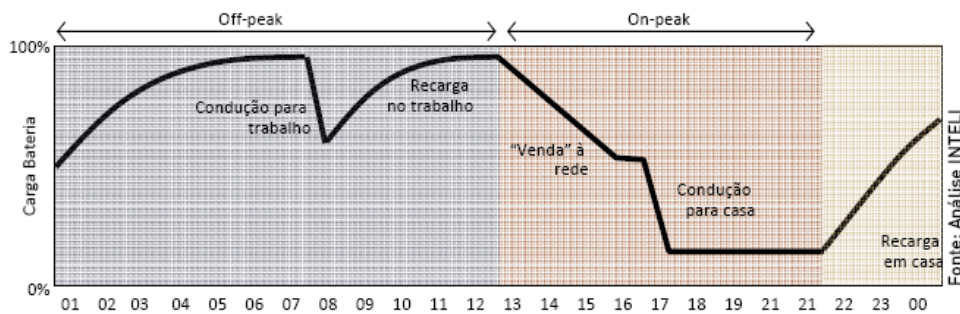


Ilustração 28- Ciclo de Utilização de Veículos Eléctricos (20)

Este modelo pode ser aplicado aos veículos, que são utilizados nos trajectos diários, de casa-trabalho, trabalho-casa.

Nesta ilustração podemos distinguir seis diferentes regimes:

- Das 7 as 8 horas a utilização das baterias de casa para o trabalho.
- Recarga das baterias no trabalho das 8 horas às 12:30 horas (Hora a partir do qual entramos no pico de consumos de energia eléctrica na rede)
- Das 12:30 até à hora de saída, o proprietário do veículo poderá vender energia eléctrica à rede se assim o desejar.
- Condução para casa durante 30 minutos.
- Recarga de baterias, em períodos em que o custo e consumos de energia eléctrica é reduzido.

A energia eléctrica armazenada nas baterias durante o dia, poderá abastecer a rede eléctrica, nos períodos de maior procura estabilizando as cargas de procura consumo na rede (quando existe volume significativo de veículos ligados à rede).

A emergência de novas lógicas de interacção bidireccional com os consumidores em larga escala, poderá reduzir as necessidades de produção e otimizar as redes existentes.

A nova rede eléctrica deverá ter uma grande abrangência, uma grande evolução tecnológica, bidireccionalidade consumidor produtor e standards de carga de baterias.

“Takao Kashiwagw”, apresentou no “*fórum ambiental da Toyota*” uma novas propostas para a próxima geração de infoestruturas de fornecimento e procura de energia eléctrica.

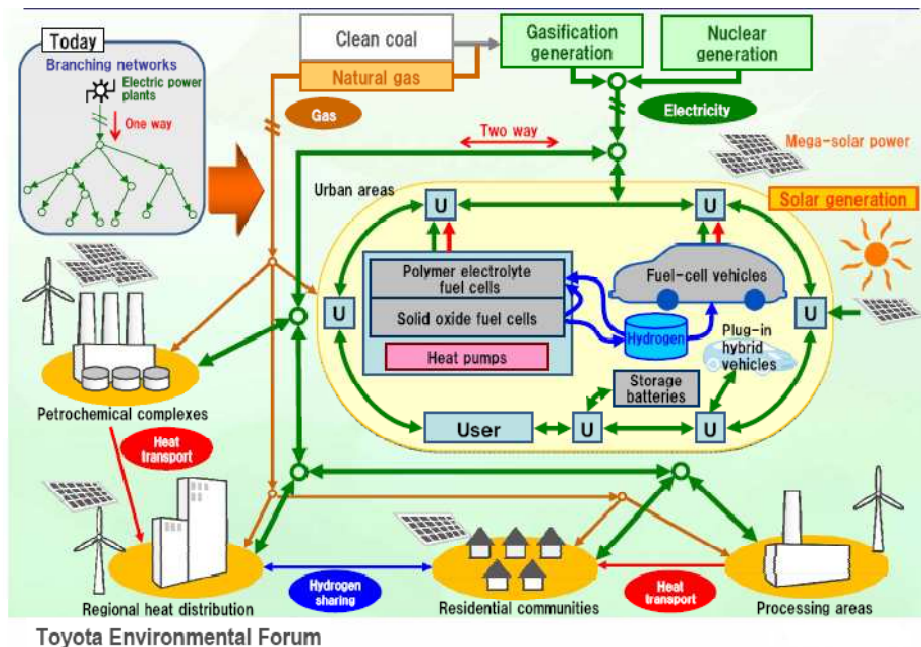


Ilustração 29- Infra-estrutura de fornecimento de Energia (21)

Actualmente a energia eléctrica flui da produção até ao consumidor final. Nesta nova perspectiva, existe a possibilidade de armazenarmos energia eléctrica sob a forma de hidrogénio e em baterias. Baseado na bidireccionalidade de energia entre consumidores. Esta nova filosofia está baseada nas energias limpas, como a solar, eólica nuclear e centrais a Gás.

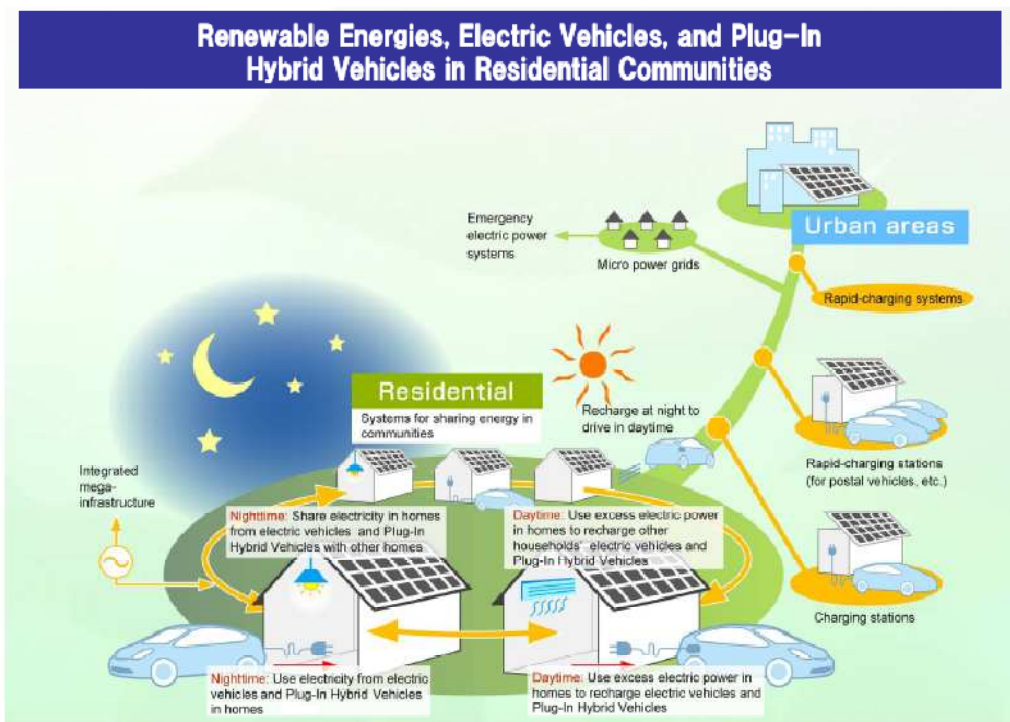
Aproveitando a rede de gás, existente e ampliando a mesma, será fonte de energia para abastecimento de complexos industriais, residenciais e centrais eléctricas.

As principais fontes de energia, serão as centrais termo eléctricas e nucleares, as fontes secundárias, que iram abastecer a rede serão os painéis foto voltaicos, os moinhos de vento, as pilhas de combustível, os veículos a pilhas de combustível e os veículos híbridos recarregáveis na tomada (Plug -in).

Relativamente aos painéis solares poderão existir centrais foto voltaicas, ou estarem instalados em complexos industriais, ou residenciais. Nos complexos industriais e residenciais, o excesso de energia poderá ser vendido à rede. Como mais à frente será referido, poderá ser importante também na produção de hidrogénio.

Relativamente às zonas urbanas, existe um circuito que é alimentado pelas centrais eléctricas, e produtores circundantes. Nesta rede existe mini centrais a pilhas de combustível que produzem hidrogénio e geram energia eléctrica. Os veículos a pilhas de combustível serão abastecidos por esse hidrogénio, mas geram também energia eléctrica para a rede. Sempre que existir excesso de potência eléctrica também pode ser enviada para os consumidores exteriores.

Nas comunidades residenciais, existe um sistema de partilha de energia, representado na seguinte ilustração.



Toyota Environmental Forum

Ilustração 30- Sistema residencial (21)

O processo é iniciado nos períodos em que a energia é mais barata, quando se carregam as baterias dos veículos eléctricos, ou produz hidrogénio, para vir a alimentar as pilhas de combustível.

Para ser possível a bidirecionalidade de potência, os veículos eléctricos e as redes terão de estar preparados para tal. Então surgiu um novo conceito, onde a potência eléctrica flui do veículo para a rede (“vehicle to grid”).

3.1.1 Potência eléctrica do veículo para a rede “V2G”

Este sistema é descrito, como sendo um sistema que vende energia eléctrica de um veículo eléctrico à rede, quando este está ligado a esta.

Em alternativa, quando o veículo tem as baterias completamente carregadas, o seu fluxo de potência pode ser invertida injectando electricidade na rede em horas de maior consumo, pode ser utilizado com veículos com ligação à rede (Plug-in). Dado que na sua maioria os veículos estão estacionados 95 por cento do tempo, sendo que as baterias poderão e utilizadas para alimentar a rede.

Como poderá funcionar?

Requisitos:

1. Ligações para ligar os veículos à rede.
2. Existência de sistemas que determinem a capacidade disponível da rede e desliguem quando as baterias têm a carga completa.
3. Ligação precisa para abastecer o veículo, sem variações de tensão.
4. Contador da energia transferida para o veículo.

A aplicação deste sistema, pode estar condicionada, pelo tipo de veículos existentes e pelo mercado de energia eléctrica.

Se não existirem veículos suficientes para abastecer a rede este sistema torna-se insustentável, sendo que os veículos eléctricos podem armazenar energia, sendo carregados durante horas de vazio quando a energia é mais barata e descarregado quando em horas de ponta onde a potência de rede é escassa e o preço é mais alto. A chave para o “V2G”, é o custo a que o veículo gera energia eléctrica.

Com esta filosofia os veículos, poderão ser carregados durante os intervalos de tempo em que há fraca procura de energia, e abastecer a rede durante a maior procura. Também as pilhas de combustível poderão gerar energia eléctrica a partir do hidrogénio, que é injectado directamente na rede.

O controlo da rede pode ser feito por rádio, telemóvel, internet ou pela linha de abastecimento, o sinal pode ir para cada veículo individualmente ou para todos ao mesmo tempo e o utilizador pode controlar o fluxo de potência do veículo.

3.1.1.1 Mercados de Energia Eléctrica.

A Energia Eléctrica é agrupada em diferentes mercados com diferentes regimes.

A potência mínima tem sido estudada em diversos mercados, e mostram que os veículos eléctricos não fornecem energia à rede a um preço competitivo, porque têm limitações ao nível do armazenamento e reduzidos ciclos de utilização da bateria.

3.1.1.2 Picos de potência

Os picos de potência são gerados, quando determinados níveis de consumo são atingidos.

Em alguns estudos, concluiu-se que o V2G pode ser importante para compensar picos de potência. Estes poderão ser de 3 a 5 horas para V2G, é possível mas difícil pelas limitações de armazenamento.

3.1.1.3 Reserva Girante

São reservas que podem gerar potência rapidamente, ou seja por exemplo, no caso de aumento de potência de geradores.

Estas reservas são importantes para auxiliar a rede, e aumentar a fiabilidade da mesma.

A filosofia V2G pode substituir as reservas abastecendo a rede em breves intervalos de tempo.

3.1.1.4 Regulação

Esta filosofia pode vir a ter um papel importante nos serviços de regulação, pelo facto de alguns mercados necessitarem mais do que um elemento de regulação, o principal será a capacidade para aumentar a potência para além da potência instalada.

Se, por exemplo, a potência requerida exceder a potência gerada, a tensão e a frequência caem. O que é muito prejudicial para muitos consumidores.

A regulação terá de ser feita automaticamente e os veículos poderão ser bons meios de regulação da rede.

A energia consumida na regulação é uma fracção da energia consumida.

Existem três factores que limitam a potência transferida numa rede V2G,

- A corrente transportada através dos cabos, e as ligações a construir da rede para os veículos.
- O armazenamento no veículo.
- A potência máxima das baterias.

Por exemplo nos EUA existem cerca de 176 milhões de veículos ligeiros, que no total dispõe uma potência de 19500 GW ou 19,5 TW que é 24 vezes superior potência eléctrica instalada.

Para a viabilidade da “V2G” são necessárias duas funções diferentes dos condutores dos veículos e do operador de rede.

O condutor necessita de energia suficiente no veículo para as suas necessidades, o operador de rede necessita de potência para abastecer os veículos num intervalo de tempo o mais reduzido possível.

Três estratégias, poderão resolver os entraves existentes:

1. Capacidade adicional de armazenamento nos veículos.
2. Dimensionar a rede para utilizações previstas.
3. Usar controlos inteligentes para as necessidades complementares.

Economicamente a razão pelo qual a V2G faz sentido é pelo facto de os sistemas de armazenamento estarem imobilizados 96% do tempo.

3.1.2 Carregadores de baterias

Os carregadores usados em baterias automóveis são variados, podem ser ligados directamente à rede ou interligados com a rede através de um transformador. Muitos dos carregadores são uma mera associação de um transformador com um conversor CA-CC, (corrente alternada corrente contínua) diferenciando-se pela tipologia e tipo de funcionamento destes conversores. (16)

Geralmente os veículos eléctricos têm um carregador série, em *swith mode* e alguns em ponte. (16)

Os carregadores têm de ser capazes de carregar baterias, otimizar a carga e diferenciar quando deve terminar a carga. (16)

3.1.2.1 Conversores

Os conversores têm como principal objectivo adaptar a tensão da fonte para a tensão da bateria. É importante falar destes conversores uma vez que se podem implementar carregadores que consistem apenas na associação de um rectificador com um conversor deste tipo.

Os conversores CC-CC mais importantes para a tracção são o redutor, elevador e o redutor elevador. (16)

3.1.2.2 Carregadores

Os carregadores de baterias podem apresentar muitas formas, mas geralmente são baseados nos seguintes carregadores elementares, na associação ou na associação com conversores CA-CC:

- Carregador ferro-ressonante
- Carregador em ponte
- Carregador SCR
- Carregador comutado “Switch mode”.

3.1.3 Postos de abastecimento

Relativamente aos pontos de abastecimento, considera-se três hipóteses:

1. Carregamento Lento de 4 horas
2. Carregamento rápido até 30 minutos
3. Troca de baterias, em postos de troca de baterias.

4.

Tabela 11- Postos de abastecimento eléctrico

Local	Carregamento Lento	Carregamento Rápido
Doméstico/ Empresarial	x	
Parques de estacionamento	x	x
Via Pública/ Rua	x	
Postos Abastecimento		x
Frotas	x	x

De acordo com a tabela acima apresentada, o carregamento lento poderá ser realizado em qualquer zona onde exista ligação à rede eléctrica. Nos postos de abastecimento não faz sentido porque o objectivo será ter carregamentos o mais rápido possível. Nos parques de estacionamento, e postos de abastecimento é indicado o carregamento rápido.

3.1.3.1 Carregamento Lento

Para carregamento lento existem diversas variantes. Existem os pontos de abastecimentos domésticos, os quais poderão ser trifásicos ou monofásicos. Com este sistema, como exemplificado na ilustração seguinte, os veículos deverão ter um carregador que fará a conversão e regulação de potência.

Muitos proprietários podem ter painéis foto voltaicos no telhado para abastecer o veículo, reduzindo assim as emissões de CO₂.

Actualmente em habitações e parques de estacionamento, normalmente não existem pontos de ligação à rede disponíveis.

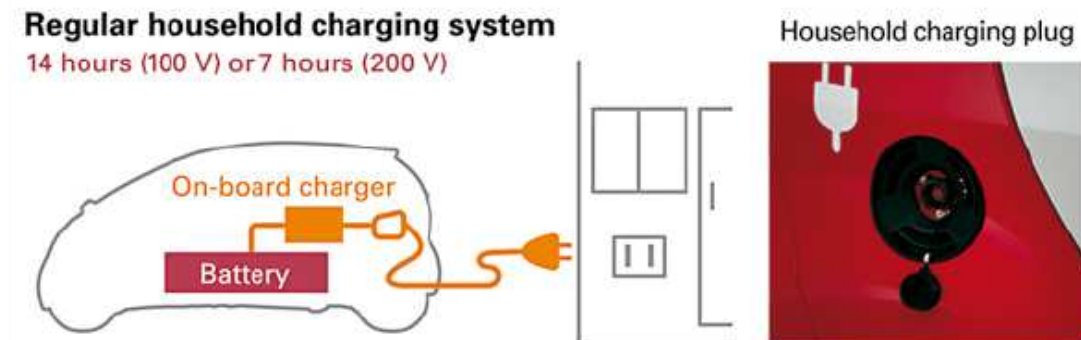


Ilustração 31- Ponto de Abastecimento em casa (6)

No exterior podemos ter os dois sistemas, pontos de abastecimento lento ou rápido.

Por exemplo a Electrobay, já tem disponível no mercado a seguinte solução:



Ilustração 32- Ponto de Abastecimento Electrobay (22)

Este posto de abastecimento lento funciona a 240 volts e 23 amperes para carregar o veículo, estando limitado a carregar um veículo de cada vez, demorando 3 horas em cada carregamento.

Este método vai ter a vantagem de não ser necessário estar em filas de espera para abastecer, sendo apenas necessário ligar a ficha do veículo à tomada e carregar em um botão.

Um dos principais inconvenientes para carregamento nestas estações é a lentidão. A maioria dos pontos de carregamento disponíveis hoje demoraria muito mais tempo para voltar a carregar as baterias do que para encher um depósito de um carro. Além disso, até a normalização de conectores se tornar plenamente implementado, os proprietários dos EV podem ter de transportar uma variedade de adaptadores para poder ligar a diferentes fornecedores. Na Europa já decorrem processos de normalização.

3.1.3.2 Carregamento Rápido.

Para carregamento rápido existe a solução rerepresentada na ilustração 33, onde a potência eléctrica flui directamente do posto de abastecimento para o veículo.

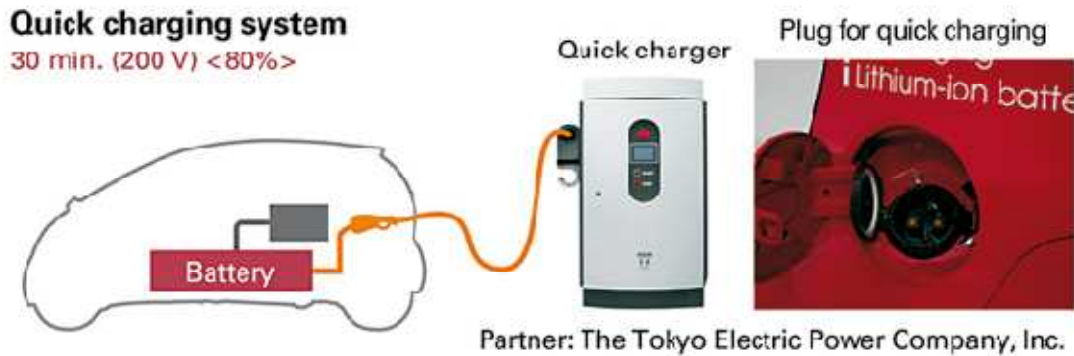


Ilustração 33- Ponto de Abastecimento rápido (6)

A “Tokyo Electric Power Company”, tem desenvolvido vários sistemas, no do Japão, abastecer os veículos com alimentação trifásica a tensão simples 200 V corrente máxima da 100 A, e potência máxima de 50 kW. Tem como autonomias:

- O carregamento em 5 minutos para a realização de 40 Km.
- Com 10 Minutos percorre 60 Km.

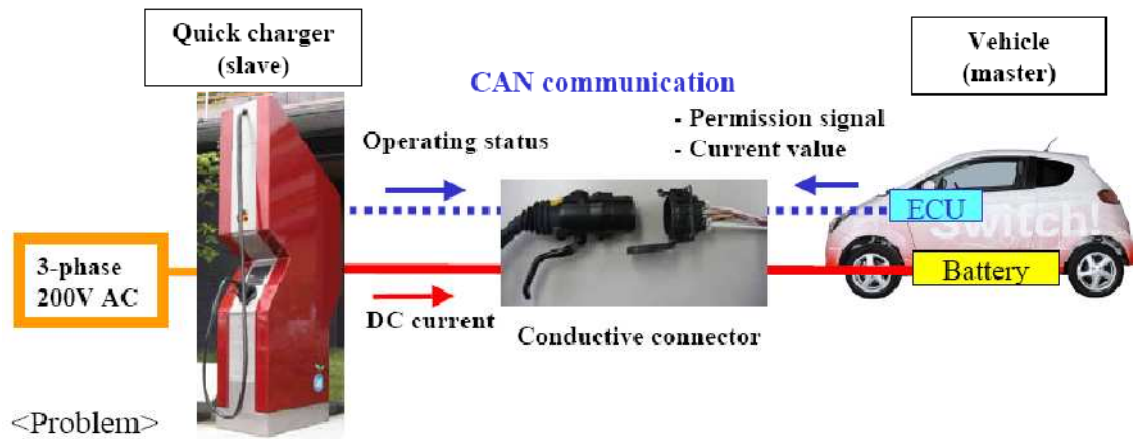


Ilustração 34- Posto de abastecimento rápido (23)

O posto de abastecimento, verifica o estado do carregamento, enquanto que o veículo envia o sinal de permissão para o mesmo.

Existem vários problemas com esta solução, nomeadamente a normalização, necessária para o uso publico, standadização da carga a aplicar ás baterias.

Uma das soluções poderá passar pelo veículo, que decidirá qual as necessidades de carga que terá, dependendo do tipo de bateria que estiver a ser carregada.

3.1.3.3 Pontos de abastecimento com troca de baterias

Relativamente aos postos de abastecimento com troca de baterias, este é um conceito frequentemente associados à “Better Place” uma empresa de infra-estruturas para EV. A grande vantagem desta solução é que, quando o automóvel precisa de mais energia, podemos dirigir-nos a uma estação (como uma lavagem automática), e a bateria que está descarregada é roboticamente substituída por uma que tem uma carga completa. Especula-se que os carros que a Renault está a construir com a “Better Place”, terão a capacidade de ter a sua fonte de alimentação e troca algo que também foi anunciado para o Tesla Model S. Actualmente, existem algumas instalações industriais que utilizam a troca de bateria para reabastecer com energia eléctrica os seus empilhadores

O principal benefício associado com a troca é a rapidez. Toda a operação poderia durar menos do que cinco minutos, praticamente o mesmo tempo que muitas pessoas gastam a encher o depósito de gasolina nas estações de serviço de hoje. Outra vantagem é não ter de sair do carro ou para lidar com potenciais emaranhados de cabos ou mangueiras sujas.

Um dos inconvenientes a considerar, pode ser a capitalização dos custos de construção destas estações onde terão de armazenar uma quantidade significativa de baterias. Alguns críticos também apontam os eventuais riscos de electrocussão e avaria no robô. A Padronização das baterias, a forma e a sua composição química é uma outra consideração a fazer. Só a Chrysler, por exemplo, poderá ter 3 diferentes formas de bateria nos próximos modelos.

3.1.3.4 Abastecimento em casa com Pilhas de Combustível

Para instalação de uma Pilha de Combustível numa habitação seria necessário, ter uma alimentação para a mesma. A solução pode passar pela rede de gás natural existente, pelo facto de esta poder funcionar a gás natural. Outros combustíveis também poderão ser utilizados, como o hidrogénio, metanol, gasolina, gasóleo etc....

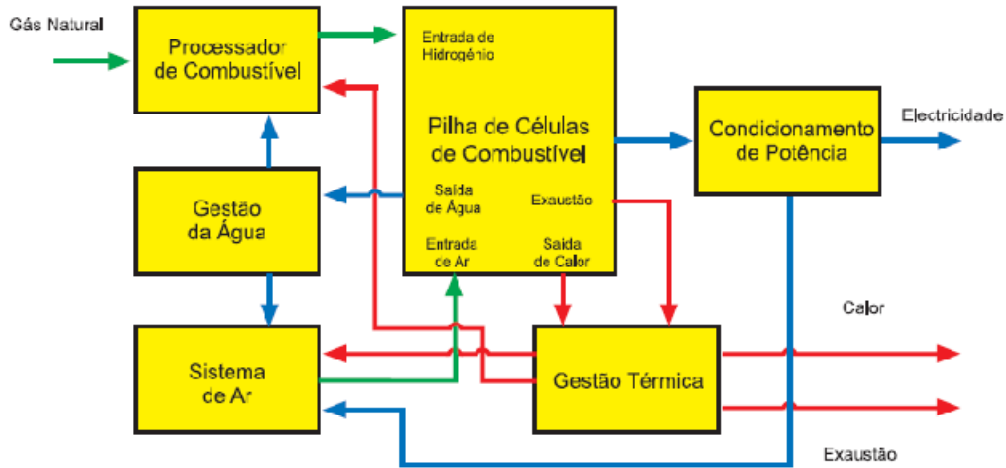


Ilustração 35- Modelo de aplicação de célula de combustível (24)

Na ilustração anterior, está representada uma pilha com capacidade de separar o hidrogénio do gás natural, para a produção combinada de energia eléctrica e calor.

As unidades já disponíveis produzem electricidade com rendimento entre 40 e 60 %, com emissões reduzidas e de forma silenciosa. Estão bem adaptadas ao mercado da produção de electricidade.

As pilhas de combustível libertam quantidades consideráveis de calor durante o seu funcionamento, a qual pode ser utilizado para a produção de água quente, vapor de água ou aquecimento.

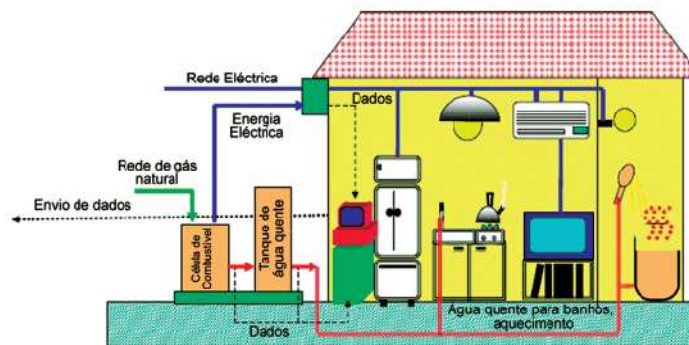


Ilustração 36- Sistema aplicado a uma moradia (24)



Ilustração 37- Modelo apresentado pela Honda (25)

Nesta ilustração está representada uma possível aplicação de pilhas de combustível, alimentadas a gás natural, em residências para produção combinada de energia eléctrica e de calor.

Este sistema combinado com a utilização de painéis solares foto voltaicos, e mini turbinas eólicas poderão produzir energia eléctrica, suficiente para abastecer uma moradia.

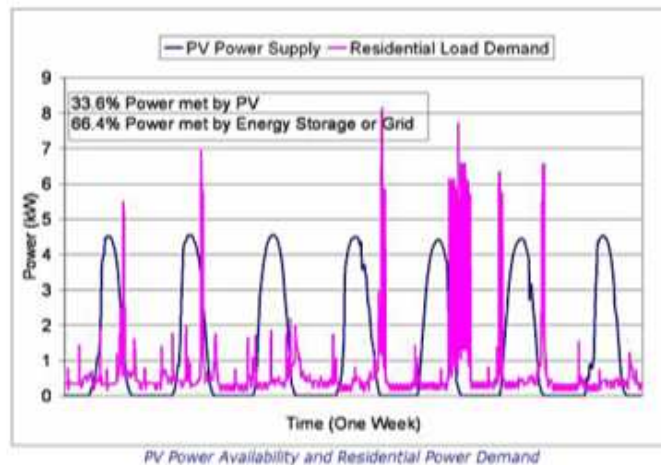


Ilustração 38- Disponibilidade de potência eléctrica numa residência

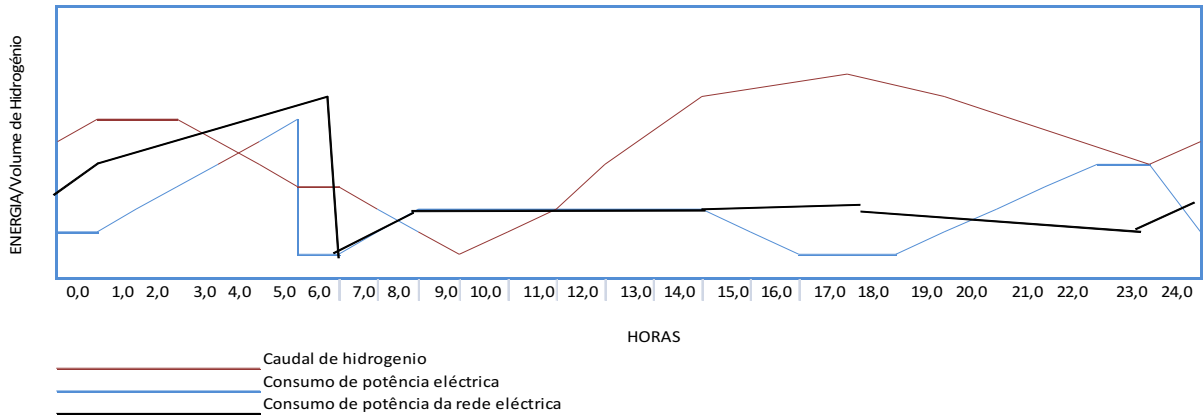


Ilustração 39- Consumo e produção de potência eléctrica foto voltaica diária

Baseado no gráfico de consumos, e potência eléctrica foto voltaica diária. Constrói-se um possível gráfico de consumo e produção de energia eléctrica, e consumo e produção de hidrogénio.

Dividindo então por fases o ciclo da seguinte forma.

Na primeira fase com início pela 6:30 h existirá um consumo de energia eléctrica, quando os utentes da habitação iniciam o dia, existindo um aumento de consumo até às 15 horas para climatização e normal funcionamento da habitação

Quando existir energia suficiente nos painéis foto voltaicos, dar-se-á o início da produção de hidrogénio na pilha de combustível através do processo de hidrólise da água. Durante esse intervalo de tempo a habitação terá de funcionar com energia da rede eléctrica, pelo facto de a pilha de combustível não conseguir produzir simultaneamente energia eléctrica e hidrogénio.

Após se atingir o ponto máximo de hidrogénio, dá-se o início à produção de energia eléctrica através do consumo de hidrogénio armazenado para alimentação da célula de combustível.

No final do dia quando o veículo eléctrico estiver ligado à habitação poderá alimentar também a habitação, com a energia restante das suas baterias, completando o ciclo de descarga da bateria (o que contribui para manter numero de ciclos da bateria e da quantidade de energia armazenada).

Quando entramos nos períodos de vazio da rede eléctrica, podemos aproveitar para aumentar as reservas de hidrogénio, e abastecer ao mesmo tempo o veículo eléctrico.

Podemos dividir em dois os períodos de funcionamento da pilha de combustível, dependendo da quantidade de hidrogénio armazenado e da altura do ano. Se estivermos

durante o inverno, a quantidade de hidrogénio pode não ser suficiente para carregar o veículo e alimentar a habitação, pelo que no período de vazio a pilha de combustível é aproveitada para produzir hidrogénio. Nos intervalos de tempo durante os quais a energia solar é abundante, a pilha de combustível é utilizada para alimentar o veículo.

Este ciclo complementa o ciclo apresentado no início do capítulo, sendo a sua fundamentação um trabalho interessante para novas investigações.

No anexo 6 é feita uma breve descrição das principais fontes renováveis de energia externa.

4 Propulsão eléctrica

O sistema de propulsão eléctrica consiste num sistema formado pelo motor, um conversor de potência e controlos electrónicos.

Os requisitos para o sistema de propulsão são os seguintes:

- Potência instantânea elevada e densidade de potência elevada.
- Elevado binário a velocidade reduzida e em subidas e elevada potência em elevadas velocidades.
- Resposta rápida.
- Elevado rendimento em diferentes gamas de velocidade e binário.
- Elevado rendimento na recuperação de energia cinética durante a desaceleração.
- Alta fiabilidade e robustez.
- Custos razoáveis.

O desenvolvimento dos sistemas de propulsão eléctrica está baseado no crescimento de tecnologias associadas a motores eléctricos, electrónica de potência, microelectrónica e estratégias de controlo.

A ilustração seguinte mostra uma vista geral de um destes sistemas:

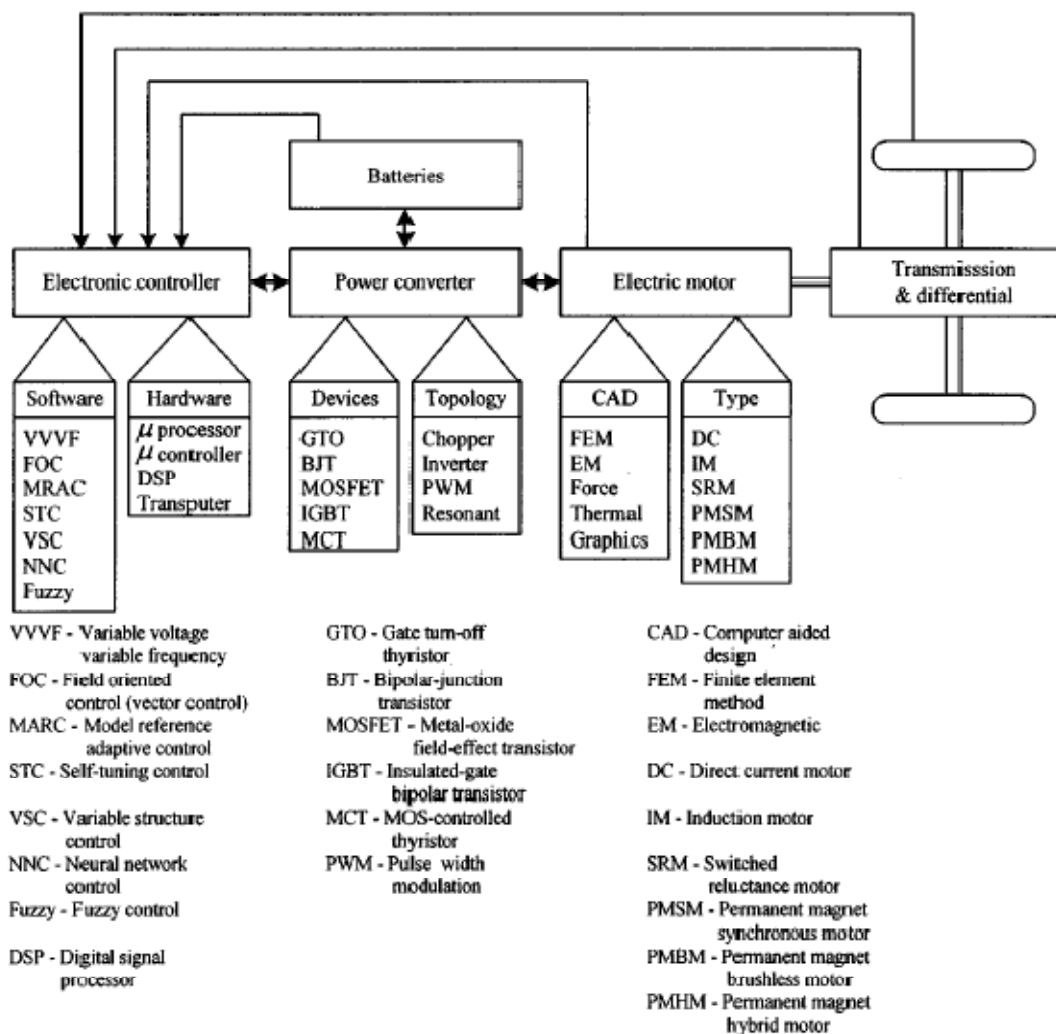


Ilustração 40- Exemplo de Sistema de Propulsão (C. C. CHAN, 2001)

Baixo ruído e variação de binário são considerações importantes para o projecto deste sistema. No ciclo urbano, os motores operam normalmente a baixa carga pelo que terá de ser dimensionado para operar com a máxima rendimento e mínimo ruído nessas condições.

A ilustração seguinte mostra os requisitos de binário e potência em função da velocidade para veículos de tracção eléctrica (26)

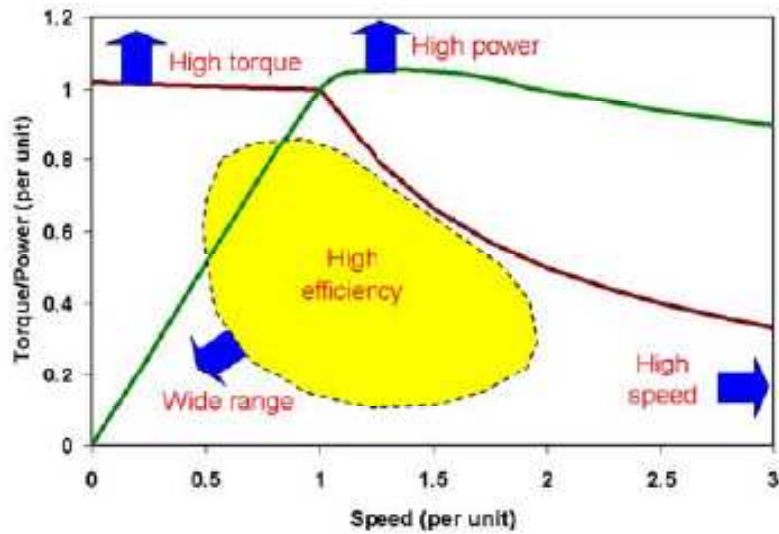


Ilustração 41- Potência e binário requeridos para a tracção eléctrica (26)

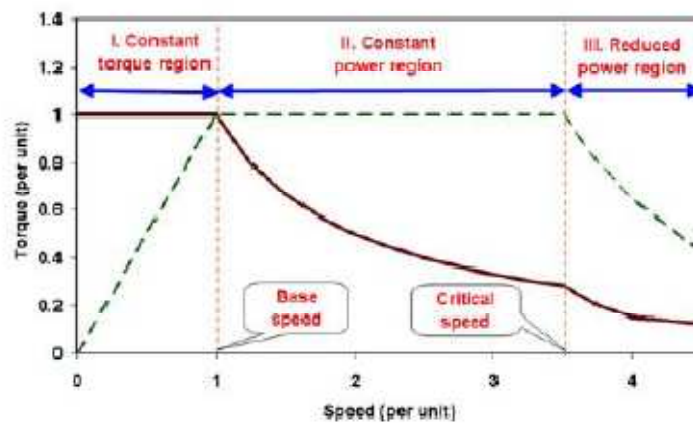


Ilustração 42- Características ideais de binário/ potência - velocidade (26)

Na zona de binário constante, o binário máximo é determinado pela corrente do inversor e motor, enquanto na zona 2, o enfraquecimento de fluxo magnético ou o avanço de fase da comutação tem de ser utilizado devido à tensão do inversor e aos limites de corrente actuais. Na zona 3 existe a diminuição de binário e potencia devido ao aumento da força contra-electromotriz. (3)

Os principais tipos de motores eléctricos adoptados por veículos eléctricos são o motor de corrente contínua (DCM), o motor de indução ou assíncrono (IM), o motor síncrono de magnetos permanentes (PMSM) e o motor de relutância comutado (SRM) (3).

Os motores de corrente contínua têm sido utilizados nos sistemas de propulsão eléctrica, pelo facto de ter boas características de binário e velocidade requeridos na tracção sendo que o controlo de velocidade é simples. Contudo este tipo de motor tem um comutador e colector que requer manutenção regularmente.

Recentemente têm sido desenvolvidos colectores com alto rendimento, alta densidade de potência, baixo custo de funcionamento, melhor fiabilidade e sem necessidade de manutenção, ou seja torna este tipo de motor muito atractivo.

Os motores assíncronos ou de indução, não necessitam de colectores sendo uma tecnologia madura com elevada fiabilidade e sem necessitada de manutenção, tem sido utilizada em EV. (3)

Os motores de magnetos permanentes são importantes porque utilizam os magnetos permanentes para produzir campo magnético, logo têm elevada eficiência e elevada densidade de potência pode ser atingida.

O motor de relutância comutado é um motor simples e de construção robusta tendo nas características o seu potencial. (3)

4.1.1 Tipos de Motores

4.1.1.1 Motor de corrente contínua (DCM)

A maquina eléctrica de corrente continua foi a primeira a ser utilizada industrialmente, pelo facto de no inicio a distribuição eléctrica e de grandes potências ser feita em corrente continua.

Actualmente, existem diferentes tipos de motores de corrente contínua, vão desde os pequenos motores, até aos convencionais utilizados em accionamentos industriais, com potências que podem chegar às centenas de kW.

Esta máquina eléctrica tem como principal característica o controlo preciso e amplos limites de velocidades. Sendo a sua regulação realizada com controladores electrónicos.

Tem como grande desvantagem o seu custo elevado comparativamente com motores de corrente alternada para a mesma potência, uma maior manutenção e o facto de os seus enrolamentos não poderem ser alimentados directamente por corrente alternada.

Apesar da característica binário-velocidade do motor de corrente contínua cumprir as exigências de tracção eléctrica, ilustração 43, este motor apresenta uma

construção volumosa, baixo rendimento e fiabilidade, elevada necessidade de manutenção devido à utilização de escovas que se deterioram com o funcionamento, e o custo e debilidade do colector utilizado (27)

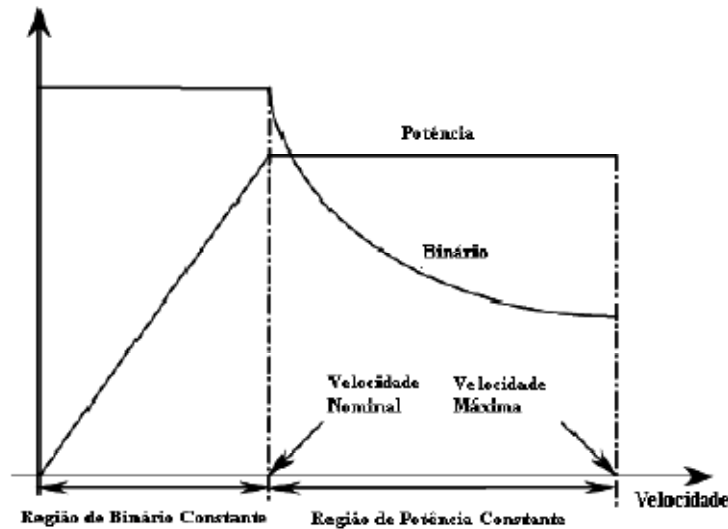


Ilustração 43- Requisitos de tracção eléctrica (27)

Na aplicação em veículos eléctricos recorre-se ao uso de motores com quatro pólos, utilizando enrolamentos em detrimento de magnetos permanentes, de modo a obter um campo magnético, que possibilite ao motor desenvolver uma potência da ordem das dezenas de kW, necessário ao funcionamento de um veículo ligeiro. O controlo electrónico do campo magnético do estator, combinado com o controlo electrónico da corrente no enrolamento do rotor, permite o fácil ajuste da velocidade e binário do motor, durante a operação do veículo (28).

A utilização de enrolamentos indutores permite operar o motor de corrente contínua como um gerador no modo regenerativo de energia, no qual a energia mecânica não dissipada na travagem na desaceleração ou em descidas é aproveitada para carregar a bateria (28).

Os recentes desenvolvimentos da electrónica de potência, possibilitaram a implementação prática de motores de corrente contínua sem colectores (4).

Estes motores são chamados de motores de corrente contínua sem escovas (BLDC Motor) sendo uma máquina eléctrica em que a operação de comutação, é realizada mecanicamente pelo colector no motor de CC, é aqui efectuada por um comutadores electrónico, daí este tipo de motor na possuir colector nem escovas (29).

Também porque possuem um rotor mais leve, constituído por ímanes permanentes, a respectiva inércia, comparada com rotores em núcleo de ferro, é menor. Isto melhora as características de aceleração, de travagem e a eficiência energética. (29)

A necessidade de um controlador electrónico para funcionarem é a sua desvantagem, uma vez que aumenta o seu custo. (29)

Apresenta manutenção reduzida, um funcionamento silencioso, bom rendimento, vida útil longa, uma gama extensa de velocidades, devido ao facto de não possuírem escovas, um desgaste mecânico reduzido e interferências electromagnéticas muito baixas. (29)

Devido ao custo dos elementos de electrónica de potência, os motores de corrente alternada são utilizados para potências elevadas, sendo os motores de corrente contínua, uma alternativa para potências mais baixas (27)

4.1.1.2 Motor de indução ou assíncrono (IM)

Enquanto nos motores convencionais de corrente continua o estator e o rotor necessitam de alimentação, nos motores assíncronos só o estator é alimentado, o rotor recebe energia por indução, daí, estes motores se designarem por motores de indução. Sendo uma máquina robusta, de construção simples, de rendimento elevado, de baixa manutenção, facilmente colocada em serviço, mais barata comparada com outras e com binário de arranque que atende à maioria das aplicações. (28)

O motor de indução é atraente para aplicação em veículos eléctricos, visto apresentar construção simples, custo razoável, robustez, capacidade de operação em ambientes adversos, e reduzida manutenção devido à ausência de escovas. Apresenta igualmente a capacidade de gerar velocidades mais elevadas que os motores de corrente contínua, e sendo a potência ao veio do motor proporcional ao produto do binário pela velocidade de rotação, torna-se possível reduzir o peso e o tamanho, recorrendo a uma adequada caixa de velocidades. Na ilustração seguinte representam-se diversas características do motor de indução, em função da velocidade, procedendo a uma variação na frequência de alimentação. (28)

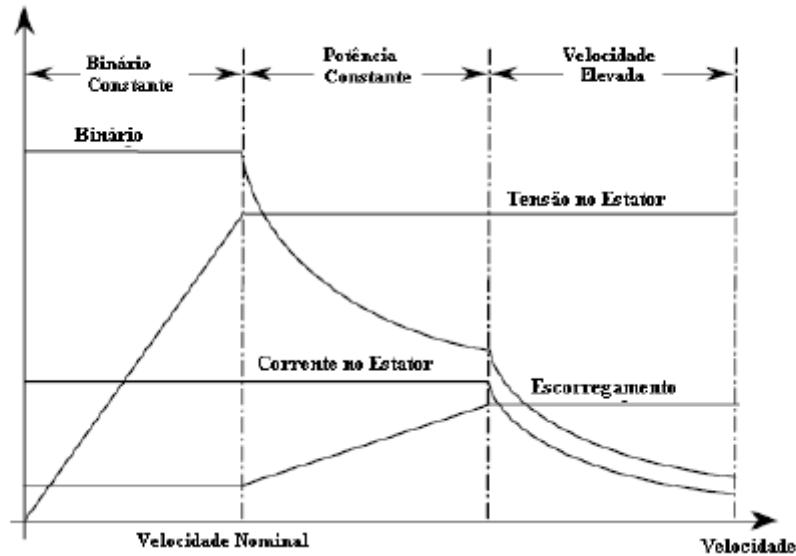


Ilustração 44- Características do motor de Indução com variador de frequência (Granadeiro, 2009)

De modo a melhorar a desempenho dinâmico do motor de indução para aplicação em veículos eléctricos, existem diversos métodos de controlo que alteram a frequência, permitindo ampliar a gama de velocidade para cerca de 4 vezes relativamente à velocidade nominal, apesar da diminuição de rendimento na gama de velocidade elevada (4).

A extensão da gama de velocidade com potência constante para além da velocidade nominal é acompanhada de atenuação de fluxo, visto não ser possível aumentar a tensão de alimentação para além do seu valor nominal. Contudo, a existência de um decaimento do binário limita a extensão da gama de potência constante, sendo atingido o binário mínimo para a velocidade crítica.

O motor de indução tem como desvantagens:

- Perdas elevadas devido à utilização de enrolamentos no estator.
- Reduzido factor de potência e factor de utilização do conversor, sendo estas mais críticas para velocidades elevadas (28).

4.1.1.3 Motor síncrono de magnetos permanentes (PMSM)

O motor síncrono de magnetos permanentes é um tipo de motor síncrono em que os enrolamentos do estator são idênticos aos do motor de indução.

O rotor é constituído por magnetos permanentes, que irão gerar pólos magnéticos que rodam sincronamente. Não havendo enrolamentos no rotor, são aí inexistentes as perdas de energia por efeito de Joule, contribuindo para um aumento de rendimento comparativamente ao motor de indução. Este motor tem as seguintes características:

- O campo magnético excitado por magnetos permanentes de elevado produto energético, possibilita a redução do peso e volume total do motor para uma dada potência de saída, contribuindo para uma elevada densidade de potência (4).
- A fiabilidade do motor síncrono de magnetos permanentes é elevada, visto que a sua excitação não apresenta risco de dano mecânico, defeitos ou sobreaquecimento.
- A dissipação de calor é realizada de modo mais eficiente neste motor, visto ocorrer principalmente no estator.
- Este tipo de motores apresenta fluxo magnético constante, ausência de escovas e estrutura simples.
- No entanto, apresenta uma zona de potência constante reduzida, como mostra a figura seguinte

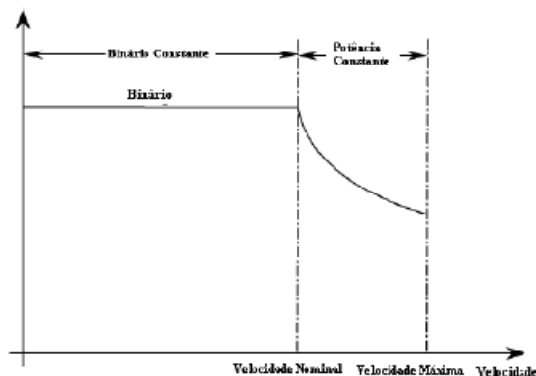


Ilustração 45- Característica Binário-Velocidade do motor de magnetos permanentes (28)

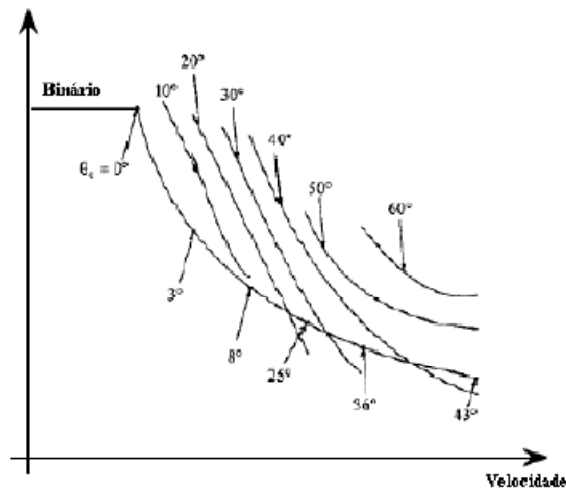


Ilustração 46- Características Binários Velocidade do motor de magnetos permanentes com controlo (27)

Como desvantagens deste motor, tem-se o considerável custo do material magnético permanente, e a possibilidade de desmagnetização deste.

O motor síncrono de magnetos permanentes é o motor com maior capacidade de competir com o motor de indução, em sistemas de propulsão para veículos eléctricos (27).

4.1.1.4 Motor de relutância comutado (SRM)

O motor de relutância comutado é considerado um tipo especial de motor síncrono, sendo a sua operação dependente da disponibilidade de elementos de electrónica de potência adequados. A principal diferença entre o motor síncrono convencional e este motor consiste no facto de o estator possuir pólos salientes, nas quais os enrolamentos de cada pólo são conectados em série, com os enrolamentos do pólo oposto. O rotor é concebido de modo a ter um número de pólos salientes inferior ao do estator, não possuindo magnetos permanentes ou enrolamentos (27).

Sendo também conhecidos por motores de relutância variável (VRM), apresentam:

- Construção simples.
- Binário elevado.
- Necessitam de um controlador electrónico para funcionarem (29).

O motor é impulsionado sincronamente, alimentando sequencialmente os pares de pólos opostos do estator, recorrendo ao controlo através de um sensor de posição do rotor.

O par de pólos do rotor que se encontra mais próximo dos referidos pólos do estator, tende a deslocar-se em direcção a estes, de modo a que o circuito magnético reduza a relutância e maximize o fluxo magnético. Para velocidades abaixo da velocidade nominal, este motor proporciona o máximo binário disponível, sendo que a velocidades superiores, a corrente nos enrolamentos do estator não se mantém no seu máximo, sendo limitada pelo tempo disponível para aplicação da máxima tensão de funcionamento, diminuindo o binário com o aumento da velocidade (27)

Devido à simplicidade do rotor e à eficiência do princípio de funcionamento, este motor consegue melhorias de fiabilidade, flexibilidade, volume, e potência por unidade de peso (28). O motor de relutância comutado apresenta igualmente como vantagens:

- A simplicidade de construção (apesar de design e controlo complicados)
- Baixo custo de produção
- Característica binário-velocidade ideal para aplicação em veículos eléctricos
- Possuindo uma gama de potência constante relativamente alargada

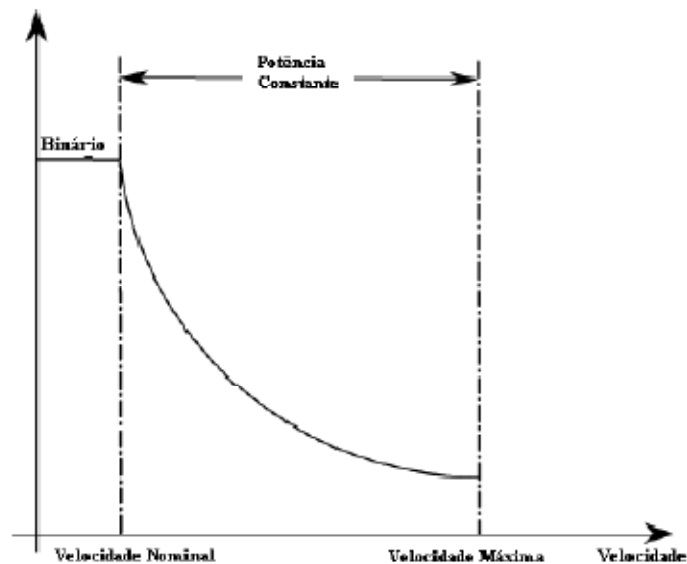


Ilustração 47- Características de binário – Velocidade (Granadeiro, 2009)

No entanto, este motor possui ondulação no binário a baixas velocidades, traduzindo-se em problemas de ruído, podendo este problema ser resolvido controlando a forma dos impulsos de corrente em cada enrolamento de pares de pólos do estator.

Recentemente foi desenvolvido um modelo ideal aproximado do motor de relutância comutado, utilizando análise de elementos finitos, de modo a minimizar as

perdas totais do motor. Foi desenvolvido igualmente um método de controlo Fuzzy do escorregamento de modo a compensar as não linearidades do motor (4)

4.1.2 Dispositivos de Comutação

A tensão de todas as fontes de energia eléctrica varia com o tempo, temperatura e muitos outros factores.

A tensão nas baterias normalmente é bem regulada, nas pilhas de combustível tal já não acontece, em utilização temos a necessidade de ter tensões com valores superiores e inferiores, geralmente para controlar velocidades de rotação do motor. Como por exemplo o motor eléctrico ao ser utilizado em desaceleração regenerativa é necessário elevar a tensão. (Larminie, 2003)

A maioria dos equipamentos electricos e electronicos exige uma tensão constante. Isso pode ser atingido pela queda de tensão até um valor fixo abaixo da faixa de operação da pilha de combustível ou bateria, ou aumentando para um valor fixo. (1)

4.1.3 Onduladores

Os motores mais utilizados nos veículos eléctricos são os motores trifásicos. Que funcionam com corrente alternada. As fontes de armazenamento de energia são dispositivos que disponibilizam corrente contínua, ou seja o circuito de onduladores convertem em corrente alternada a corrente disponibilizada pelas fontes de armazenamento ao motor.

Para os motores trifásicos, que possuem três fases cada um com várias bobines (ou seja motores assíncronos trifásicos). Necessitam de três circuitos de conversão para cada fase como está esquematizado na seguinte ilustração:

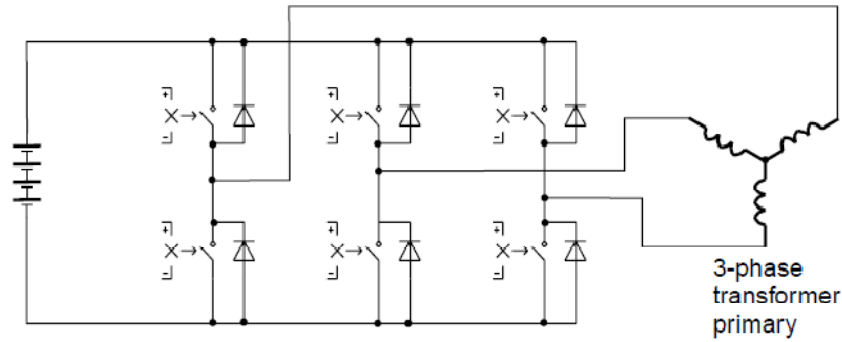


Ilustração 48- Circuito do conversor Trifásico (7)

4.1.4 Comparação de Sistemas de Propulsão Eléctrica

Comparando os sistemas de propulsão eléctrica analisados, o motor de indução e o motor síncrono de magnetos permanentes são, presentemente, os sistemas de propulsão eléctrica mais adequados à aplicação em veículos eléctricos.

A escolha do motor eléctrico a empregar é principalmente dependente do rendimento, peso, e custo do conjunto completo do sistema de propulsão.

Os conversores para motores de corrente contínua são mais baratos dos que os utilizados pelos motores de corrente alternada, sendo a diferença de custo função da complexidade da electrónica de potência inerente. A referida diferença tem sido progressivamente reduzida com o progresso tecnológico, possibilitando a exploração do grande rendimento e diminuindo o tamanho dos motores de corrente alternada.

	Peso (% do PMSM)		Rendimento (%)			Custo (% do DCM em 1993)		
	Motor	Motor e Electrónica	Motor	Electrónica	Motor e Electrónica	1993	1998	2003
DCM	400	450	80	98	78	100	105	110
IM	200	300	90	93	84	100	90	80
PMSM	100	200	97	93	90	150	90	60
SRM	150	250	94	90	85	150	90	70

Ilustração 49- Análise do Peso, Rendimento e Custo de Motores Eléctricos (3)

Todos os motores eléctricos analisados possuem a capacidade de funcionarem como geradores, possibilitando o aproveitamento para carregar a bateria da energia regenerativa não dissipada na travagem do veículo.

Esta energia deverá ser aplicada a toda a gama de operação do veículo, sendo os travões mecânicos utilizados apenas como auxiliar de segurança. Em termos energéticos, torna-se difícil recuperar muito mais do que cerca de 10 a 15 % da energia total utilizada na propulsão do veículo, recorrendo à desaceleração regenerativa.

O desenvolvimento de motores eléctricos num futuro próximo, encontra-se limitado à redução de custos, peso e volume, assim como ao aumento do rendimento das tecnologias existentes, sendo pouco provável o desenvolvimento, nos próximos 20 anos, de um novo tipo de motores eléctricos para aplicação em veículos eléctricos.

Os motores de corrente alternada continuarão a dominar, devido particularmente à integração e redução de custo dos sistemas de controlo electrónico. A utilização de motores de corrente contínua associados a sistemas de controlo simples poderá vingar em veículos eléctricos de baixo custo, pois é este um mercado muito reduzido comparativamente à vasta utilização de motores de corrente alternada.

O peso e o tamanho do motor são importantes na concepção de um veículo eléctrico. O motor de corrente alternada cumpre tais requisitos, sendo pequeno, leve, e suficientemente potente para aplicação directa às rodas do veículo, tornando possível a implementação do denominado sistema de accionamento directo.

O motor de indução tal como o motor síncrono de magnetos permanentes continuarão a ser largamente utilizados por algum tempo, devido à sua simplicidade de construção, custo razoável, e reduzida necessidade de manutenção. Ainda incerto é o facto do desenvolvimento no motor de relutância comutado revelar melhoramentos ao nível da potência de saída, peso, volume, fiabilidade, variação de binário, e ruído, de modo a tornar-se uma forte aposta para aplicação nos veículos eléctricos.

4.1.4.1 Sistema de recuperação de energia cinética na desaceleração

Quando o veículo acelera ou mantém constante a sua velocidade, a potência requerida aumenta, o que significa que a bateria está a alimentar o motor eléctrico. (30) Como mostra ilustração 50.

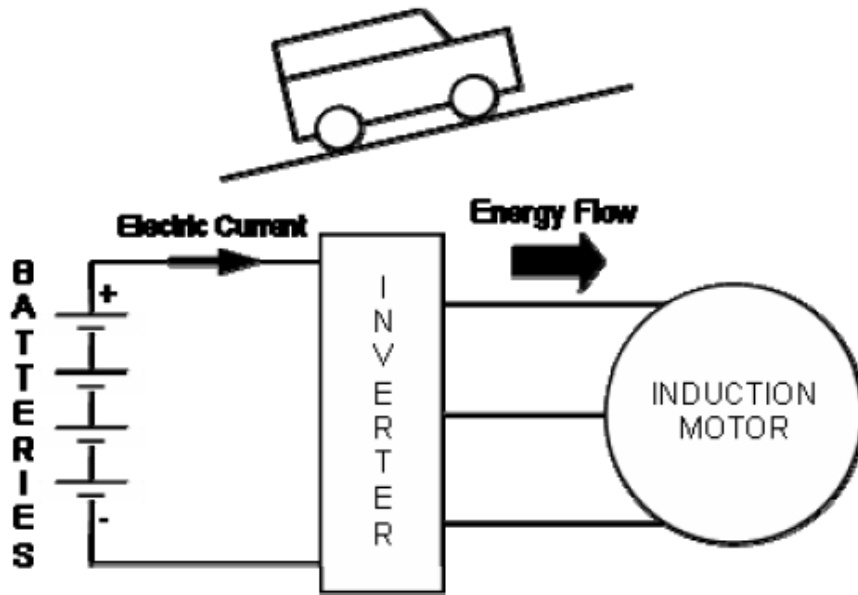


Ilustração 50- Veículo em aceleração ou velocidade constante (30)

Enquanto que ao desacelerar, a potência eléctrica gerada pelo motor volta para a bateria como indicado na ilustração 51.

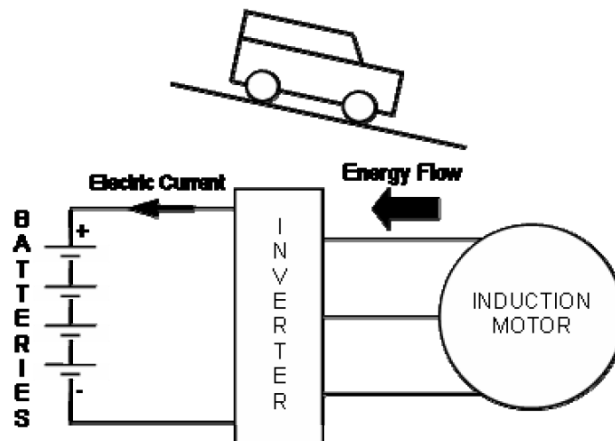


Ilustração 51- Veículo a desacelerar numa descida

A potência eléctrica gerada na travagem, é muito elevada gerando picos de tensão elevados. As baterias poderão não conseguir absorver toda a potência gerada, então é necessário utilizar condensadores e ultra condensadores para absorver alguma dessa potência.

O uso da inércia dos veículos é a chave para aproveitar a energia cinética gerada durante a desaceleração.

O controlo do motor eléctrico é feito pelo ondulador (Inverter), permitindo que o motor funcione nos quatro quadrantes de Binário e rotação (RPM) como indica a ilustração seguinte.

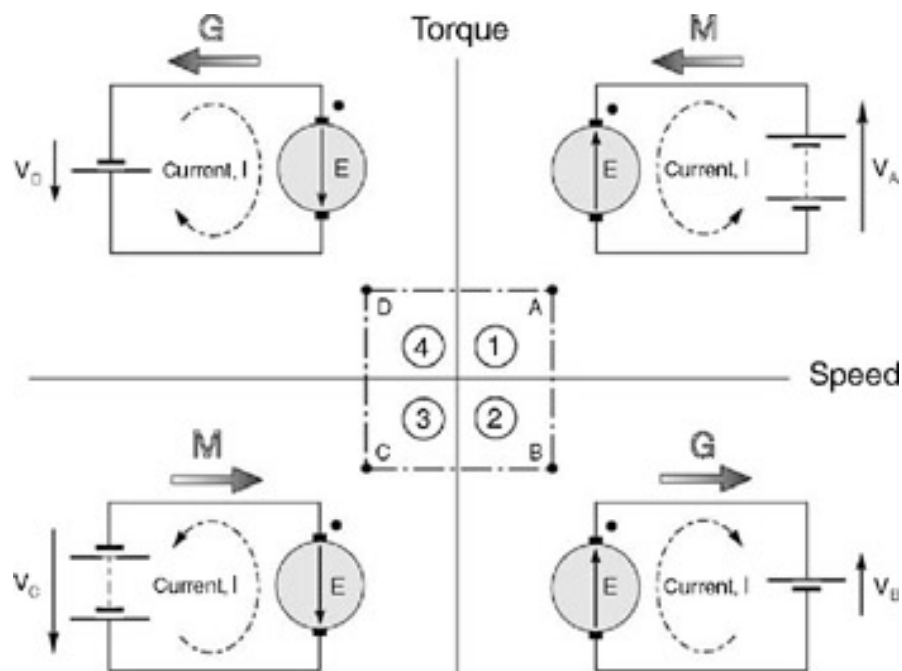


Ilustração 52- Funcionamento da máquina eléctrica funcionando nos quatro quadrantes (31)

No primeiro e terceiro quadrante com binário positivo e rotação positiva ou negativa a máquina eléctrica está a funcionar como motor eléctrico, propulsionando o veículo no sentido positivo ou negativo do seu movimento.

No segundo e quartos quadrantes a máquina eléctrica está a funcionar como gerador eléctrico, carregando a bateria.

Como referido anteriormente, a bateria não consegue absorver a potência eléctrica gerada pelo gerador na travagem, pelo facto de esta ser muito elevada. Então parte desta energia terá de ser dissipada através de travagem dinâmica. Esta travagem tem a função de proteger o ondulator, baterias e circuitos eléctricos da alta potência e consequente elevada tensão gerada durante a desaceleração.

A travagem dinâmica consiste em inserir uma resistência em paralelo com ondulator, evitando que a tensão atinja valores elevados, como representado na ilustração seguinte.

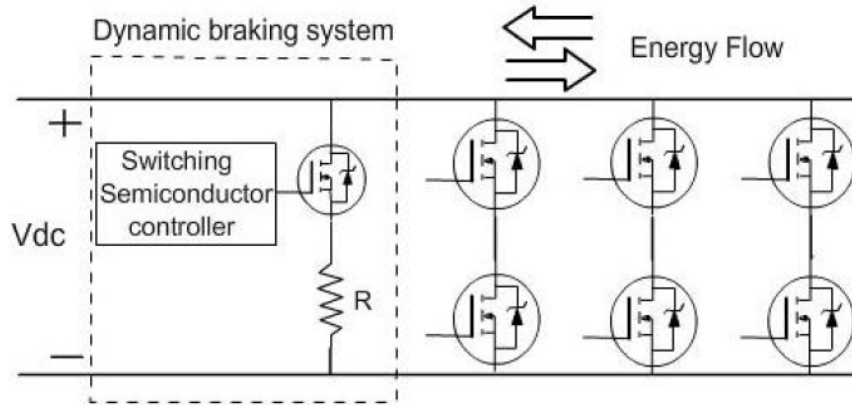


Ilustração 53- Reapresentação da travagem dinâmica (30)

A ideia por detrás da travagem dinâmica é a dissipação de potência eléctrica através da resistência, baixando a tensão que poderia danificar as baterias, ondulator e circuitos eléctricos

5 Simulação

5.1 Dimensionamento e simulação de veículos eléctricos

Para o correcto dimensionamento de um veículo, teremos de conhecer as suas características e a forma como se relacionam entre elas (anexo 15).

O recente paradigma energético alterou a forma como os utilizadores olham para o seu automóvel do dia-a-dia. Nos últimos anos tem colocado no mercado diferentes tipos de veículos. Onde os fabricantes têm privilegiado a redução de consumos de combustível, e a eficiência energética. Por este facto a autonomia, consumos, eficiência dos veículos são factores preponderantes na compra de veículos.

O veículo eléctrico tem um elevado potencial para satisfazer as necessidades de diferentes tipos de utilizadores, algo que é demonstrado na simulação apresentada.

Actualmente um possível comprador de um veículo eléctrico pergunta:” Qual a autonomia, custo e vida útil do veículo? “

Os computadores ajudam-nos a calcular essa optimização com alguma facilidade e fiabilidade. Os métodos utilizados mostram rapidamente as características dos veículos, nomeadamente consumos, potência no motor, tipo de baterias, dimensões e peso que irão influenciar as suas performances.

Para esta simulação utilizou-se o programa de simulação numérica MATLAB, utilizando programas desenvolvidos na referência bibliográfica (32), onde a principais características em estudo são a autonomia e desempenho do veículo.

Com este estudo é possível fazer a optimização e comparação dos diferentes sistemas e subsistemas dos veículos, mas também identificar a influência de algumas características no desempenho do veículo.

5.1.1 Análise

5.1.1.1 Metodologia

Para iniciar a análise e simulação de diferentes veículos, segui a metodologia apresentada:

1. Seleccionar Tipo de Veículo (Familiar ou Urbano).
2. Seleccionar motor de acordo com o Veículo.
3. Escolha e dimensionamento de baterias.
4. Analisar desempenho para diferentes tipos de baterias pré seleccionadas.
5. Análise dos diferentes tipos de baterias .
6. Selecção de qual a bateria que se adequa melhor ao veículo.

5.1.1.2 Seleccionar Tipo de Veículo (Familiar ou Citadino)

Para iniciar a simulação configuraram-se os veículos A e B com as seguintes características:

Tabela 12- Características veículo Familiar 5 Lugares (A)

Veículo Familiar 5 Lugares (A)		
Massa do veículo	kg	1234,0
Área Frontal	m ²	2,6
Cd (coeficiente aerodinâmico)		0,32
μ_{rr} (coeficiente de rolamento)		0,0048
G (relação de transmissão)		11,0
R (raio do Pneu)	m	0,3
G/R		36,7

Tabela 13- Características veículo Urbano 2 lugares (B)

Veículo citadino 2 lugares (B1)		
Massa do veículo	kg	730
Área Frontal	m ²	2,7
Cd (coeficiente aerodinâmico)		0,345
μ_{rr} (coeficiente de rolamento)		0,0048
G (relação de transmissão)		11
R (raio do Pneu)	m	0,3
G/R		36,7

5.1.1.3 Seleccionar motor de acordo com o Veículo

Para o veículo (A) escolheu-se um motor que está a ser utilizado em diversos estudos e protótipos (33) apresentando as seguintes características:

Tabela 14- Características motor 150 Kw

Motor trifásico de indução (150 kW)	
Kc*	0,3
Ki*	0,01
Kw*	0.000005
ConL	600
Vel_max -	12000 rpm
Mmot	80 KG
Tmax	220 Nm
ω_c rpm	7000 rpm
T=Tmáx até uma velocidade de 16,8 m/S	
P	150 kW
ρg	0,91
Tensão	360 V

* Kc são as perdas no cobre, ki coeficiente de perdas no ferro, kw coeficiente atrito do ar e ConL- constante de perdas no motor.

Para o veículo (B) escolheu-se um motor de potência mais baixa, indo de encontro às potências utilizadas em veículos urbanos com motor de combustão interna.

O motor Utilizado tem as seguintes características:

Tabela 15- Características motor 45 Kw

Motor trifásico de indução	
Kc	0,3
Ki	0,01
kw	0.000005
ConL	600
Vel_max	12000 RPM
Mmot	80 kg
Tmax	180 Nm
ω_c	7000 rpm
T=Tmax até uma velocidade de 16,8 m/S	
P	45 kw
ρ_g	0,91
Tensão	150 V

5.1.1.4 Escolha e dimensionamento de baterias.

Para esta análise seleccionaram-se os principais tipos de baterias, que apresentam as seguintes curvas de descarga:

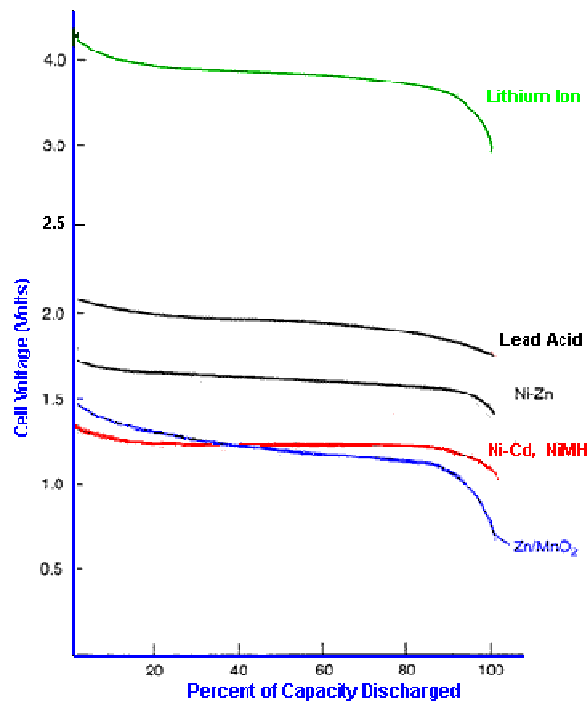


Ilustração 54- Curvas características dos diversos tipos de elementos de acumuladores (34)

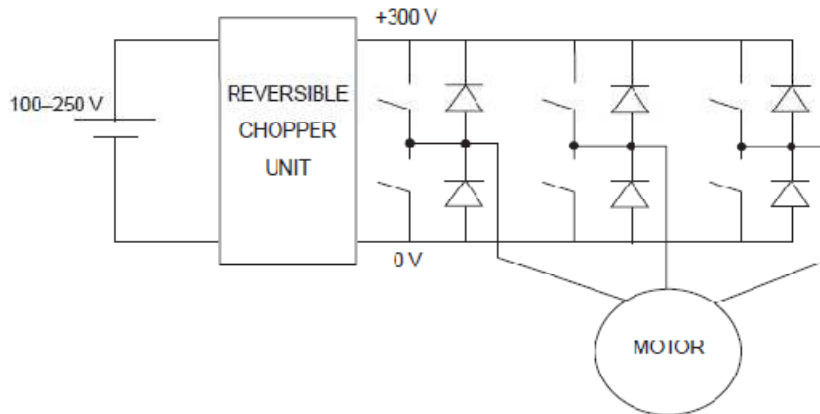


Ilustração 55- Configuração Motor (35)

O dimensionamento dos blocos de baterias está dependente da tensão que irá alimentar o conversor DC/DC (“*Reversible Choper Unit*”), que por sua vez a tensão do conversor DC-AC trifásico irá alimentar o motor trifásico.

Para o dimensionamento das baterias considerou-se que a tensão das baterias é igual à tensão de alimentação do motor. Com este pressuposto dimensionaram-se os blocos de baterias presentes no anexo 16.

5.1.1.5 Analisar desempenho para diferentes tipos de baterias pré seleccionadas

Com a selecção dos diferentes tipos de baterias e motores, realizou-se a simulação de aceleração do veículo (A) e (B), segundo a metodologia e programas apresentados na referência bibliográfica (32).

5.1.1.5.1 Veículo A

Para o veículo (A) conclui-se que as melhores prestações são obtidas com baterias com menor peso, mas também que os diferentes blocos de baterias conseguem obter prestações semelhantes às obtidas por veículos de combustão interna. No veículo as acelerações de 0-100 km/h entre 4,8 s e os 12 s (ilustração 56).

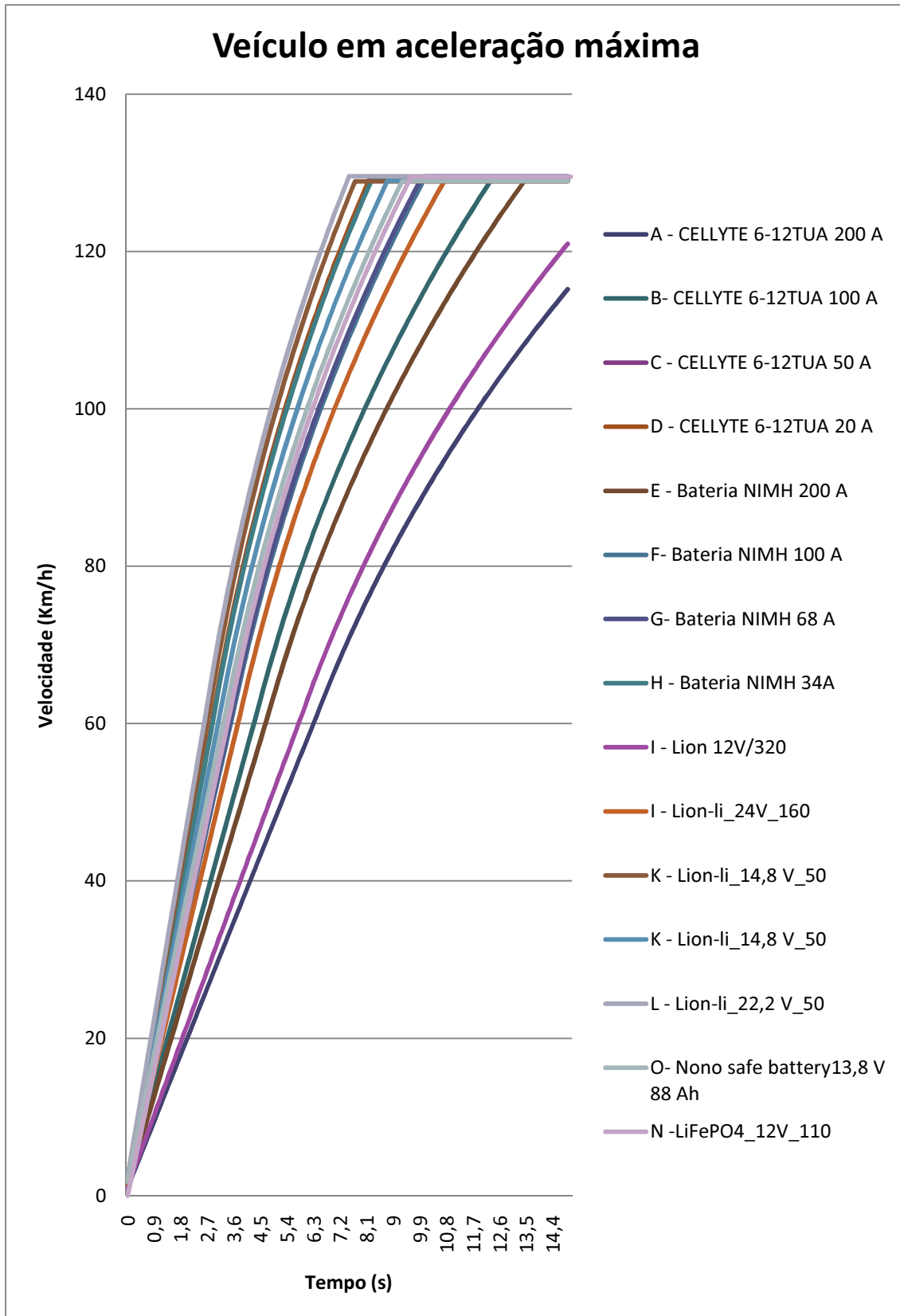


Ilustração 56- Aceleração de veículo A

5.1.1.5.1.1 *Análise dos diferentes tipos de baterias (Autonomia, Custo por bateria, Custo de utilização e Vida útil das baterias no veículo.*

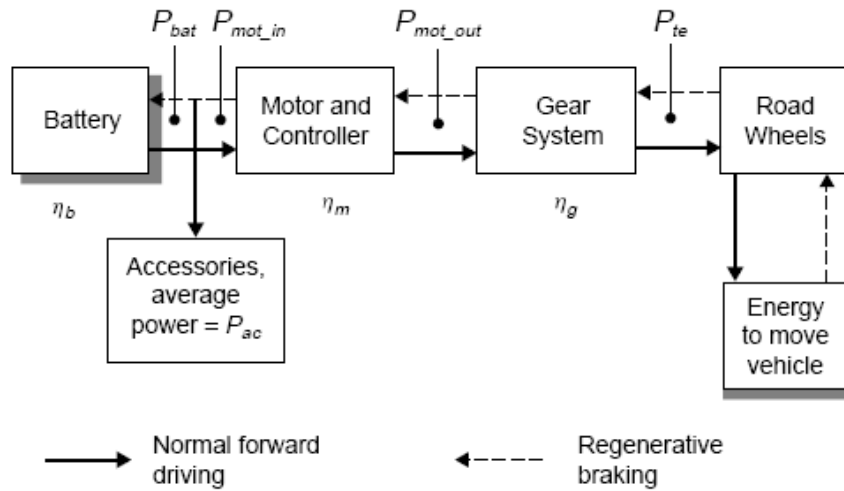


Ilustração 57- Diagrama de veículo eléctrico (32)

A ilustração 57 mostra a interação entre os diversos componentes que fazem parte de um veículo eléctrico.

Para prever as necessidades do veículo por cada segundo do ciclo de condução até a bateria ficar descarregada ter-se-á de fazer uma análise ao analisar os conjuntos de consumidores.

Para iniciar os cálculos ter-se-á também de saber qual o esforço de tracção que é calculado pela seguinte equação (descrição no anexo 15) :

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a}$$

Equação 1

A potência é obtida multiplicando a Força pela Velocidade:

$$P_{te} = F_{te} \times v$$

Equação 2

Para sabermos qual a potência necessária no motor, ter-se-á de saber qual o rendimento das engrenagens, (que neste caso é muito alto) e o rendimento do motor.

O rendimento do motor e conversor é calculado através da seguinte equação

$$\eta_m = \frac{T\omega}{T\omega + K_c T^2 + k_i \omega + k_w \omega^3 + C}$$

Equação 3

Onde K_c são as perdas no cobre, k_i coeficiente de perdas no ferro, k_w atrito do ar e C representa as perdas constantes aplicadas a qualquer velocidade.

A potência necessária para alimentar o motor será então:

$$P_{mot_in} = \frac{P_{mot_out}}{\eta_m}$$

Equação 4

A potência de saída do motor também dependente das engrenagens, então:

$$P_{mot_out} = \frac{P_{te}}{\eta_g}$$

Equação 5

Estas equações são usadas para o cálculo da potência eléctrica necessária para alimentar o motor eléctrico.

Para completar, a energia necessária na bateria, é calculada considerando a energia média necessária para alimentar aparelhos acessórios no veículo, ficando então a potência pedida à bateria:

$$P_{BAT} = P_{mot_in} + P_{ac}$$

Equação 6

Quando se desacelera, a potência do motor será negativa, reduzindo o valor da potência.

Antes que seja possível realizar a simulação do comportamento, temos de seguir as normas para homologação de veículos eléctricos, que definem um ciclo de funcionamento do mesmo.

5.1.1.5.1.2 Selecção de qual a bateria que se adequa melhor ao veículo.

5.1.1.5.1.2.1 Ciclo de simulação (Novo ciclo de condução europeu)

De seguida simula-se o comportamento de um veículo eléctrico, variando as suas características.

Primeiro, definiu-se o ciclo de utilização do veículo a utilizar, neste caso utilizar-se-á o novo ciclo europeu de condução (“NEDC”).

O novo ciclo europeu de condução é composto por quatro repetições do antigo ECE-15 (ciclos urbano) e um ciclo extra urbano. É suposto representar a utilização

diária de um veículo na Europa e é utilizado, entre outras coisas, para calcular os níveis de emissões dos veículos.

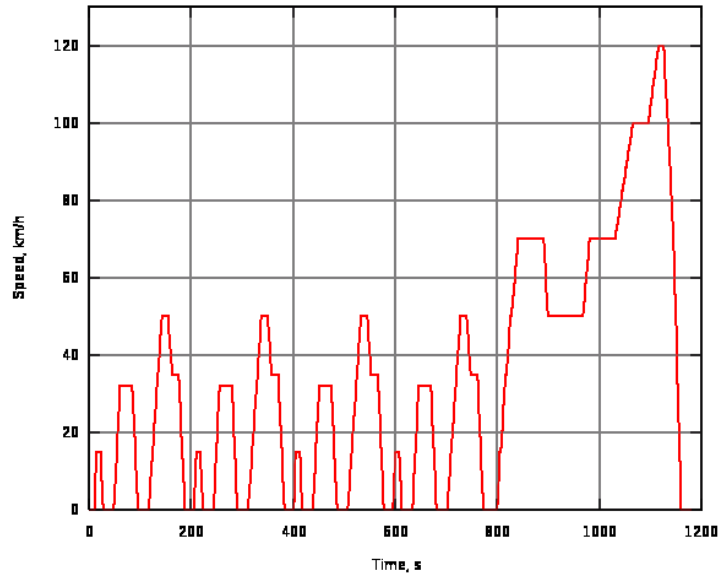


Ilustração 58 - Ciclo europeu de condução (36)

Com base neste ciclo construiu-se uma função para utilizar na simulação.

Começa-se por analisar o veículo (A), definindo as restrições e volume e peso das baterias apresentados na tabela seguinte.

As restrições para os veículos em análise, têm como base um volume máximo ocupado de 80 e 250 litros, e máximo de 1200 e 1600 kg de acordo com os valores encontrados em veículo de combustão interna na mesma gama.

Tabela 16- Constrangimentos de volume e peso

Parâmetros	Peso máximo / kg	Volume máximo /m ³
Veículo urbano 2 Lugares	1200	0,08
Veículo familiar 5 lugares	1600	0.25

Nas ilustrações 59 60, 61 e 62 apresentam-se os resultados relativos à primeira simulação realizada.

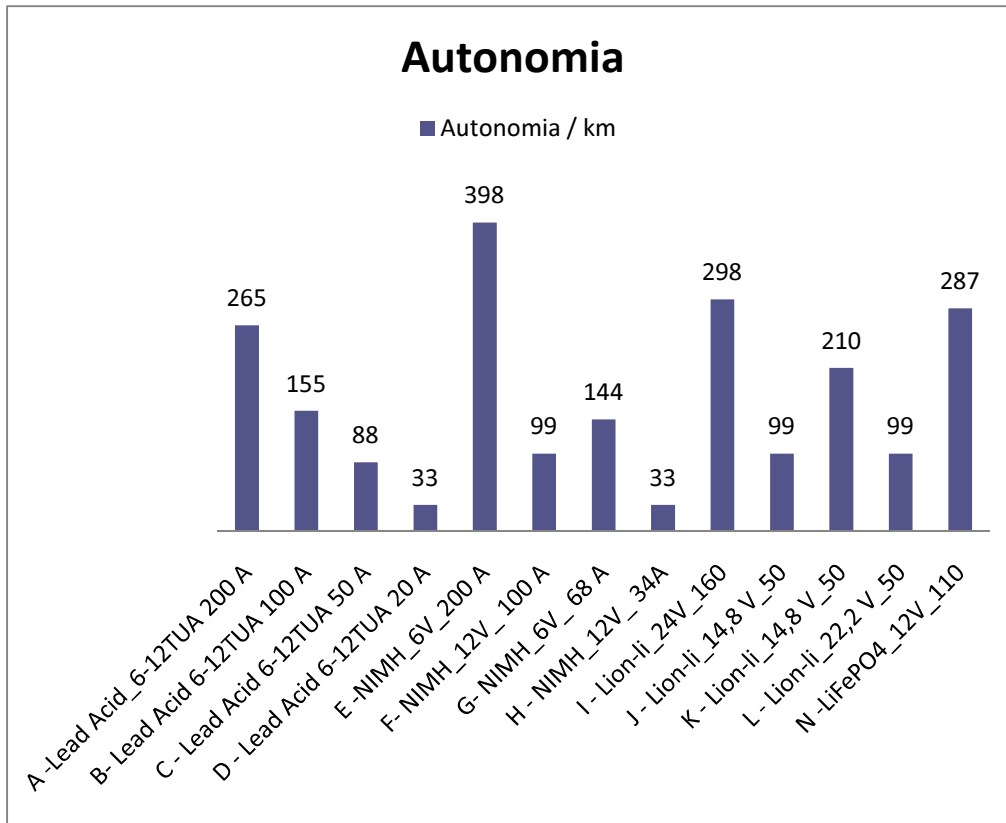


Ilustração 59- Simulação de autonomia sem restrições de massa e volume das baterias (Veículo A)

Na ilustração 59 pode analisar-se os valores de autonomia, para as características do veículo descrito anteriormente equipado com os diferentes tipos de baterias.

É de realçar que nos três tipos de baterias, as baterias que apresentam maior autonomia são os que têm maior capacidade. Pode observar-se também que o conjunto N (baterias de lítio) apesar de só ter uma capacidade de 110 Ah consegue ter uma autonomia maior que as o conjunto de baterias A com maiores capacidades (baterias de ácido-chumbo).

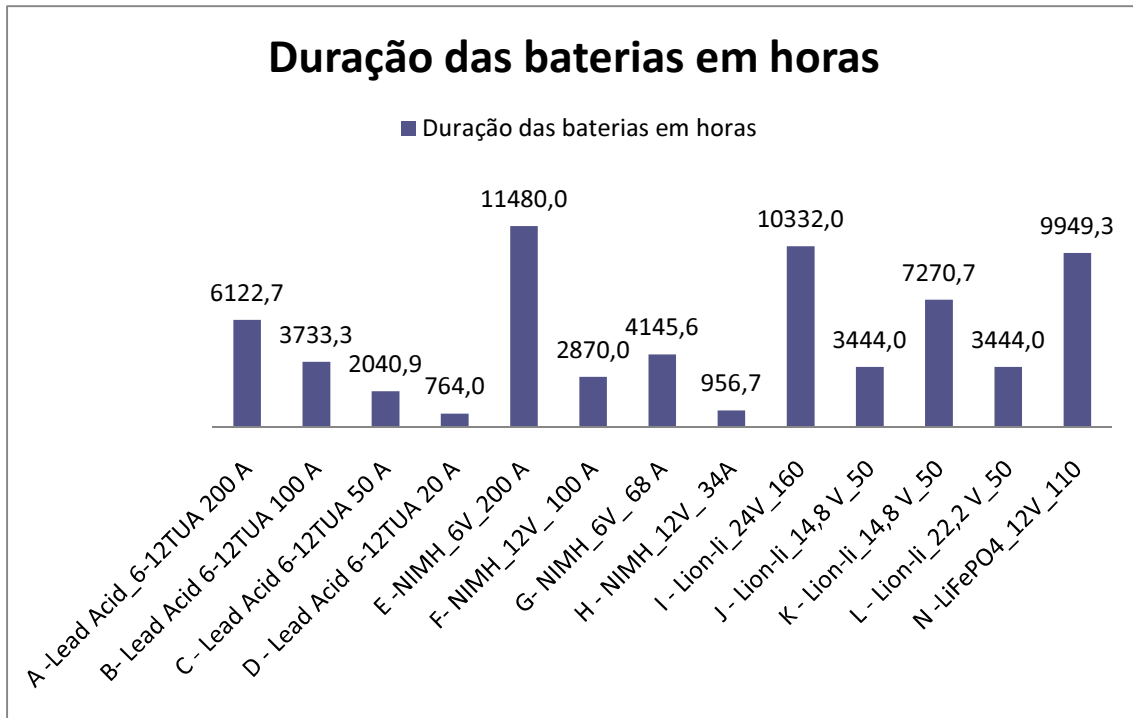


Ilustração 60- Período disponível das baterias total de simulação sem restrições de massa e volume (veículo A)

Consequentemente a duração das baterias, terá valores elevados em baterias com maior capacidade.

Relativamente aos custos das baterias utilizou-se como referência os preços apresentados no anexo 9, estando apresentados os valores previstos para os blocos de baterias na ilustração seguinte.

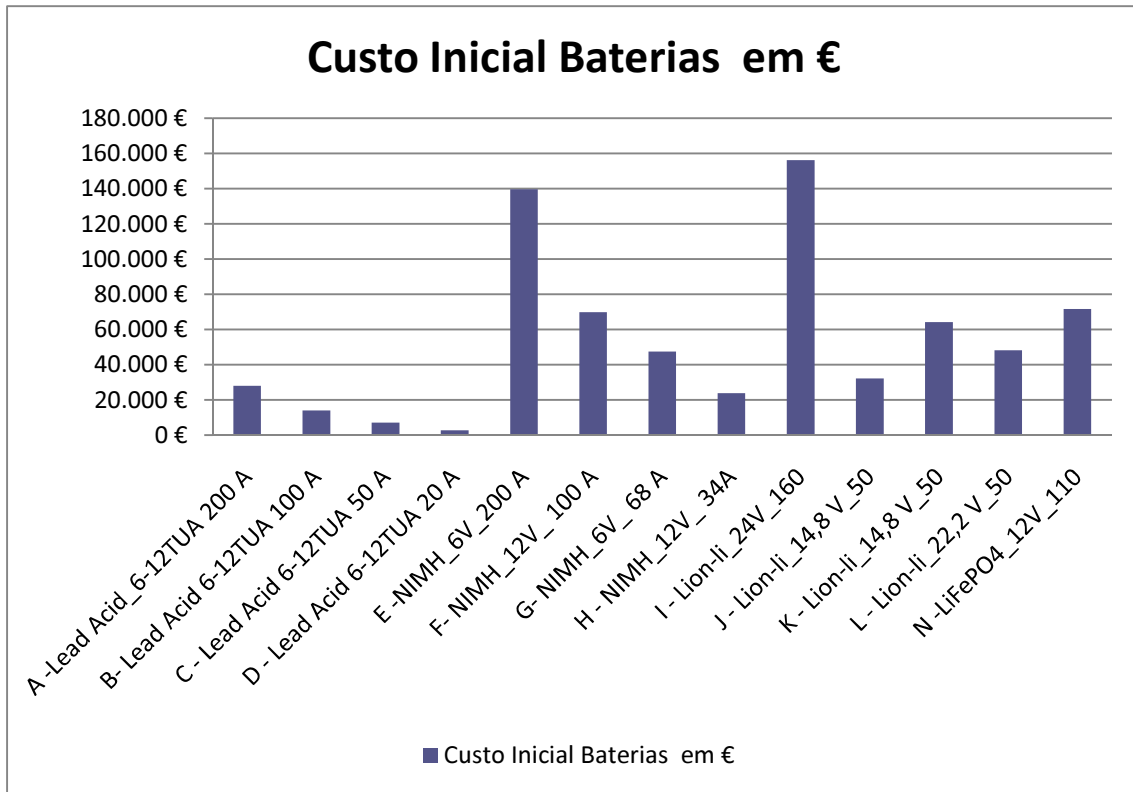


Ilustração 61- Custo Inicial Baterias (veículo A)

É de realçar o custo elevado das diferentes baterias, chegando a ter custos a rondar os 160 000 €, no entanto esta bateria não é aplicável a nenhum dos veículos dimensionados porque ocupa um volume demasiado grande no veículo e o seu peso é muito elevado. Mas se a investigação futura de baterias conseguir encontrar baterias com essa capacidade que consiga responder às limitações de peso e volume com custos mais reduzidos, como demonstrado atrás, estas serão as baterias que teriam melhores autonomias.

Mas agora surge a questão qual será o custo anual de utilização deste tipo de baterias? Para prever um custo de baterias durante um ano de utilização, considerou-se uma utilização durante 365 dias, de 1,5 horas por dia. Este valor pretende simular o percurso de casa-trabalho e trabalho-casa de um utilizador fazendo uma aproximação da utilização anual do veículo contabilizando apenas os custos iniciais de aquisição da bateria.

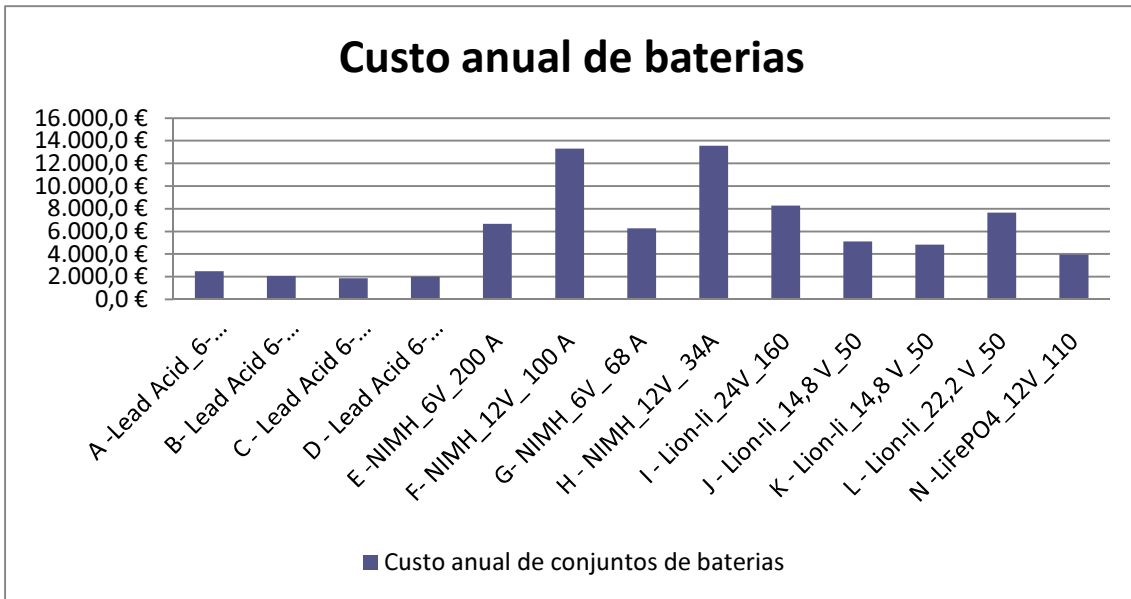


Ilustração 62-Custo de baterias por ano (veículo A)

Com esta análise conclui-se que a autonomia disponibilizada e o numero de ciclos de carga-descarga de cada bateria, influência seu custo anual de utilização, isto porque, conseguimos ter um período de utilização maior, como é demonstrado na ilustração seguinte.

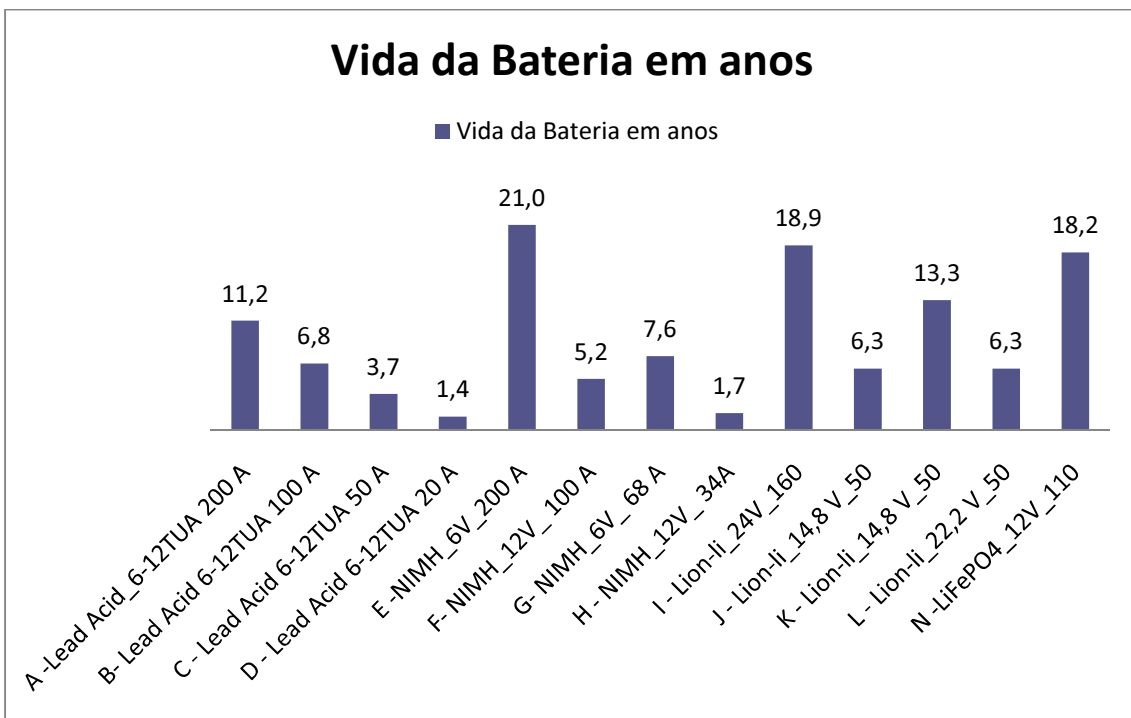


Ilustração 63-Vida da bateria

Assim os ciclos de carga que cada bateria admite e a sua capacidade são factores importantes para a sua viabilização e conseqüente redução de custos de utilização, desta

forma as baterias de lítio não são as que apresenta uma melhor autonomia, mas tem custo de utilização menor.

Para uma melhor adequação destas baterias aos veículos eléctricos, terá de existir uma redução de volume e massa dos diferentes tipos de bateria, as baterias de lítio são as que apresentam melhores performances e custos de utilização razoáveis, porque conseguem ter maiores ciclos de utilização, menor massa e volume.

Aproximando estes conjuntos de baterias da realidade a análise seguinte será feita com base nas restrições de volume que apresentam os veículos.

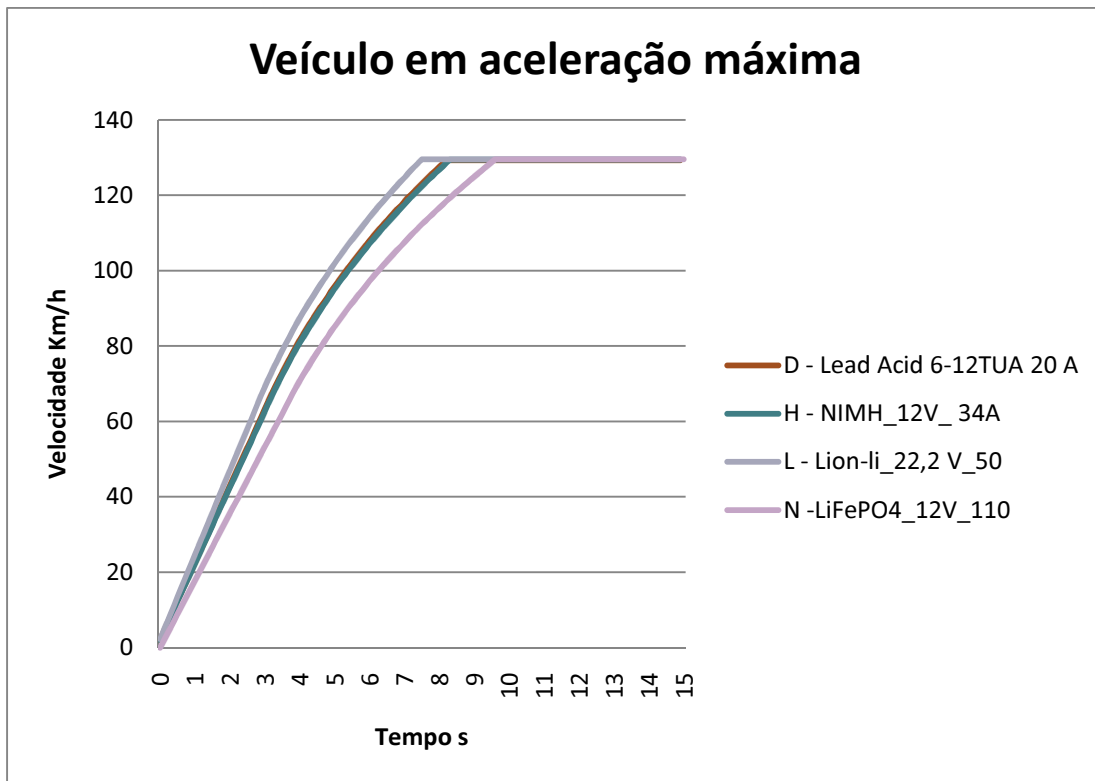


Ilustração 64- Performances Baterias Veículo (A)

Na ilustração anterior constata-se que as diferentes baterias, apresentam prestações interessantes, variando entre 4,5 e os 6,5 s dos 0 aos 100 km/h, sendo que no caso do conjunto L e D, o seu baixo massa (255,6 kg e 270 kg respectivamente) influencia a boa aceleração do veículo.

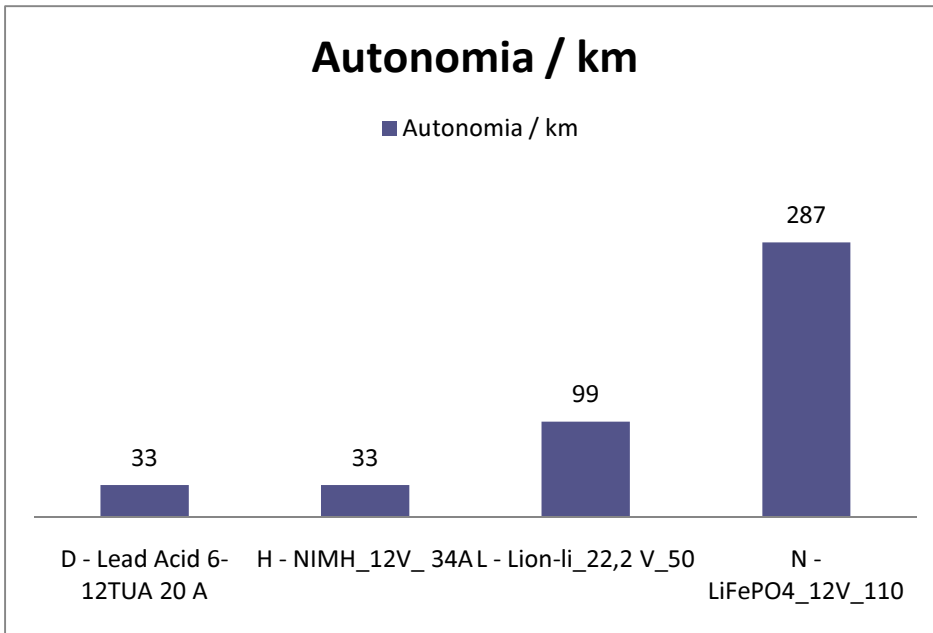


Ilustração 65- Autonomia Veículo A

Analisando a autonomia cada bateria verifica-se que, as baterias D e H não tendo as melhores tem uma autonomia muito reduzida comparativamente com os conjuntos L e N. Nas baterias L e N, a bateria N é a que leva vantagem pelo facto de ter uma capacidade maior, surgindo com uma autonomia bastante boa para utilização diária.

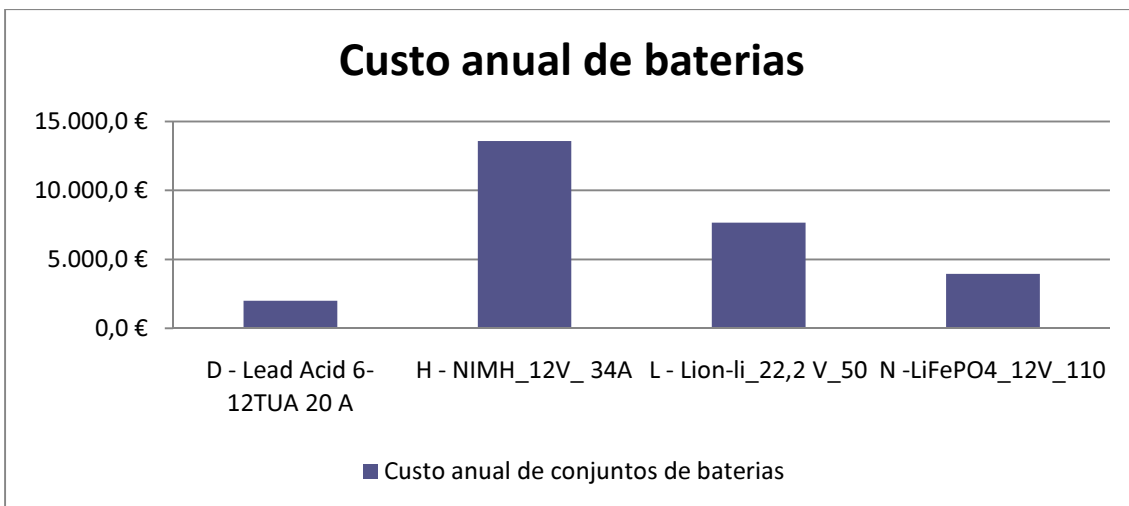


Ilustração 66- Custo de baterias por ano

Analisando a ilustração 66, verifica-se que o conjunto D é o que apresenta custos mais reduzidos, mas não é uma boa opção pelo facto de apresentar uma autonomia bastante reduzida. As baterias L e N são os que apresentam uma melhor relação custo anual e autonomia, pelo que são as mais adequadas para aplicação neste veículo de acordo com os pressupostos atrás mencionados. O conjunto N seria o que teria uma

melhor autonomia (209 km), mas também um menor custo de utilização pelo facto de ter uma autonomia maior que o conjunto L, pelo que será boa solução para transporte de passageiros. Analisando os volumes ocupados pelas baterias, a bateria L ocupa menos volume (menos 60 litros que o conjunto N), o que será o constrangimento para a construção do veículo N.

5.1.1.5.1.3 *Ciclo urbano*

Para uma melhor compressão das diferenças entre estes dois conjuntos de baterias e percepção da existência de uma diferença significativa de autonomias no veículo, quando o utilizamos em ciclo urbano, ir-se-á analisar qual a autonomia destas baterias, se estiverem aplicadas a um veículo que só faça percursos urbanos ECE-15.

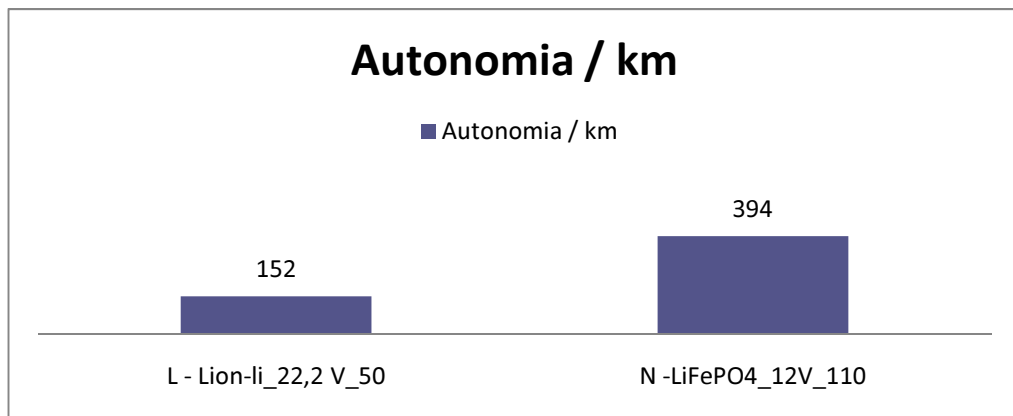


Ilustração 67- Simulação com ECE-15

Com base nestes valores, conclui-se que baterias com maior capacidade são sinónimo de maior autonomia, e que em utilização exclusivamente urbana, a autonomia aumenta de 287 km para 394 km, neste caso específico, o que significa um aumento de 27 %, mostrando que os veículos eléctricos em circuitos urbanos têm maiores autonomias que em ciclos combinados em ciclo urbano e extra-urbano ("NEDC").

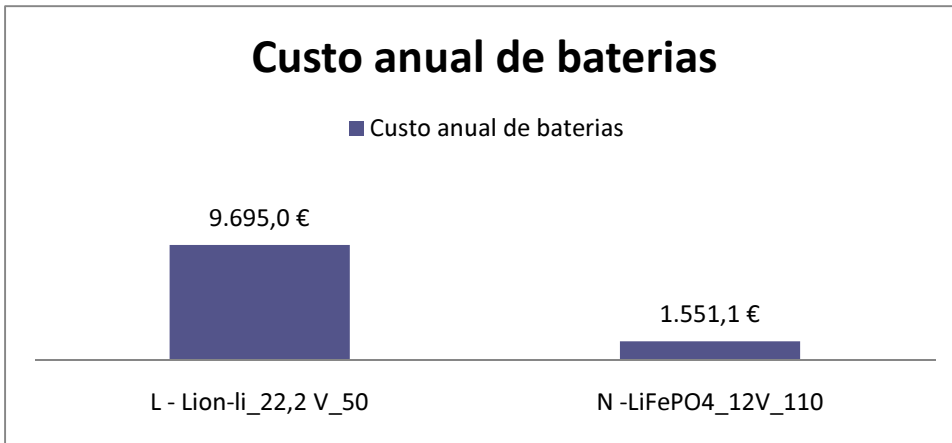


Ilustração 68-Custo anual de baterias por ano segundo o ciclo ECE-15

Analisados neste caso também os custos de utilização, é visível que estes também diminuam, pelo facto de com a mesma baterias o veículo percorrer um maior número de quilómetros.

5.1.1.5.1.4 Veículo B

A tendência das cidades actuais é a utilização de veículos citadinos de 2 lugares, pela reduzida volumetria, reduzidas emissões e grande versatilidade em pequenos espaços.

Com base num veículo existente no mercado, utilizou-se a mesma metodologia de simulação deste tipo de veículo obtendo os seguintes resultados:

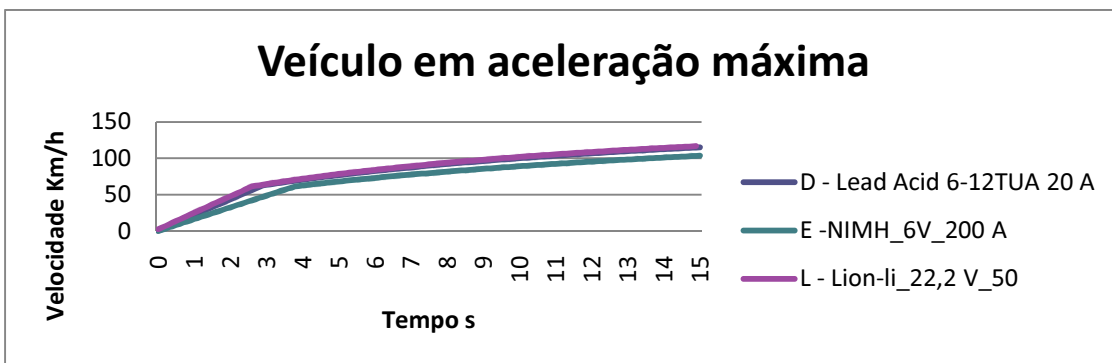


Ilustração 69-Performances Baterias veículos (B)

Relativamente às performances deste veículo, é visível que apresentam acelerações mais lentas, variando dos 10,5 s aos 12,5 s dos 0 aos 100 km/h. Isto porque foi utilizado um motor com menor potência e binário, mas é de realçar a influência da massa das baterias nos valores de aceleração.

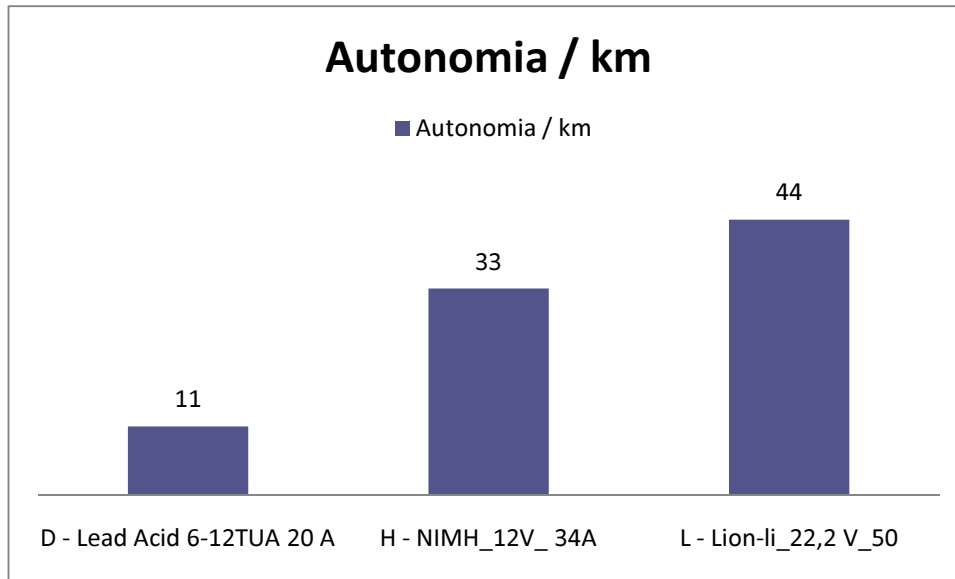


Ilustração 70-Autonomia Veículo B

Este veículo, apresenta autonomias bastante reduzidas, este facto é explicado pelo seu coeficiente aerodinâmico com valores elevados e as limitações de espaço para acomodar baterias. Estes valores foram simulados, de acordo com o (NEDC), será que perante um ciclo exclusivamente urbano as suas autonomias se alterarão?

Na ilustração seguinte realizou-se a mesma simulação com base no ciclo ECE-15, aumentando de 44 para 147 km a autonomia do veículo no conjunto de baterias L. O que demonstra a boa adequabilidade deste tipo de baterias e veículos a circuitos urbanos.

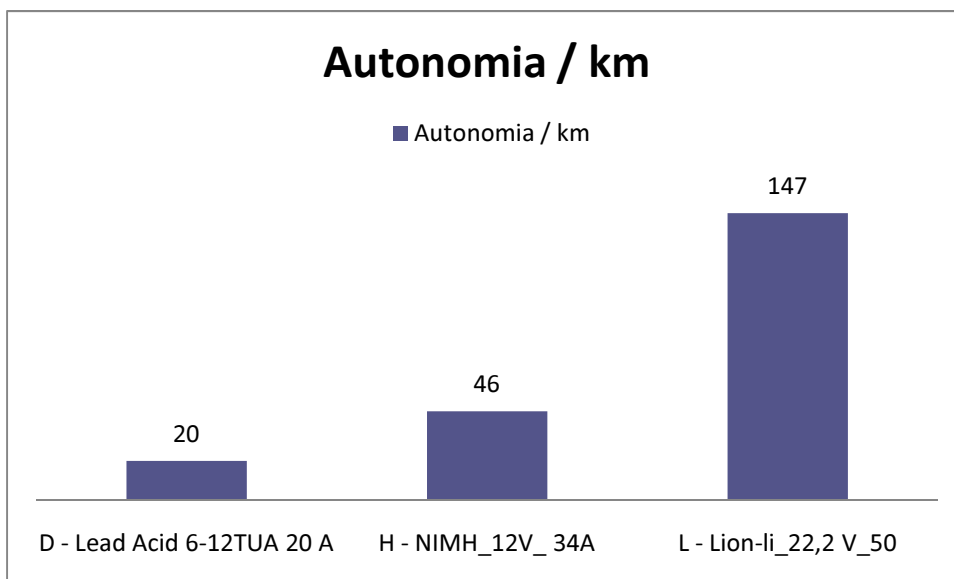


Ilustração 71- Autonomia Veículo B como base no ciclo ECE-15

5.1.1.5.1.5 Baterias em Estudo

As nano baterias, como referido no capítulo 3, são baterias com excelentes características, mas actualmente com custo muitos elevados.

Aplicando as baterias ao veículo A, e comparando com a bloco de baterias (N) obteve-se os seguintes resultados:

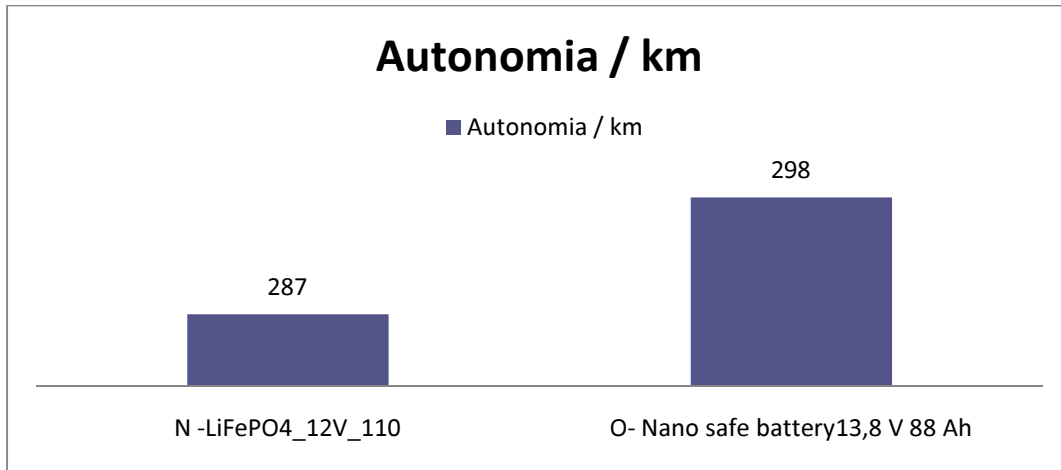


Ilustração 72- Comparação de autonomia Bateria N e O

Pode constatar-se um aumento de autonomia, comparativamente à melhor bateria até agora analisada, apesar de ter uma capacidade cerca de 30 Ah por bateria, menor, o que mostra o grande potencial deste tipo de bateria

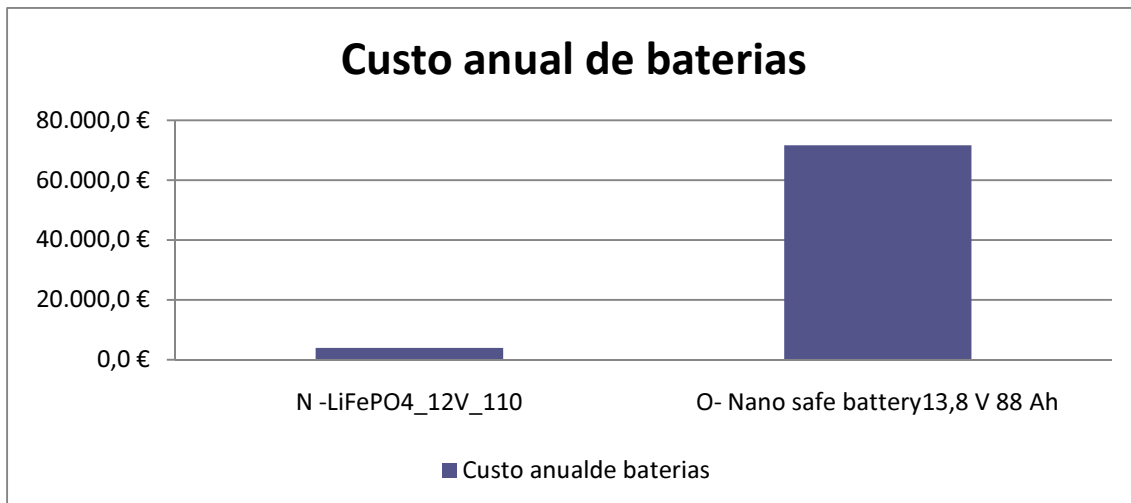


Ilustração 73- Comparação de custos bateria N e O

A grande desvantagem, como se pode observar na ilustração 73 é o elevado custo comparativamente com qualquer outro tipo de baterias analisado, porque ainda está no início do seu desenvolvimento. Mas é uma tecnologia a considerar pelas suas

características, podendo eliminar os riscos de explosão das baterias de iões de lítio e com melhores prestações.

5.1.2 Optimização

Com base nos resultados irá realizar-se a optimização do veículo anteriormente apresentado.

Os pontos a otimizar serão os seguintes:

- Optimização de coeficiente aerodinâmico, área frontal e massa
- Percentagem de energia recuperada na travagem

5.1.2.1 Optimização de CD, área frontal e peso

Para a optimização do veículo A, utilizaram-se as características do veículo com melhor coeficiente aerodinâmico, Área frontal e massa.

As características do novo veículo (A1), estão indicadas na seguinte tabela:

Tabela 17- Características veículo Familiar 5 Lugares (A1)

Veículo Familiar 5 Lugares (A1)		
Massa do veículo	kg	838,00
Área Frontal	m ²	1,88
Cd (coeficiente aerodinâmico)		0,20
μrr (coeficiente de rolamento)		0,0048
G (relação de transmissão)		11,00
R (raio do Pneu)	m	0,30
G/R		36,67

Tabela 18- Características veículo citadino 2 lugares (B1)

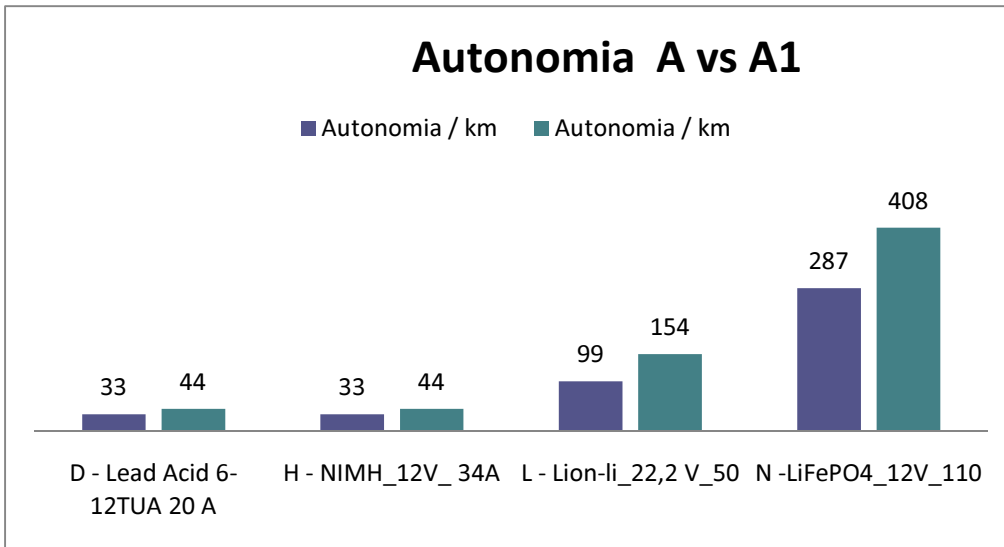


Ilustração 74- Autonomia A vs A1

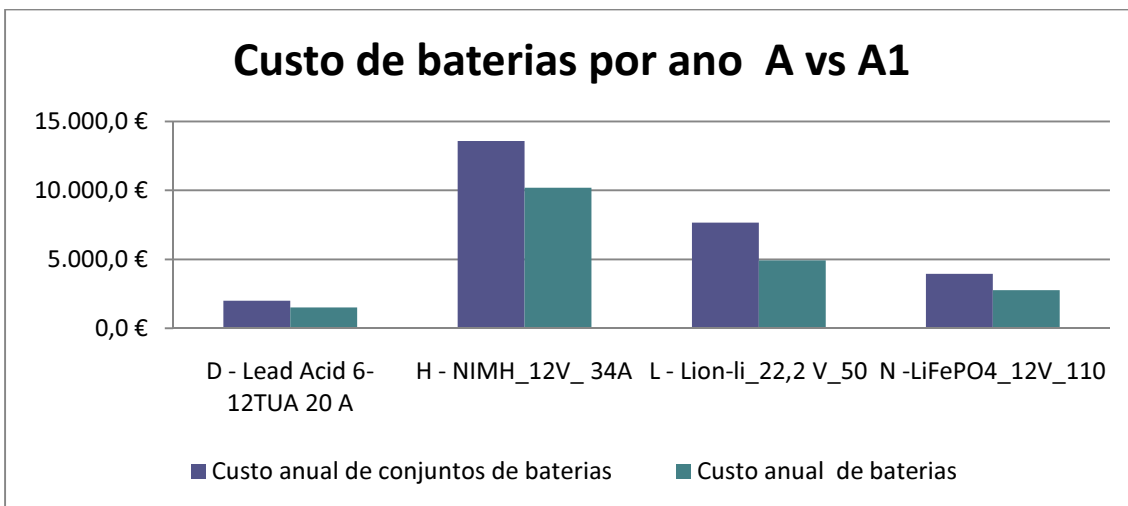


Ilustração 75- Custo de conjuntos de baterias por ano A vs A1

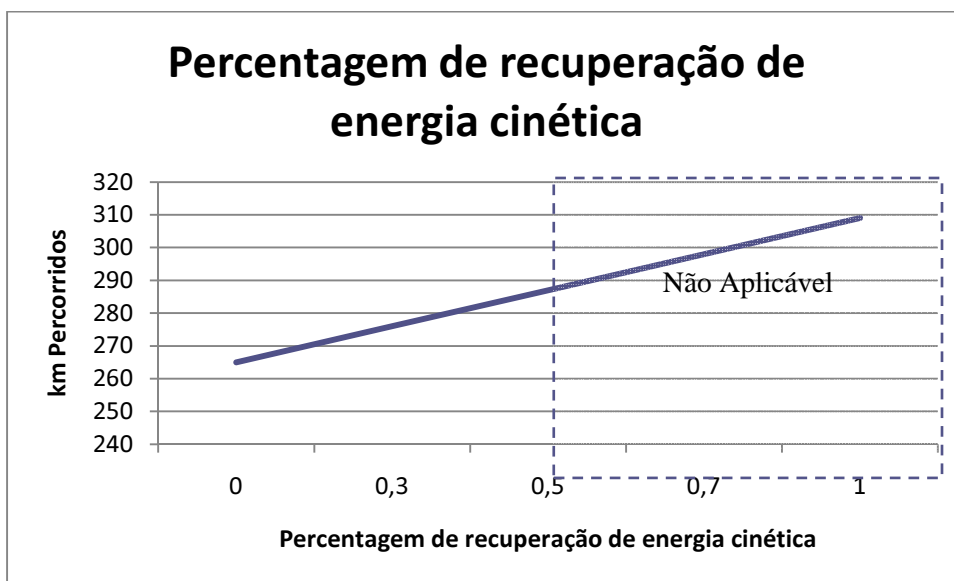
Analisando as ilustrações anteriores verificou-se que o conjunto com melhor autonomia e melhor custo de utilização é o conjunto N, sendo pois o mais indicado para os dois veículos. Pode verificar-se o aumento de 121 km de autonomia no veículo A1 relativamente a A, e também uma consequente diminuição de custos de utilização, mostrando que ao dimensionar um veículo eléctrico existirem preocupações em reduzir massa do veículo, e otimizar o coeficiente aerodinâmico irá existir um aumento significativo da autonomia do veículo e uma redução de custos de utilização.

5.1.2.2 Percentagem de recuperação de energia cinética

A simulação anteriormente apresentada foi realizada com travagem regenerativa de 50 %. De acordo com a referência bibliográfica (32) percentagem máxima aplicável na prática é de 75%.

Para esta simulação escolheu-se o veículo A e o conjunto de baterias N como referência. A tabela seguinte mostra a influência da variação de percentagem de travagem regenerativa na autonomia do veículo.

Tabela 19- Simulação de com variação de Percentagem de travagem regenerativa



Como podemos observar no gráfico aumentando a autonomia em 10 km, quando se aumenta a energia regenerativa de 50 para 70%, o aumento de autonomia não é significativo com a travagem regenerativa, pelo que não é viável aproveitar mais de 50 % da energia regenerativa na travagem.

6 Conclusões

O trabalho foi desenvolvido de com o objectivo de pesquisa, exposição e análise das tecnologias associadas ao automóvel eléctrico, orientado segundo as duas questões de investigação. “Até que ponto os automóveis eléctricos poderão ser solução para uma

“mobilidade sustentável?” e “Quais poderão ser as características do automóvel eléctrico do futuro?”

As conclusões que resultaram do estudo destas questões não só traduzem uma resposta às mesmas como permitem lançar alguns pontos de reflexão no desenvolvimento de novas tecnologias e soluções para uma mobilidade sustentável.

Segundo Prof Capros (2), os veículos eléctricos têm um grande potencial para a redução do efeito de estufa. A tabela 1 apresenta as opções a tomar para essa redução, as barreiras que estão a dificultar a sua implementação bem como diferentes soluções. É de salientar a importância dos veículos com propulsão eléctrica nessa redução (efeito de estufa).

No anexo 8, segundo a perspectiva da GM o futuro passará pela utilização de veículos eléctricos. Distinguindo-se veículos híbridos eléctricos utilizados em ciclos combinados e veículos a pilhas de combustível para grandes distâncias ou para transporte de cargas pesadas, esta visão vai de encontro ao que é indicado ao longo do trabalho. Adicionando-se também ao estudo os veículos eléctricos puros para utilização urbana.

Segundo a Toyota o desenvolvimento de “Powertrains” irá seguir a tabela 3 tendo como objectivo a obtenção de um “Ultimate eco car”, que irá de encontro às necessidades actuais para uma mobilidade sustentável. Nessa tabela estão indicados os diferentes veículos que existirão até atingir objectivo, sendo o veículo eléctrico com pilhas de combustível apresentado como o melhor veículo.

Os veículos eléctricos dividem-se em três tipos: os veículos eléctricos puros, os veículos híbridos e os veículos a pilhas de combustível.

Também têm diferentes tipos de aplicações como indicado na ilustração 2, podendo adaptar-se facilmente a diferentes requisitos de utilização.

De acordo com a tabela 4, o veículo eléctrico puro é o que tem melhor eficiência energética total, tornando-se assim o melhor sistema de propulsão a aplicar em veículos para obtermos uma mobilidade sustentável. Segundo esse estudo a energia primária actualmente tem origem em combustíveis fósseis, mas se essa energia passar a ser obtida através de fontes de energia renovável a eficiência poderá melhorar exponencialmente.

Também é de salientar a comparação de emissões dos diferentes tipos de veículos apresentada na tabela 6 onde os veículos eléctricos puros emitem menos 17000 kg de CO₂ que os veículos com motores de combustão interna, sendo que no local de

funcionamento as suas emissões são nula. O que irá melhorar a qualidade do ar nas nossas cidades.

Os veículos híbridos, são uma solução para a redução de emissões. Segundo o estudo apresentado pela Toyota os veículos híbridos apresentam menores emissões que os veículos actuais (ilustração 7) e dentro dos veículos híbridos eléctricos os veículos híbridos eléctricos a gasóleo são os que emitem menores quantidades de CO₂ (Tabela 10). Com estes resultados conclui-se que os veículos híbridos a curto prazo serão uma boa solução para as reduções de emissões de CO₂.

Relativamente aos veículos a pilhas de combustível, são veículos com bastante potencial, porque o sistema de propulsão a pilhas de combustível tem uma eficiência superior à dos veículos actuais, cerca de 36%, comparativamente aos veículos a gasóleo actuais cerca de 22% segundo a ilustração 20, um ponto a favor deste tipo de propulsão é a sua maior autonomia. Mas o seu elevado custo, a necessidade de hidrogénio para a sua alimentação e a necessidade de materiais nobres para a construção dos elementos a combustível são a grande limitação actual para este tipo de veículo.

Com o aparecimento de novas tecnologias de produção de hidrogénio, novos materiais para a construção de elementos a combustível, formas de armazenamento de hidrogénio e maturação de tecnologia associadas a este tipo de veículo, a longo prazo, esta será uma solução a ter em conta.

Pelas razões atrás enumeradas conclui-se que o automóvel eléctrico, é parte da solução para uma mobilidade sustentável, contribuindo para a redução de emissões de gases, diminuindo a dependência de combustíveis fósseis.

Aqui coloca-se também outra questão: será que os veículos eléctricos têm a capacidade de responder às necessidades de mobilidade dos cidadãos?

Como referido anteriormente os veículos eléctricos híbridos e os veículos a pilhas combustível, correspondem a este requisito pelo facto de terem autonomias maiores pelo facto de armazenarem combustíveis fósseis ou hidrogénio, respectivamente. Mas o veículo eléctrico puro, tem a sua autonomia limitada pela capacidade das baterias, será que terão autonomias suficientes para utilizações diárias?

Com a simulação de veículos eléctricos puros realizada no ponto 5 pretende-se responder a esta questão.

Da análise descrita no capítulo 5, conclui-se que os veículos eléctricos de acordo com os parâmetros analisados, têm características que correspondem às necessidades diárias de um cidadão em ciclo casa-trabalho e trabalho-casa.

Para viagem de longa distância as autonomias ainda são relativamente reduzidas (cerca de 200 a 300 km). Mas com a evolução de diferentes tipos de baterias e soluções acredita-se que a longo prazo irão ter autonomias significativamente maiores. Isto porque existem muitas investigações no âmbito do desenvolvimento de novas baterias, que poderão melhorar bastante as autonomias dos veículos e reduzir fortemente os custos das baterias.

Da simulação realizada conclui-se também que os veículos eléctricos tem grande aptidão para circular em ciclos urbanos, isto porque, têm autonomias que respondem aos requisitos urbanos e, como se pode constatar nas ilustrações 62 e 63, a autonomia dos veículos eléctricos aumenta em ciclo urbano face ao ciclo combinado, com custos de utilização inferiores. Em ciclo combinado têm autonomia suficiente para uma utilização diária entre os 200 e 300 km. Sendo bastante adequado para a aplicação no transporte de pessoas no seu trajecto diário para o trabalho-casa e para suprir necessidades suplementares que não excedam a autonomia do veículo.

No estudo apresentado sobre a recuperação de energia cinética, o aumento de autonomia não é significativo porque o estudo foi realizado considerando que o veículo se deslocava em patamar, considerando a recuperação de energia conseguida através de desaceleração. Em cidades como Lisboa onde existem grandes declives que poderão aumentar a energia cinética regenerável e com um consequente aumento de autonomia, necessitando de validação científica a quantificação desse aumento de autonomia.

Não sendo objecto de estudo neste trabalho, para uma melhor compreensão dos custos reais de utilização do veículo, seria interessante saber quais os custos associados às redes de carregamentos de veículos eléctrico, e os custos a que o utilizador irá carregar o seu veículo.

Com base no estudo realizado no capítulo 3 e 5 apresenta-se uma previsão de desenvolvimento da rede eléctrica, com o objectivo de contribuir para uma mobilidade sustentável e, em função disso, como poderá evoluir o veículo eléctrico ao longo do tempo.

A rede eléctrica actual está dependente de fontes de energia não renovável (derivados de combustíveis fósseis e nuclear), sendo as energias renováveis uma parcela bastante reduzida dos requisitos de energia primária.

Na ilustração seguinte apresenta-se um resumo de como está configurada actualmente a rede eléctrica, como os transportes estão inseridos nesta, sem estarem

directamente dependentes da rede. O transporte rodoviário não utiliza energia eléctrica para propulsionar os veículos actualmente.

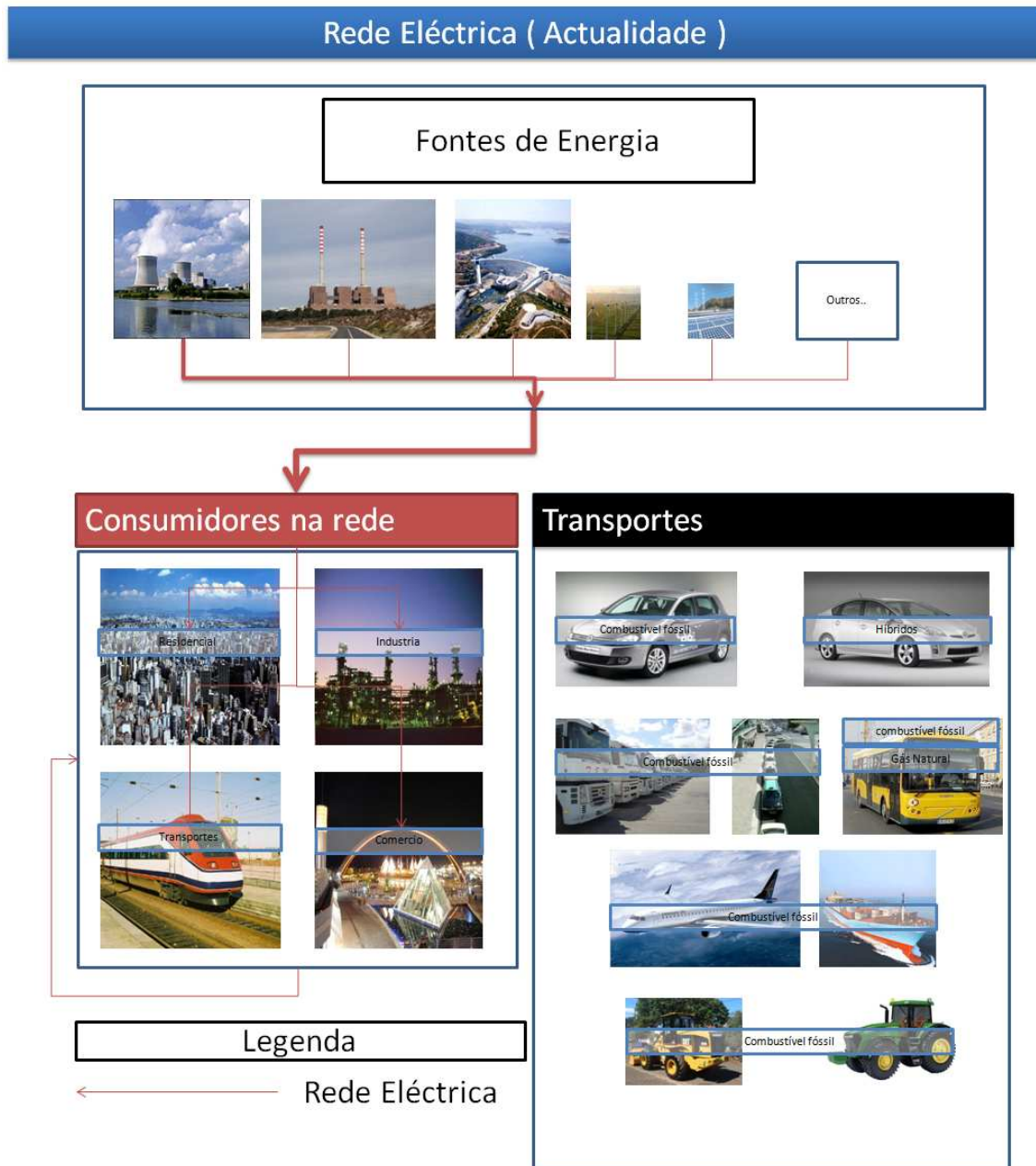


Ilustração 76- Rede Eléctrica (Actualidade)

A tendência actual dos diferentes países é reduzir emissões de CO₂ e consumos de petróleo. Esta tendência é comprovada com o aparecimento de veículos híbridos, veículos onde se têm reduzido as emissões de CO₂ e consumos. Os governos tem insentivado a utilização e implementação de energia renováveis. Aqui aparece uma nova configuração de rede, com maior influência das energias renováveis, veículos com menores emissões, e a entrada dos veículos eléctricos e os veículos eléctricos híbridos “Plug in”. Como está esquematizado na ilustração seguinte

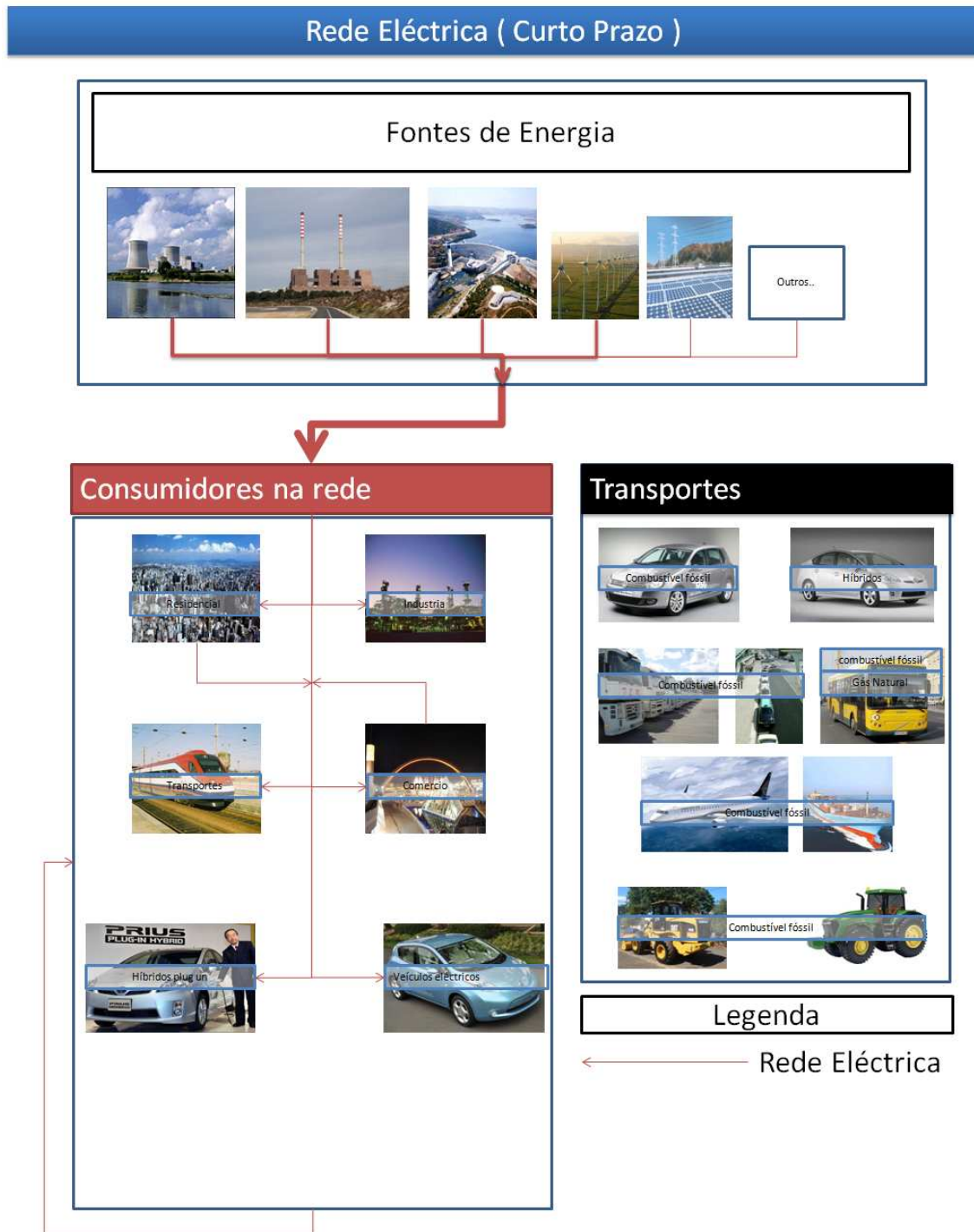


Ilustração 77-Rede Eléctrica (Curto Prazo)

Com o aparecimento de veículos que necessitam de abastecer as suas baterias na rede eléctrica, existe a necessidade de implementação de postos de abastecimento (Descritos no ponto 3.1.3) .

Com a maturação de tecnologia, e uma boa adesão por parte dos utilizadores de veículo eléctricos, a rede eléctrica a médio prazo aparece então com os veículos

eléctricos amplamente generalizados no transporte de pessoas. A rede apresentará a configuração apresentada na ilustração seguinte.

Existirá também a generalização de utilização de energias renováveis em habitações, indústria, comércio e também na geração de energia, tornando a mobilidade terrestre mais eficiente.

O utilizador do veículo eléctrico aderirá então a uma nova filosofia de utilização da rede, onde poderá carregar o seu veículo em postos de abastecimento, no estacionamento do trabalho, vender energia em horas de maior necessidade de energia, maximizando a utilização das baterias. Esta conclusão tem como base o ciclo apresentado no capítulo 4 ilustração 28.

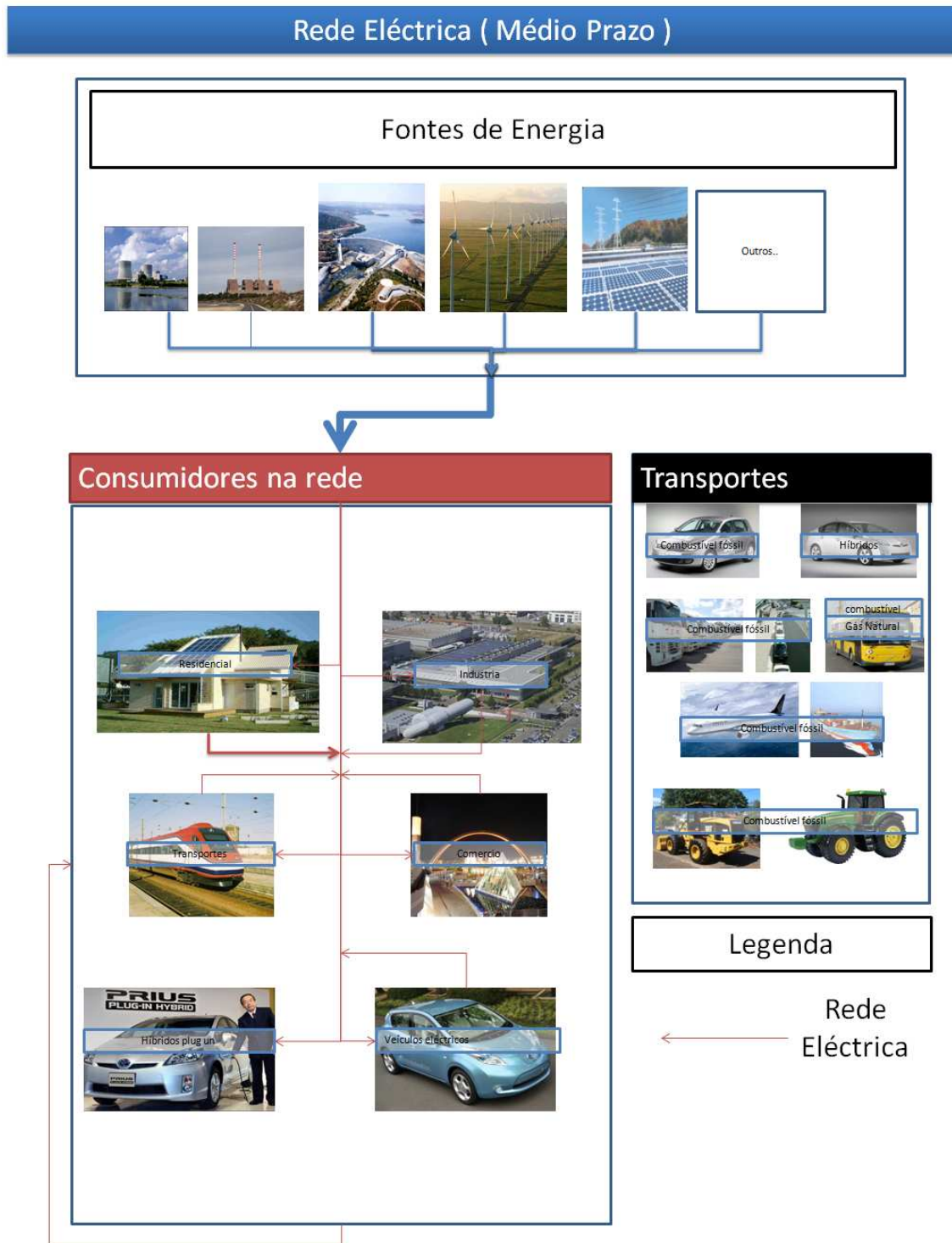


Ilustração 78- Rede Eléctrica (Médio Prazo)

Numa perspectiva de que os derivados do petróleo atingirão custos de utilização tão elevados que não compense a sua utilização, surgirá um novo paradigma energético. As principais fontes de energia serão a energia nuclear, a energia hidroeléctrica, solar, eólica, bio-combustíveis mas também uma nova forma de transportar e armazenar energia através do hidrogénio e bio-combustíveis.

Os bio-combustíveis irão ter um papel importante na nova rede eléctrica, porque irão ter a função de abastecer as centrais termoeléctricas, mas também os principais tipos de veículos onde seja inviável adoptar propulsão eléctrica.

Aqui começa a ser utilizado em grande escala o veículo eléctrico a pilha de combustível, mas coexistindo com ele diferentes tipos de veículos eléctricos, como o eléctrico puro e o “Plug in” a bi- combustível.

Para a implementação de veículos eléctricos a hidrogénio, deverão aporecer novas formas de produção de hidrogénio, e formas de converter hidrogénio em electricidade, ou electricidade em hidrogénio.

Existem várias propostas para a implementação de hidrogénio, em habitações como apresentado na ilustração 36 e 37, e com base na investigação teórica feita construí um gráfico onde poderá utilizar hidrogénio numa habitação. Ficando a faltar fundamentação teórica e prática para comprovar os valores apresentados, porque estes valores são apenas estimativas.

Com base nas conclusões atrás apresentadas, espera-se que o veículo eléctrico tenha uma evolução ao longo do tempo, adaptando-se a diferentes tipos de necessidades e fontes de energia com diferentes sistemas de propulsão, com maior ou menor electrificação do veículo, contribuindo para uma mobilidade sustentável. Existirão vários tipos de veículo, conforme a disponibilidade de infra-estruturas, recursos naturais para a implementação de tecnologias e disponibilidade de fontes de energia primária, caminhando para o desenvolvimento de veículos de transporte cada vez mais eficientes, contribuindo para a obtenção de mobilidade sustentável e menos poluente.

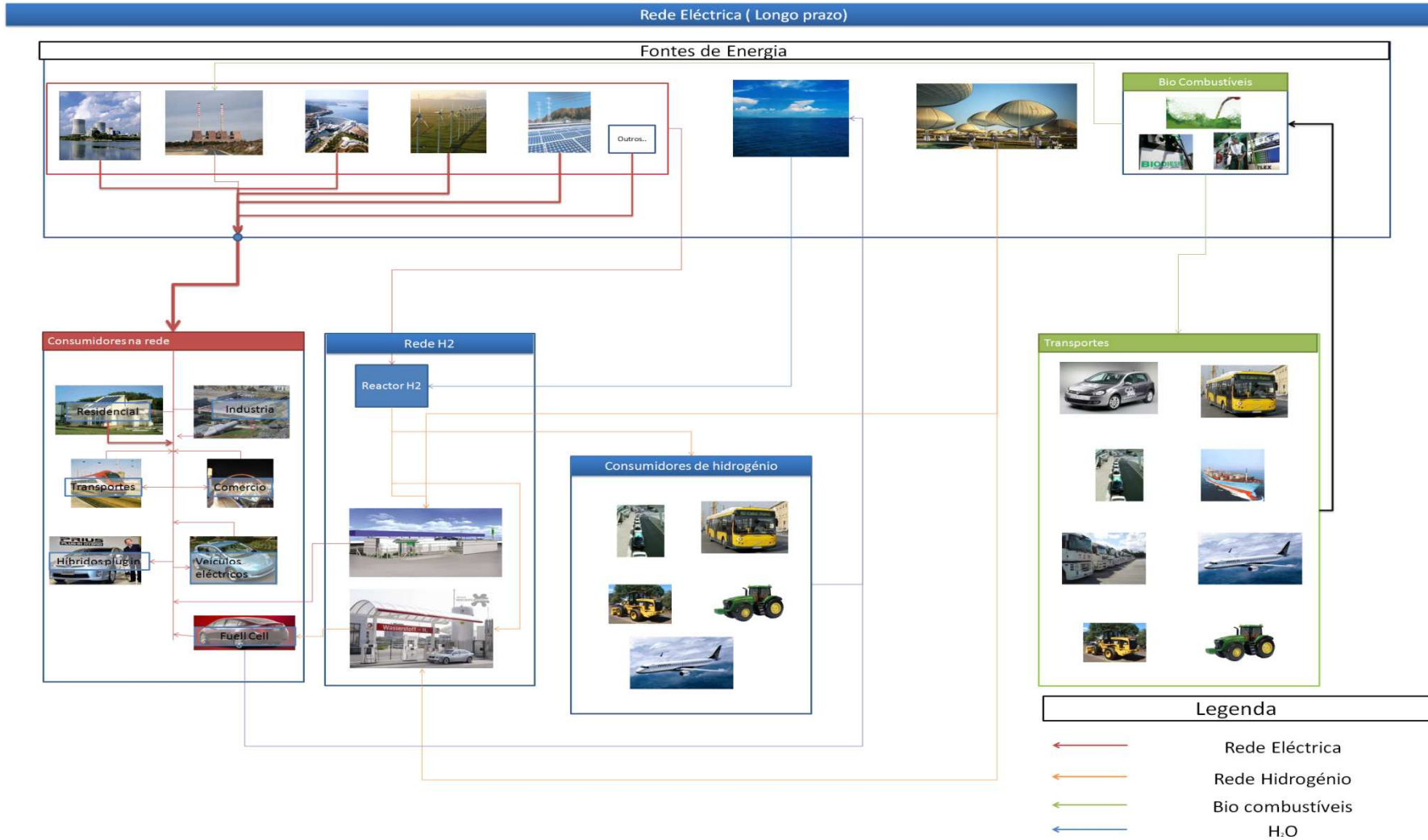


Ilustração 79- Rede Eléctrica (Longo Prazo)

7 Sugestões para Trabalho Futuro

O trabalho realizado permitiu, através da abordagem realizada, retirar algumas conclusões sobre as soluções de transporte com propulsão eléctrica, assim como a previsão de como se irá comportar o veículo eléctrico perante diferentes condições de utilização.

Para uma melhor fundamentação da evolução da rede eléctrica, é importante realizar a mesma simulação feita no veículo eléctrico puro, em veículos eléctricos híbridos e em veículos eléctricos com pilha de combustível. Realizando a comparação entre eles.

Neste trabalho foi focado a importância que as energias renováveis têm na mobilidade sustentável. Para tal será importante conhecer com maior clareza quais são as reais performances desse tipo de soluções. Quando aplicadas em habitações e pontos de abastecimento de veículos eléctricos terão a capacidade de carregar as baterias de um veículo eléctrico?

Relativamente às tecnologias associadas à pilha de combustível, é um ponto que tem muitas interrogações. Sendo importante conhecer as suas performances como bateria e como produtor de hidrogénio. Para ser possível fundamentar o ciclo apresentado na ilustração 39.

Permitir-se-á, assim, retirar mais algumas conclusões que se consideram fundamentais para a fundamentação do trabalho apresentado.

8 Bibliografia

1. **Larminie, James.** *Electric Vehicle Technology Explained.* Oxford : John Wiley & Sons Ltd, 2003.
2. **Prof. P. Capros, Dr. L. Mantzos, V. Papandreou, N. Tasios.** *TRENDS TO 2030 — UPDATE 2007.* Luxembourg : European Commission, 2008.
3. **Granadeiro, Samuel Alexandre Magarreiro.** *Controlo de Motor Assíncrono Aplicado a Veículos Eléctricos.* Monte da Caparica : Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009.
4. *The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles.* **CHAN, C. C.** s.l. : FELLOW, IEEE, 2002, Vol. VOL. 90. 2.
5. **Toyota.** TOYOTA HYBRID SYSTEM. 04 de 2003.
6. **Kazunori Handa, Hiroaki Yoshida.** Development of Next-Generation Electric Vehicle Mitsubishi's i-Mi EV. s.l. : ATZ, 2008.
7. **Explained, Electric Vehicle Technology.** *James Larminie.* England : John wiley e Sons, LDA, 2003.
8. **Ireland, Sustainable Energy.** Hybrid Electric and Battery Electric Vehicles. *Version 1.* 2007.
9. **Corporation, Toyota Motor.** *Toyota Business Strategy Meeting 2008.* 2 de October de 2008.
10. **GM.** GM-VOLT.com. *GM-VOLT.com.* [Online] 2010. <http://gm-volt.com/>.
11. **Honda.** automobiles.honda. *automobiles.honda.* [Online] 3 de 2009. [Citação: 8 de 7 de 2008.] <http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/interior-photos.aspx>.
12. *De onde vem o Hidrogénio.* **foco, Auto.** 2009, Auto Foco.
13. **Silva, Vasco Sérgio Correia Freitas.** Células de combustível. *Células de combustível.* [Online] 2003. [Citação: 5 de 12 de 2008.] <http://celulasdecombustivel.planetaclix.pt/>.
14. **Leon, Dr. Aline.** *Hydrogen Technology.* s.l. : Springer, 2008.
15. **Heywood, Matthew A. Kromer and John B.** *Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet.* s.l. : Laboratory for Energy and the Environment Massachusetts Institute of Technology, 2007.
16. **Mendonça, Paulo Filipe Ferreira.** Concepção e Requisitos de um Sistema de Recarregamento de um Veículo Eléctrico. Abril de 2008.
17. **mpoweruk.** mpoweruk. [Online] 2010. <http://www.mpoweruk.com/traction.htm>.
18. *Lithium-ion Batteries for Hybrid and Electric Vehicles.* **Keller, Michael.** 2009, ATZ, pp. 11-16.
19. **Møller, Per Jørgensen.** Batteries for Transport. s.l. : NOKIA Denmark, 14th de Jan de 2009.

20. **Dias, João.** A Nova Mobilidade. 2009.
21. **Watanabe, Katsuaki.** Toyota's Environmental Initiatives —Sustainability in R&D, Manufacturing, Social Contribution. s.l. : Toyota Motor Corporation, 2008.
22. **Elektromotive.** Elektromotive. [Online] 2010.
<http://www.elektromotive.com/html/index.php>.
23. **TEPCO.** Development of the most suitable infrastructure for commuter electric vehicles. 2008.
24. **MOURA, PEDRO SOARES.** Hidrogénio e células de combustível. s.l. : Instituto de Sistemas e Robótica - Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 3030 Coimbra, 2009.
25. **Honda.** Honda. [Online] 2010. www.honda.com.
26. **Z. Q. Zhu, Senior Member IEEE, and David Howe.** Electrical Machines and Drives for Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. 4 de April de 2007.
27. **M. Zeraouia¹, Student Member, IEEE, M.E.H. Benbouzid¹, Senior Member, IEEE, and D. Diallo², Member, IEEE.** Electric Motor Drive Selection Issues for HEV Propulsion Systems: A Comparative Study. 2005.
28. **Granadeiro, Samuel Alexandre Magarreiro.** *Controlo de Motor Assíncrono Aplicado a Veículos Eléctricos*. Monte da Caparica : Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2009.
29. **Francisco, António.** *Motores Eléctricos*. s.l. : ETEP - Edições Técnicas e Profissionais , 2008.
30. *Traction Systems for Electric vehicles using a variable frequency three-phase Induction Motor Drive with regenerative Braking.* **Afonso, Pedro Nuno da Costa Neves e João L. Guimarães** : Universidade do Minho, 2006. ISBN: 989-9509-50-7.
31. **Hughes, Austin.** From Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, Third Edition. *globalspec*. [Online] 2010.
<http://www.globalspec.com/reference/42927/203279/four-quadrant-operation-and-regenerative-braking>.
32. **Larminie, James.** *Electric Vehicle Technology Explained*. England : John Wiley & Sons Ltd, 2003.
33. **AC Propulsion.** *AC-150 Gen-2 EV Power System*. 441 Borrego Ct., San Dimas, CA 91773 : s.n., 2010.
34. **Ltd, Woodbank Communications.** Electropedia. *Electropedia*. [Online] 2010.
<http://www.mpoweruk.com/performance.htm>.
35. **Fenton, Ron Hodkinson and John.** *Light weight Electric hybrid vehicle design*. Oxford : 2001, 2001.
36. **Wikipedia®.** New European Driving Cycle. *Wikipedia*. [Online] 2010.
http://en.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle.

37. **Heywood, Matthew A. Kromer and John B.** *Electric Powertrains: Opportunities and Challenges in the U.S. Light-Duty Vehicle Fleet*. Cambridge : Laboratory for Energy and the Environment, 2007.
38. **tecnologica, Inovação.** Inovação tecnologica. *Inovação tecnologica*. [Online] 07 de 10 de 2010. [Citação: 07 de 10 de 2009.]
[http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/meta.php?meta=Tecnologia Automotiva](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/meta.php?meta=Tecnologia%20Automotiva).
39. **inovacaotecnologia.** inovacaotecnologia. *inovacaotecnologia*. [Online] 2010.
<http://www.inovacaotecnologia.com.br/>.
40. *Silicon air batteries.* **Gil Cohn, Davida Starosvetsky, Rika Hagiwara Digby D Macdonald Yai Ein-Eli.** 2009, *Electrochemistry Communications*, pp. Vol.: 11 Issue 10 Pages 1916-1918.
41. **PERIFÉRICOS, TECNOLOGIAS DE MICRO-GERAÇÃO E SISTEMAS.** *Pilhas de combustível*. 2008.
42. **autoblog.** green.autoblog.com. *green.autoblog.com*. [Online] 2006. green.autoblog.com.
43. **Aníbal T. de Almeida, Paula Fonseca, Ricardo J. Sousa Lima.** *Células de combustível para uso residencial*. 2009.
44. **National Fuel Cell Research Center.** National Fuel Cell Research Center. *National Fuel Cell Research Center*. [Online] 2010.
[http://www.nfrcr.uci.edu/2/ACTIVITIES/PROJECTS/hydrogen/ElectrolyzerandReversibleFuel Cell.aspx](http://www.nfrcr.uci.edu/2/ACTIVITIES/PROJECTS/hydrogen/ElectrolyzerandReversibleFuelCell.aspx).

9 Anexos

ANEXO 00- PERSPECTIVAS DE ENERGIA NA EUROPA

ANEXO 01- EXEMPLO DE VEÍCULOS ELÉCTRICOS PUROS

ANEXO 02- EXEMPLO DE VEÍCULOS ELÉCTRICOS HÍBRIDOS

ANEXO 03- EXEMPLO DE VEÍCULOS ELECTRICOS A PILHAS DE COMBUSTÍVEL V1

ANEXO 04- PARÂMETROS DAS BATERIAS

ANEXO 05- FILOSOFIA DE DESENVOLVIMENTO DE VEÍCULOS ELÉCTRICOS

ANEXO 06- FONTES DE ENERGIA EXTERNA

ANEXO 09- CARACTERÍSTICAS_ACUMULADORES

ANEXO 12- TIPOS DE ACUMULADORES

ANEXO 13- ACUMULADORES EM INVESTIGAÇÃO

ANEXO 15- CARACTERÍSTICAS DE VEÍCULOS ELÉCTRICOS

ANEXO 16-ACUMULADORES UTILIZADAS EM SIMULAÇÃO

ANEXO 17- DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA ACUMULADORES E MOTORES