



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL-PEI

JEFERSON TONDO ALVES

**VEÍCULOS ELÉTRICOS: DIFUSÃO NO MERCADO BRASILEIRO E
MUNDIAL, CENÁRIOS E PERSPECTIVAS DE CRESCIMENTO**

Orientador:

Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres

Coorientador:

Prof. Dr. Jorge José Gomes Martins

Salvador
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Jeferson Tondo Alves

**VEÍCULOS ELÉTRICOS: DIFUSÃO NO MERCADO BRASILEIRO E
MUNDIAL, CENÁRIOS E PERSPECTIVAS DE CRESCIMENTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Industrial.

Orientador:

Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres

Coorientador:

Prof. Dr. Jorge José Gomes Martins

Salvador
2014

Alves, Jeferson Tondo

Veículos Elétricos: Difusão no mercado Brasileiro e Mundial,
cenários e perspectivas de crescimento / Jeferson Tondo Alves
– Salvador, 2014.

137 p. : il. color.

Orientador: Prof. Ednildo Andrade Torres

Coorientador: Prof. Jorge José Gomes Martins

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Escola Politécnica, 2014.

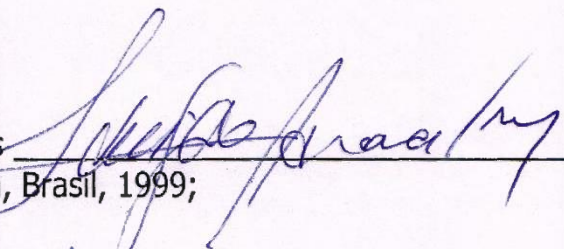
1. Emissões. 2. Tecnologias. 3. Veículos Elétricos.
I. Torres, Ednildo Andrade. II Título.

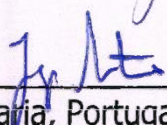
“VEÍCULOS ELÉTRICOS: DIFUSÃO NO MERCADO BRASILEIRO E MUNDIAL, CENÁRIOS E PERSPECTIVAS DE CRESCIMENTO”.

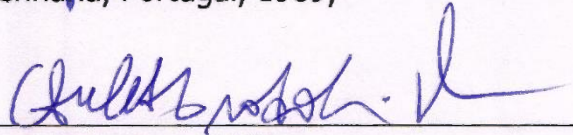
JEFERSON TONDO ALVES

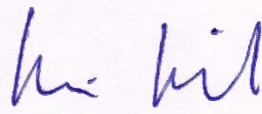
Dissertação submetida ao corpo docente do programa de pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Industrial.

Examinada por:

Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres 
Doutor em Engenharia Mecânica, Brasil, 1999;

Prof. Dr. Jorge Martins 
Doutor em Ciências de Engenharia, Portugal, 1989;

Prof. Dr. Osvaldo Soliano 
Doutor em Política Energética, Inglaterra, 1992;

Prof. Dr. Denis Gilbert Francis David 
Doutor em Espectroscopia Atômica, França, 1979;

Salvador, BA - BRASIL
Abril/2014

Conforme resolução do Programa, o conjunto de orientadores teve a representação de 1 (um) único voto no parecer final da banca examinadora.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã pelo apoio e compreensão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres, pela confiança, cobrança e paciência durante todo o mestrado.

Ao Prof. Dr. Jorge Martins, da Universidade do Minho, por todo auxílio.

Aos colegas do Grupo de Eletrônica de Potência e Energia da Universidade do Minho, em nome do Coordenador Prof. Dr. João Luiz Afonso e do mestrando Ricardo Silva, pelo suporte ao me ajudar durante o período em que estive em Guimarães, Portugal.

Aos colegas do Laboratório de Energia e Gás da Universidade Federal da Bahia.

A todos que, de alguma forma, participaram do desenvolvimento desta dissertação de mestrado.

FRASE

“A persistência é o menor caminho do êxito”.
(Charles Chaplin)

RESUMO

Nesta dissertação, foram realizadas diversas pesquisas bibliográficas relacionadas aos veículos elétricos no Brasil e no Mundo. Sua história, configurações e tipos, sistemas de propulsão, controle e armazenamento de energia, englobando os veículos elétricos já desenvolvidos no Brasil e as suas comercializações no cenário mundial. Outro tema enfatizado, nesta dissertação, é o constante crescimento nas vendas de veículos a combustão e, conseqüentemente, das emissões geradas por esses veículos, prejudiciais a saúde humana. Tais emissões têm sido tema de diversas pesquisas que buscam soluções capazes de diminuir esses poluentes. Pensando em uma frota veicular brasileira totalmente elétrica, foi realizada uma estimativa de produção de energia elétrica para abastecer tais veículos. O objetivo visa estimar alternativas, em longo prazo, que venham solucionar os problemas com emissões de poluentes cada vez mais frequentes. A introdução de veículos não poluentes - a exemplo dos veículos elétricos - os quais não geram poluição durante sua circulação, o torna um importante aliado para uma redução significativa dos gases emitidos por veículos a combustão, buscando uma política de transporte sustentável. Para estudar os veículos elétricos são necessários, também, estudos e desenvolvimento de tecnologias em baterias, motores elétricos e controladores, este essencial para gerir a autonomia. Os países que mais apoiam o desenvolvimento dessas tecnologias são os que mais possuem veículos elétricos em circulação, muito porque isentam o proprietário de pagamento de diversos impostos, tornando competitiva a venda comparada aos veículos convencionais. Para que um dia o Brasil se una a esses, são necessárias adaptações nas leis do país, visando a implantação de veículos elétricos. Estudos sobre a situação dos veículos elétricos no cenário mundial são tratados nessa dissertação, contendo, assim, referências quanto às vantagens e desvantagens desses veículos no âmbito mundial.

Palavras-chave: Emissões, Tecnologias, Veículos Elétricos.

ABSTRACT

In this dissertation, several bibliographical researches related to electric vehicles in Brazil and in the world have been achieved, since its history, configurations and types, propulsion systems, control and energy storage, going through electric vehicles already developed in Brazil, and trades in the global scenario. Another theme emphasized in this dissertation is the constant growth in sales of combustion vehicles, and consequently growth of emissions from such vehicles, which harm human health and that has been the subject of several researches, seeking solutions that are able to reduce these pollutants. Thinking of a Brazilian all-electric vehicle fleet, an estimate of electricity production to supply these vehicles have been made, with the objective of estimating long-term alternatives so that they will solve problems with increasingly frequent pollutant emissions. The introduction of clean vehicles, like the electric ones, which do not generate pollution during its circulation, makes it an important ally to a significant reduction of gases emitted by combustion vehicles, seeking a sustainable transport policy. Studies and development of battery technologies, electric motors and controllers, the latter essential for managing autonomy, are also required to study electric vehicles. The countries that support the development of these technologies are the ones that have electric vehicles on the road, much because these countries exempt the owner from payment of various taxes, making the sale competitive compared to conventional vehicles. In order for Brazil to join one of these countries, adaptations are necessary in country laws aiming at the deployment of electric vehicles. Studies that bring to light the situation of electric vehicles in the global scenario are treated in this dissertation thus containing references about the advantages and disadvantages of such vehicles worldwide.

Keywords: Emissions, Technologies, Electric Vehicles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ford Comuta (1967).....	23
Figura 2 - Série do GM 512 (1969).....	23
Figura 3 - Toyota Prius (1997).....	24
Figura 4 - Honda Insight (1999).....	25
Figura 5 - Configuração de um veículo elétrico puro.....	25
Figura 6 - Mitsubishi i-Miev.....	26
Figura 7 - BMW Mini E	26
Figura 8 - Daimler Smart ED	27
Figura 9 - VW E-UP	27
Figura 10 - Sistema Híbrido Série	28
Figura 11 - Chevrolet Volt.....	29
Figura 12 - Sistema Híbrido Paralelo	29
Figura 13 - Honda Insight.....	30
Figura 14 - Sistema Híbrido Série/ Paralelo	31
Figura 15 - Sistema Híbrido Série/ Paralelo	31
Figura 16 - Toyota Prius.....	31
Figura 17 - Motores de Corrente Alternada	32
Figura 18 - Principais tipos de Motores de Corrente Contínua.....	33
Figura 19 - Baterias Secundárias (recarregáveis)	34
Figura 20 - Pilhas Primárias (não recarregáveis)	34
Figura 21 - Baterias de Chumbo-Ácido	35
Figura 22 - EV1 (GM)	35
Figura 23 - Bateria AGM.....	36
Figura 24 - Bateria de Gel	36
Figura 25 - Baterias de Níquel-Metal-Hidreto	37
Figura 26 - Pálio Weekend e Bateria Zebra	37
Figura 27 - Lítio-Íon-(Nano) Fosfato	39
Figura 28 - Lítio-Ion-Óxido de Titânio	39
Figura 29 - Lítio-Ion-Polímero.....	40
Figura 30 - Bateria de Lítio-Ar	41
Figura 31 - Ultracapacitores, módulo de sistema Honda.....	42
Figura 32 - Processo de um Sistema de Fluxo Redox	43
Figura 33 - Controlador de Corrente Contínua.....	44
Figura 34 - Gurgel Itaipu 1974.....	44
Figura 35 - Gurgel Itaipu E400 1980	45
Figura 36 - Saveiro Elétrica WEG	46
Figura 37 - Gurgel Supermini e estrutura tubular	47
Figura 38 - Palio Weekend Elétrico	48
Figura 39 - Componentes do Kit Elétrico KWO	48
Figura 40 - Iveco Daily 55 C/E.....	49
Figura 41 – Marruá AM 50.....	50
Figura 42 - Mini-ônibus Elétrico Gran Mini	51
Figura 43 - Veículo Elétrico SEED	51
Figura 44 - Veículo Elétrico Tree.....	52
Figura 45 - VE JAD	53
Figura 46 - VE Renault Zoe ZE x Renault CLIO Authentique.....	59
Figura 47 - Fatores que influenciam na compra de um veículo.....	63
Figura 48 - Protótipo Veículo Elétrico Solar.....	65

Figura 49 - Interface do Banco de Dados: Veículo REVA	66
Figura 50 - Kart de competição antes da modificação.....	66
Figura 51 - Kart de competição depois da modificação.....	67
Figura 52 - Aumento do número de veículos por ano	69
Figura 53 - Poluição anual gerada por veículos a combustão.....	70
Figura 54 - Consumo de energia necessária para recarregar a frota de veículos leves totalmente elétricos	72
Figura 55 – Entre os anos de 2013 e 2020 tendo em vista o preço da energia elétrica	73
Figura 56 - Oferta interna de energia elétrica de 2012.....	74
Figura 57 – Comercialização de 50 % dos veículos sendo elétricos entre 2014 e 2020	75
Figura 58 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2012.....	79
Figura 59 - Comercialização de VEs em 2012	83
Figura 60 - Comercialização de Plug-in híbrido em 2012.....	83
Figura 61 - Vendas de VEs e VEH por modelo Japão	84
Figura 62 - Vendas de VEs e VEH no Japão, entre 2009 e Jun. 2013.....	85
Figura 63 - Comparação da venda de BEV e HEV em 24 meses	86
Figura 64 - Vendas de VEs e VEH por modelo EUA.....	86
Figura 65 - Vendas de VEs e VEH nos EUA.....	87
Figura 66 - Vendas de VEs e VEH por modelo CHINA	88
Figura 67 - Vendas de VEs e VEH por modelo FRANÇA.....	89
Figura 68 - Vendas de VEs e VEH na FRANÇA	90
Figura 69 - Vendas de VEs e VEH por modelo NORUEGA	91
Figura 70 - Vendas de VEs e VEH na NORUEGA	92
Figura 71 - Vendas de VEs e VEH por modelo ALEMANHA.....	92
Figura 72 - Vendas de VEs e VEH na ALEMANHA	93
Figura 73 - Vendas de VEs e VEH por modelo REINO UNIDO	94
Figura 74 - Vendas de VEs e VEH no REINO UNIDO	95
Figura 75 - Vendas de VEs e VEH por modelo HOLANDA.....	96
Figura 76 - Vendas de VEs e VEH na HOLANDA.....	96
Figura 77 - Vendas de VEs e VEH por modelo CANADA	97
Figura 78 - Vendas de VEs e VEH no CANADA	98
Figura 79 - Veículos Elétricos mais vendidos entre 2010 e Jun. 2013.....	99
Figura 80 - Veículos Híbridos mais vendidos entre 2010 e Jun. 2013	100
Figura 81 - Dados de VEs nos Continentes	101
Figura 82 - Número de empresas e modelos de VEs.....	102
Figura 83 - Empresas que mais possuem modelos de VEs.....	103
Figura 84 - Quadrantes	106
Figura 85 - Retificador ca/cc.....	107
Figura 86 - Esquemática Retificador ca/cc	109
Figura 87 - Motor PMG 132.....	109
Figura 88 - Controlador AXE 7234	111
Figura 89 - Controlador Kelly PM 72301	112
Figura 90 - Motor Elétrico e Dinamômetro.....	113
Figura 91 - Motor Test Bench e Osciloscópio.....	114
Figura 92 - Potência x Rotação x Torque (controlador AXE).....	116
Figura 93 - Potência x Rotação controlador x Torque (controlador Kelly)	116
Figura 94 - Potências controladores.....	117
Figura 95 – Rendimentos	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação Motor CC e CA.....	32
Tabela 2 - Poluente produzido por veículos leves no Brasil	58
Tabela 3 - Emissões geradas por metade das vendas de veículos a combustão	76
Tabela 4 - Consumo de metade das vendas de Veículos Elétricos	76
Tabela 5 – Comparação entre VE e Convencional ao longo da vida	78
Tabela 6 – Emissões geradas ao longo da vida dos veículos convencionais	78
Tabela 7 - Datasheet Motor PMG 132.....	110
Tabela 8 - Datasheet Motor PMG 132.....	110
Tabela 9 - Datasheet controlador AXE.....	111
Tabela 10 - Datasheet Kelly PM 72301.....	112
Tabela 11 - Incerteza das Potências	117
Tabela 12 - Incerteza dos Rendimentos.....	118

LISTA DE SIGLAS

ABVE – Associação Brasileira do Veículo Elétrico
AGM – Absorbent Glass Mat
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CA - Corrente Alternada
CC - Corrente Contínua
CGEE – Centro de Gestão e Estudo Estratégicos
CGH - Centrais Geradoras Hidrelétricas
CH₄ – Metano
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ - Dióxido de Carbono
COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social,
DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito
EOL - Centrais Geradoras Eólicas
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
EUA - Estados Unidos da América
GEE - Gases do Efeito Estufa
GM - General Motors
ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadorias
INAE - Instituto Nacional de Altos Estudos
IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change
IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados
IPVA - Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores
KWO - Kraftwerke Oberhasli
MME – Ministério de Minas e Energia
MP – Material Particulado
NiMH - Sódio-Metal-Hidreto
NMHC – Hidrocarbonetos não metano
NO_x – Óxido Nitroso
OMS - Organização Mundial de Saúde
OPEP - Organização dos Países Exportadores de Petróleo

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PIS - Programa de Integração Social

RCHO – Aldeídos

RENAVAM – Registro Nacional de Veículos Automotores

UFV - Centrais Geradoras Solares Fotovoltaicas

UHE - Usinas Hidrelétricas

UTE - Usinas Termelétricas

VEH – Veículo Elétrico Híbrido

VEs – Veículos Elétricos

VEZ - Veículo Emissões Zero

VRLA - Baterias de chumbo-ácido regulada por válvula

VW – Volkswagen

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Justificativa.....	18
1.2. Objetivo	19
1.3. Objetivos específicos	20
1.4. Estrutura e organização	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1. História dos Veículos Elétricos (VEs)	22
2.2. Tipos de Veículos Elétricos	25
2.2.1. Veículo Elétrico a bateria	25
2.2.1.1. Exemplos de Veículos Elétricos a bateria.....	26
2.2.2. Veículos Híbridos	28
2.2.2.1. Veículo Híbrido Série.....	28
2.2.2.2. Veículo Híbrido Paralelo	29
2.2.2.3. Veículo Híbrido Série/ Paralelo.....	30
2.3. Motores Elétricos.....	32
2.3.1. Motores de Corrente Alternada (CA).....	32
2.3.1.1. Motores Síncronos.....	33
2.3.1.2. Motores Assíncronos (indução)	33
2.3.2. Motores de Corrente Contínua (CC)	33
2.4. Baterias	34
2.4.1. Tipos de baterias secundárias.....	34
2.4.1.1. Baterias de chumbo-Ácido.....	34
2.4.1.2. Baterias VRLA	35
2.4.1.3. Baterias de Níquel-Metal-Hidreto.....	36
2.4.1.4. Baterias de Sódio-Metal-Hidreto.....	37
2.4.1.5. Baterias de Lítio.....	38
2.4.1.5.1. Lítio-íon-(nano) Fosfato	38
2.4.1.5.2. Lítio-íon-Óxido de Titânio	39
2.4.1.5.3. Lítio-íon-Polímero	39
2.4.1.5.4. Lítio-íon-Ar.....	40
2.4.1.6. Supercapacitores ou Ultracapacitores	41
2.4.1.7. Baterias Redox	42
2.5. Sistemas de Controle	43
2.6. Veículos Elétricos no Brasil	44
2.6.1. Gurgel Elétrico Itaipu.....	44
2.6.2. Gurgel Elétrico Itaipu E-400	45
2.6.3. Saveiro Elétrica WEG.....	46
2.6.4. Projeto Gurgel Supermini UNICAMP	47
2.6.5. Palio Weekend Elétrico	47
2.6.6. Iveco Daily Elétrico.....	49
2.6.7. Agrale Marruá.....	49
2.6.8. Mini-ônibus Elétrico Granmini.....	50
2.6.9. SEED	51
2.6.10. TREE	52
2.6.11. JAD	52
2.6.12. RESUMO CAP. 2, PARTE 2.6.....	54

2.7. A poluição das grandes cidades brasileiras e a introdução dos veículos elétricos no Brasil	56
2.8. Fatores que influenciam na compra de um veículo	63
2.9. Laboratório de Energia da Universidade Federal da Bahia	64
3. COMBUSTÍVEIS, ENERGIA E FROTA BRASILEIRA TOTALMENTE ELÉTRICA.....	68
3.1. Crescimento estimado da frota veicular leve brasileira a combustão e suas emissões até 2020.....	68
3.2. Frota brasileira totalmente elétrica e estimativa de produção de energia elétrica para abastecer esses veículos	71
3.3. Estimativa de 50 % das vendas de veículos leves elétricos comercializados no Brasil entre 2014 e 2020	75
3.4. Gastos com Veículos Elétricos e veículos a combustão ao longo de sua vida útil.....	76
3.5. Fontes geradoras de energia no Brasil	78
3.6. RESUMO CAP. 3	81
4. PAÍSES QUE MAIS POSSUEM VEÍCULOS ELÉTRICOS EM CIRCULAÇÃO...83	
4.1. Incentivos dos governos e números de veículos elétricos por país.....	84
4.1.1. Japão	84
4.1.2. Estados Unidos da América (EUA)	85
4.1.3. China.....	87
4.1.4. França	88
4.1.5. Noruega	90
4.1.6. Alemanha	92
4.1.7. Reino Unido.....	93
4.1.8. Holanda.....	95
4.1.9. Canadá.....	97
4.1.10. Comparação das vendas de Veículos Elétricos.....	98
4.1.11. Comparação das vendas de Veículos Elétricos Híbridos	99
4.2. Veículos Elétricos e o mercado consumidor.....	100
4.3. RESUMO CAP. 4	104
5. ANÁLISE EXPERIMENTAL DE DOIS CONTROLADORES PARA A INSTALAÇÃO EM UM KART ELÉTRICO DE COMPETIÇÃO.....	105
5.1. Experimentos controladores.....	106
5.1.1. Cálculo de incerteza.....	107
5.1.2. Retificador de corrente (CA/ CC).....	108
5.1.3. Motor elétrico Heinzmann	109
5.1.4. Controladores.....	110
5.1.4.1. Controlador AXE 7234.....	111
5.1.4.2. Controlador Kelly PM 72301	112
5.1.5. Resultados e Discussão	113
6. CONCLUSÃO 120	
6.1. TRABALHOS FUTUROS	122
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123

1. INTRODUÇÃO

Veículos Elétricos (VEs) são automóveis que incorporam motor elétrico, controlador e bateria para seu funcionamento, diferenciando-se dos veículos convencionais, que, por sua vez, são mais complexos.

Na última década o VE vem ganhando crescente interesse em todo o mundo, a ponto de ser considerado uma solução em longo prazo, visando o transporte sustentável. O primeiro VE surgiu em 1834 e utilizava baterias não recarregáveis, porém, somente após a invenção das baterias de chumbo-ácido recarregáveis, desenvolvidas por Gaston Plante em 1859, o mercado motivou novamente o interesse por VEs. Em consequência disso, no final da década de 1890, os VEs eram maioria absoluta de vendas. No entanto, com o desenvolvimento mais avançado dos veículos a combustão a partir de 1905, os VEs acabaram por perder espaço no mercado automotivo. Apesar disso, os VEs continuaram sendo comercializados até meados da década de 20, quando definitivamente perderam espaço, isto ocorreu devido sua baixa velocidade e autonomia comparados aos veículos a combustão da época (CHAN, 2007).

Os VEs ressurgiram novamente no final da década de 60, após 40 anos de descaso com essa tecnologia. Sendo as montadoras GM, Ford e Renault as primeiras a produzirem VEs. Porém, esses veículos, não foram bem-sucedidos como previsto e não satisfizeram o gosto dos consumidores, que já estavam adaptados aos veículos a combustão (BARAN, 2012).

Entretanto, com o aumento da demanda por petróleo importado, os Estados Unidos da América (EUA), na década de 80, buscando alternativas para diminuir essa dependência, principalmente dos países árabes, instituíram leis que incentivaram o desenvolvimento do mercado automotivo de VEs. Esta iniciativa foi seguida mais tarde pelo Japão e alguns países da Europa e foi fundamental para o progresso dos VEs, gerando, assim, desenvolvimento de novas tecnologias e uma maior aceitação por parte da população, que começou a enxergar os VEs como possível alternativa de

locomoção sem poluição e não dependente do petróleo (PELLINI; GOLDEMBERG; LEBENSTAJN, 2005).

A motivação para a realização deste trabalho foi gerada a partir de ideias de sustentabilidade, acreditando em um mundo menos dependente do petróleo para o transporte automotivo. O Brasil, sendo um país que detém predominantemente sua matriz energética proveniente de hidroelétricas (mais de 77 %), tem-se como um lugar propício para a inserção de VEs, já que sua fonte geradora de energia elétrica não é poluidora.

No entanto, a implantação de VEs no Brasil ainda depende, em grande parte, de incentivos fiscais por parte dos governos (Federal e Estadual), pois, sem os mesmos, torna-se inviável a implantação desses veículos em larga escala, visto que os preços são mais elevados que os veículos convencionais. A indústria automotiva motivada por questões ambientais e econômicas, visando o setor automotivo no futuro, vem aprimorando as tecnologias existentes e desenvolvendo protótipos de VEs cada vez mais eficientes, visando a concorrência com os veículos a combustão.

Apesar dos inúmeros estudos a respeito de VEs, o que ainda predomina são as vendas de veículos a combustão. Um exemplo disso é o crescimento significativo destas no Brasil entre 2001 e 2012. Enquanto que em 2001 o número de veículos leves girava em torno de 24,5 milhões, em 2012 este número mais do que dobrou, saltou para 50,2 milhões. Esse número expressivo de veículos está concentrado nas 15 principais regiões metropolitanas¹ do país, representando 47,9 % da frota veicular. Essa grande concentração de veículos vem a acarretar em inúmeros congestionamentos, aumento da demanda por combustíveis e também elevação em seu preço. Um exemplo é a gasolina, cuja alta no preço é visível nos últimos anos, uma vez que se pagava R\$ 1,66 em janeiro de 2002, contra R\$ 2,85 em julho de 2013. A ascensão no preço foi de mais de 58 % em 11 anos, o que equivale a 5,3 % de reajuste anualmente.

¹ São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Belo Horizonte (MG), Porto Alegre (RS), Curitiba (PR), Brasília, Campinas (SP), Goiânia (GO), Recife (PE), Fortaleza (CE), Salvador (BA), Vitória (ES), Manaus (AM), Florianópolis (SC) e Belém (PA)

A despeito do constante aumento no preço dos combustíveis, o que está gerando grandes questionamentos ultimamente, é o impacto ambiental ocasionado pelas emissões pelos veículos a combustão dos Gases do Efeito Estufa (GEE). Veículos estes responsáveis pela emissão de 83 % de poluentes à atmosfera. Gases esses prejudiciais à saúde, visto que, segundo dados levantados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), as mortes em 2011 chegaram a 2 milhões de pessoas. Só em São Paulo, nesse mesmo ano, 4.655 pessoas morreram decorrente de problemas causados ou agravados pela poluição. Com a utilização de VEs, elimina-se a preocupação com a poluição nos centros urbanos e também com derivados do petróleo e etanol, já que esses veículos são abastecidos com energia elétrica das baterias e não geram emissões durante sua circulação. A preocupação ambiental com as baterias de hoje em dia não é relevante, pois a grande maioria utilizada em VEs é totalmente reciclável.

Esta dissertação aborda diversos temas relacionados a veículos elétricos, desde sua história, dificuldades para a comercialização no Brasil e o aumento nas vendas desses veículos no cenário mundial. Neste trabalho, também foram efetuadas diversas análises sobre VEs, realizadas através de um banco de dados com mais de 900 VEs cadastrados, além da comparação entre sistemas de controle para a implantação em um kart elétrico de competição.

A dissertação descreve, também, os sistemas de controle e armazenamento de energia, as tecnologias mais recentes, os benefícios à saúde que a implantação de veículos elétricos nas grandes cidades acarretará e os malefícios que a poluição gerada por veículos convencionais gera diariamente.

1.1.Justificativa

Atualmente, existe uma crescente conscientização em relação à preservação do meio ambiente. Uma das principais metas, nas últimas décadas, tem sido relacionada à busca por fontes alternativas de energia e por um desenvolvimento sustentável.

Uma das soluções encontradas é o uso de VEs em substituição aos veículos convencionais, principalmente aos que utilizam derivados de petróleo como combustível. Por tratar-se de um veículo sem emissões de poluentes, baseado em fontes renováveis para a geração de sua energia, no caso do Brasil, pode contribuir significativamente para a redução do aquecimento global. A utilização de VEs traz uma série de benefícios, tanto por não emitir poluentes para a atmosfera e ser renovável, quanto por ser capaz de promover o desenvolvimento econômico de maneira sustentável. Essas características poderão viabilizar, em países onde a energia elétrica é produzida através de fontes renováveis, a redução da dependência do petróleo.

O VE é totalmente renovável e já está em circulação em diversos países como os EUA, Japão e China. Em virtude disso, esses países também são os que mais incentivam a comercialização destes veículos, isentando-os de impostos e colaborando para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Dentro desse contexto, a presente dissertação objetiva a inserção, num futuro próximo, dos VEs na frota de automóveis do Brasil, gerando economia significativa de emissões dos gases de efeito estufa (GEE) e, também, evitando uma série de doenças respiratórias ligadas às emissões de poluentes atuais.

1.2. Objetivo

Realizar uma análise da evolução dos veículos elétricos, fazendo um estudo teórico das novas tecnologias existentes e traçar um panorama atual do mercado e desafios futuros para a implantação desses veículos no cenário automotivo.

1.3. Objetivos específicos

- Realizar uma revisão consolidada do estado da arte com relação às tecnologias disponíveis para veículos elétricos;
- Avaliar quais são os fatores que afetam diretamente na implantação dos veículos elétricos no Brasil;
- Desenvolver uma planilha, de caráter informativo, com o objetivo de indicar quais são os países com maior número de veículos elétricos em circulação e as medidas governamentais adotadas para que a população aderisse ao uso diário destes;
- Analisar e comparar estatisticamente as variáveis dos veículos elétricos presentes em um banco de dados previamente estudado;
- Realizar uma análise experimental, a fim de identificar o melhor sistema de controle a ser instalado em um kart elétrico de competição.

1.4. Estrutura e organização

Esse trabalho está estruturado e organizado em sete capítulos. O Capítulo 1, Introdução, apresenta os temas a serem abordados, caracterizando os desafios e as contribuições para superá-los.

O Capítulo 2 traz a fundamentação teórica e a revisão bibliográfica sobre o tema. Refere-se a um panorama de nível mundial e brasileiro sobre veículos elétricos, sua história, os modelos, seus sistemas e o desenvolvimento de novas tecnologias.

No Capítulo 3, encontra-se a estimativa de crescimento da frota de veículos e suas emissões, além da contextualização de um cenário com uma frota de veículos leves elétricos.

O Capítulo 4 apresenta os países que mais possuem veículos elétricos em circulação no mundo.

No Capítulo 5, é apresentada uma análise experimental de dois controladores, seguido do Capítulo 6 com a conclusão e as sugestões. Em seguida, no 7, o enfoque são as referências bibliográficas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. História dos Veículos Elétricos (VEs)

A história dos veículos elétricos começou antes mesmo dos veículos a combustão, e pode ser dividida em quatro fases: inicial, ressurgimento, crise do petróleo e o crescente interesse da população mundial.

A fase inicial, que durou 10 anos (1895 - 1905), se destacou pela produção massiva dos veículos elétricos, onde se desenvolveu a popularidade e a confiança nestes veículos. Destaca-se que, em 1900, existiam 1.575 Veículos Elétricos e 936 a Gasolina (AMARAL, 1998). A revista Scientific American publicou, em 1899, um trecho que ressaltava a importância da eletricidade para os veículos, como transcrito abaixo:

“A eletricidade é ideal para veículos, pois ela elimina os dispositivos complicados associados aos motores movidos à gasolina, vapor e ar comprimido, evitando o ruído, vibração e calor associados”.

No ano de 1906, a evolução dos veículos com motores de combustão interna, combinado com o baixo preço do petróleo nos Estados Unidos que descobrira novos poços, fez com que as vendas de VE tivessem uma redução significativa, abandonando, temporariamente, os estudos sobre o aperfeiçoamento dessa tecnologia (Barreto, 1986).

O barril de petróleo teve um aumento significativo em 1913, o que fez voltar o interesse por veículos elétricos. Neste período de crise, Thomas Edison apresentou baterias de níquel-ferro com capacidade de armazenamento 35 % maior que as já utilizadas, aumentando a vida útil e diminuindo a manutenção. Esses aperfeiçoamentos fizeram com que a autonomia dos veículos elétricos também

aumentasse. No entanto, a partir da década de 20 até o início dos anos 60, praticamente nada de novo surgiu (PELLINI; GOLDEMBERG; LEBENSTAJN, 2005).

O veículo elétrico nunca desapareceu por completo, mas em meados de 1967 a Ford desenvolveu o Ford Comuta (Figura 1), um veículo pequeno com capacidade para dois adultos e uma criança. Seguindo na mesma linha a General Motors (GM) lançou, em 1969, a série 512 (Figura 2), onde foram desenvolvidos três tipos de veículos: elétrico puro, elétrico-gasolina e um só a gasolina. Todos também de pequeno porte e com capacidade para duas pessoas (PELLINI; GOLDEMBERG; LEBENSTAJN, 2005).



Figura 1 - Ford Comuta (1967)
Fonte: Car Styling



Figura 2 - Série do GM 512 (1969)
Fonte: Cable News Network – CNN Money

Com a crise do petróleo, que se iniciou em 1973, a partir do apoio dos Estados Unidos a Israel, durante a Guerra do Yom Kippur, os países árabes membros

da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) aumentaram o preço do barril de petróleo em mais de 300 %. A fim de deixar de serem dependentes do petróleo, os Estados Unidos (EUA) desenvolveram um programa de crescimento para os veículos elétricos, mas a diferença com os veículos a combustão era tão expressiva que não teve aceitação do mercado. Com pouco desenvolvimento na década de 70, o entusiasmo diante do potencial dos veículos elétricos voltou com força total no final dos anos 80, onde os veículos elétricos começaram a ter um significativo avanço tecnológico, ganhando apoio de ambientalistas, governantes e fabricantes de automóveis ao redor do mundo (PELLINI; GOLDEMBERG; LEBENSTAJN, 2005; LEGEY, 2010).

Com o crescente interesse da população mundial, os fabricantes de automóveis começaram a desenvolver protótipos de veículos híbridos e chegaram a ganhar incentivos de seus governos. Porém foi só em 1997, no Japão, que a Toyota lançou o Prius (Figura 3), um sedã híbrido de quatro portas que 3 anos mais tarde chegou aos EUA obtendo sucesso imediato e competindo com o híbrido da Honda Insight (Figura 4) que chegara em 1999 ao mercado americano com enorme sucesso também. (JÚNIOR, 2002).

Esse êxito foi obtido a partir de um novo conceito: o da não dependência do petróleo, e vem crescendo a cada ano, com um grande número de empresas desenvolvendo e aperfeiçoando os veículos elétricos puros e híbridos por todo o mundo.



Figura 3 - Toyota Prius (1997)

Fonte: Modern Racer

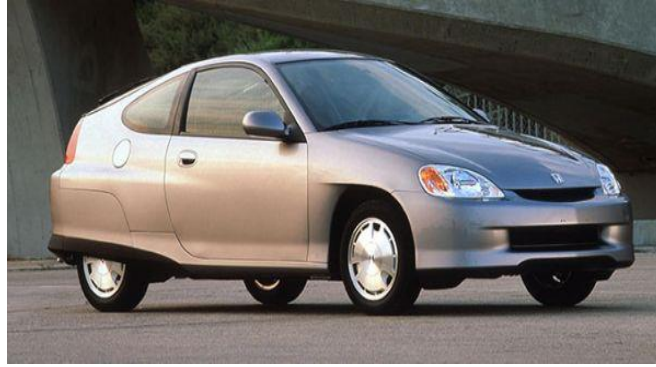


Figura 4 - Honda Insight (1999)
Fonte: NARAYAN 2011

2.2. Tipos de Veículos Elétricos

2.2.1. Veículo Elétrico a bateria

Os veículos elétricos incorporam ao menos um motor elétrico, controlador, baterias e sistema de recarga, como pode ser visto na Figura 5. O conjunto de baterias armazena a energia química, cujo motor elétrico transforma em energia mecânica no motor, que em seu eixo se transforma em movimento nas rodas (ABVE).



Figura 5 - Configuração de um veículo elétrico puro

Uma das maneiras de aumentar a autonomia de um veículo elétrico é através da frenagem regenerativa. Tal sistema permite que a energia cinética de um veículo, que é convencionalmente dissipada pelos freios durante a frenagem, seja armazenada em baterias para uso posterior durante a aceleração (LARMINIE, 2003; CLARKE, et al., 2010).

2.2.1.1. Exemplos de Veículos Elétricos a bateria

O Mitsubishi i-Miev (Figura 6) tem potência no motor elétrico de 69 cavalos (cv), com autonomia de 180 quilômetros (km), a uma velocidade máxima de 130 km/h. Para recarregar as baterias de células de lítio-íon é possível conectar o carregador a uma tomada de 110V ou 220V. Uma carga rápida de 30 minutos preenche 80% da capacidade da bateria (FURLAN, 2013).



Figura 6 - Mitsubishi i-Miev
Fonte: FURLAN, 2013

Um mini elétrico da BMW (Figura 7) roda até 249 km sem precisar reabastecer. Seu motor elétrico gera 204 CV de potência. Além disso, o carro também atinge 100 km/h em 8,5 segundos. Sua velocidade máxima é de 152 km/h (GARCIA, 2012).



Figura 7 - BMW Mini E
Fonte: GARCIA, 2012

O Smart Electric Drive (Figura 8) é equipado com um motor elétrico que gera 76 CV de potência, com autonomia de 145 km quando totalmente carregado. O pequenino carro completa de 0 a 100 km/h em 11,5 segundos (PANARO, 2012).



Figura 8 - Daimler Smart ED
Fonte: PANARO, 2012

O modelo da Volkswagen, o E-UP (Figura 9), é um veículo elétrico a bateria com autonomia de 150 km. A potência máxima do veículo chega a 81 CV, com uma potência contínua de 54 CV e 210 Nm de binário. Esse veículo consegue atingir os 100 km/h em 14 segundos, sendo a velocidade máxima de 135 km/h. A energia, fornecida pelo conjunto de baterias, é de 18.7 kWh localizada sob o piso do carro. O carregamento de 80% da bateria do carro pode ser feito em apenas 30 minutos (BRUCE, 2013).



Figura 9 - VW E-UP
Fonte: BRUCE, 2013

2.2.2. Veículos Híbridos

Veículos híbridos são veículos que funcionam geralmente com um motor de combustão interna combinado com um ou mais motores elétricos. Esse sistema pode ter diversas configurações, sendo elas: série, paralelo e série-paralelo (BUENO, 2004).

2.2.2.1. Veículo Híbrido Série

Nesta configuração em série (Figura 10), o motor a combustão nunca aciona diretamente as rodas, ou seja, o motor de combustão interna aciona o gerador elétrico que, por sua vez, aciona o motor elétrico que movimenta as rodas, essa combinação é chamada de série, pois o motor de combustão e o elétrico estão alinhados em série, permitindo assim, fornecer a corrente de acionamento do motor elétrico e de carga da bateria. O motor elétrico funciona como gerador nas fases de desaceleração e frenagem do veículo, recuperando, desta maneira, o que seria desperdiçado na forma de calor e transformando em energia elétrica para carregar as baterias (LARMINIE, 2003). Exemplos desses tipos de veículos e que podem ter suas baterias recarregadas na rede elétrica convencional são os veículos Chevrolet Volt (Figura 11) (WINNISCHOFER, 2004).

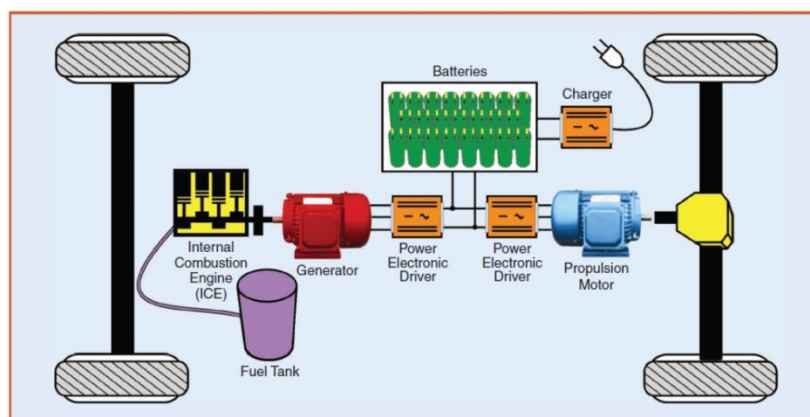


Figura 10 - Sistema Híbrido Série
Fonte: EMADI, 2011



Figura 11 - Chevrolet Volt
Fonte: Globo Auto Esporte, 2013

2.2.2.2. Veículo Híbrido Paralelo

Essa configuração em paralelo (Figura 12) permite o acionamento das rodas, tanto pelo motor de combustão, como pelo motor elétrico. Por conta de o motor de combustão e o motor elétrico acionarem as rodas diretamente, esta configuração necessita de embreagem, sendo assim o sistema de controle buscará o melhor desempenho e economia para veículo, podendo alterná-los conforme a necessidade de potência requerida. Nesse sistema, a potência de acionamento do veículo parte tanto do motor à combustão, quanto do motor elétrico e flui para as rodas em paralelo (LARMINIE, 2003). A bateria é carregada comutando o motor elétrico para funcionar como gerador nas fases de desaceleração e frenagem no veículo (WINNISCHOFER, 2004). Um exemplo é o veículo Honda Insight (Figura 13).

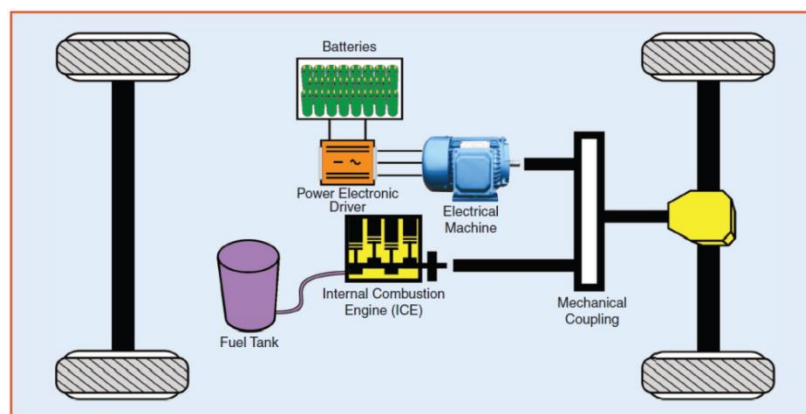


Figura 12 - Sistema Híbrido Paralelo
Fonte: EMADI, 2011



Figura 13 - Honda Insight
Fonte: Auto mobiles Honda, 2013

2.2.2.3. Veículo Híbrido Série/ Paralelo

Esta configuração série/ paralela (Figuras 14 e 15) combina os dois sistemas anteriores maximizando o desempenho de ambos. A mecânica e o sistema elétrico, assim como também o controle eletrônico desse veículo, são mais complexos (MOREIRA, et al, 2009). Esse veículo possui dois motores/geradores (Figura 14) (MG1 e MG2). O sistema utiliza apenas para a potência de acionamento o MG2 ou o motor de combustão e do MG2 simultâneos, para se obter o máximo de potência. Se for necessário o sistema aciona as rodas e, ao mesmo tempo, gera energia elétrica utilizando do MG1 como gerador. O motor elétrico MG2 funciona como gerador nas fases de desaceleração e frenagem do veículo (MANAVELLA, 2011).

Se utilizando de motor elétrico que partem de baixas velocidades, permite, ao fabricante do veículo, utilizar um motor à combustão de menor porte e potência, sem ter a impressão de baixa potência e desempenho final. Veículos como o famoso Toyota Prius (Figura 16) são híbridos série- paralelo.

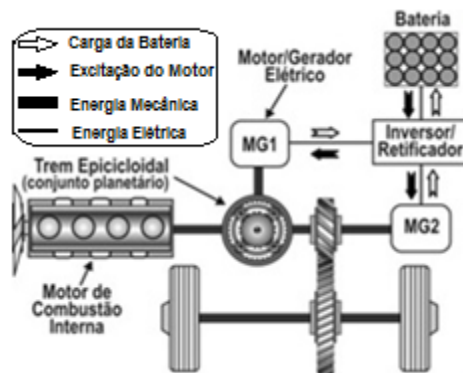


Figura 14 - Sistema Híbrido Série/ Paralelo
Fonte: MANAVELLA, 2011

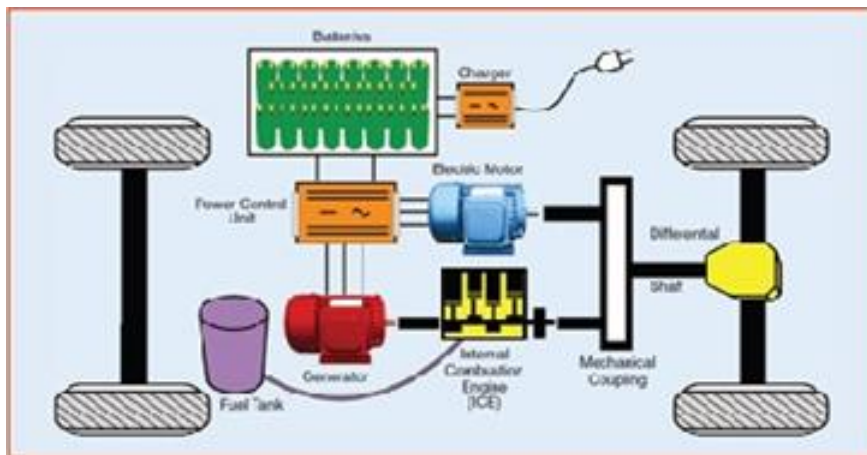


Figura 15 - Sistema Híbrido Série/ Paralelo
Fonte: EMADI, 2011



Figura 16 - Toyota Prius
Fonte: PAVARIN, 2009

“Pela definição da SAE J1715, em se tratando de carros híbridos, apenas os híbridos em série, os que são, de fato, estritamente em série, podem ser chamados de Veículos Elétricos” (Associação dos Engenheiros Automotivos).

2.3. Motores Elétricos

Os motores elétricos são máquinas destinadas a transformar a energia elétrica em energia mecânica, sendo os tipos mais comuns de motores elétricos os de corrente contínua (CC) e os de corrente alternada (CA) (WEG, 2012).

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre motores de CC e CA.

Tabela 1 - Comparação Motor CC e CA						
Tipo motor	Transmissão	Peso	Custo	Eficiência	Custo Controlador	Custo conj. motor/ conversor/ controlador
AC	Vel. Única	-	-	95 %	+	+
CC	Vel. Múltiplas	+	+	85 - 95 %	-	-

2.3.1. Motores de Corrente Alternada (CA)

São os mais empregados, pois apresentam um preço mais acessível e sua distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada. Têm grande versatilidade na adaptação às cargas dos mais diversos tipos, bons rendimentos, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando, sendo os principais modelos de motores de corrente alternada são o motor síncrono e o motor de indução (WEG, 2012). Ambos são vistos na Figura 17.

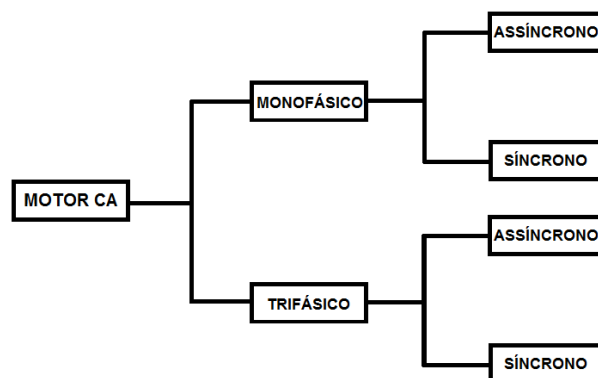


Figura 17 - Motores de Corrente Alternada
Fonte: Adaptação WEG, 2012

2.3.1.1. Motores Síncronos

Funciona em velocidade fixa, portanto, a velocidade praticamente não varia com a carga. É mais utilizado quando se necessita de grandes potências (WEG, 2012).

2.3.1.2. Motores Assíncronos (indução)

Funciona normalmente em velocidade constante, podendo ter uma ligeira variação a depender da carga aplicada ao eixo, além disso, com a instalação de inversores de frequência, é possível controlar sua velocidade (WEG, 2012).

2.3.2. Motores de Corrente Contínua (CC)

São motores que podem funcionar com velocidade ajustável entre amplos limites, se destacam por apresentarem uma grande flexibilidade e controle na precisão. São empregados em aplicações que necessitam frequentes partidas e paradas, a exemplo dos VEs. (WEG, 2012; PUPPO, 2007). Estes são demonstrados na Figura 18.

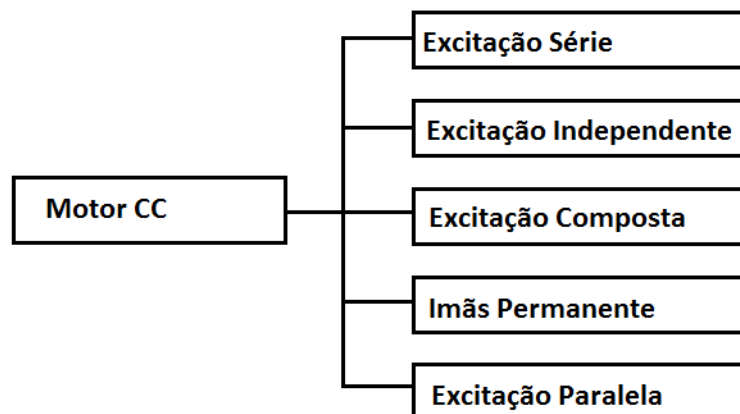


Figura 18 - Principais tipos de Motores de Corrente Contínua
Fonte: Adaptação WEG, 2012

2.4. Baterias

As baterias podem ser classificadas em dois grupos, Baterias Primárias (Figura 20) e Baterias Secundárias (Figura 19). As baterias primárias são aquelas que não podem ser carregadas, ou seja, são de uso descartável, pois o processo de geração de energia é irreversível. Já as baterias secundárias são aquelas baterias que podem ser recarregadas durante um determinado número de ciclos, sempre cuidando a tensão, a temperatura e a corrente de recarga.



Figura 19 - Baterias Secundárias (recarregáveis)
Fonte: NATURE, 2010



Figura 20 - Pilhas Primárias (não recarregáveis)
Fonte: FOGAÇA

2.4.1. Tipos de baterias secundárias

As baterias que são mais utilizadas em veículos elétricos são citadas a seguir.

2.4.1.1. Baterias de chumbo-Ácido

Baterias de chumbo-ácido (Figura 21) são conjuntos de acumuladores elétricos recarregáveis, interligados convenientemente, construídos e utilizados para receber, armazenar e liberar energia elétrica por meio de reações químicas envolvendo chumbo e ácido sulfúrico, sendo a reação química $Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \leftrightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$ (BAKKER, 2010 e NOCE, 2009).



Figura 21 - Baterias de Chumbo-Ácido
Fonte: PINTO, 2010

Essas baterias eram muito utilizadas em veículos elétricos e híbridos na década de 90, no entanto foram sendo trocadas por outros tipos de baterias que apresentavam maiores capacidades de armazenamentos e menor peso. Um exemplo de veículos que utilizava esse tipo de bateria é o EV1 da General Motors (GM) (Figura 22).



Figura 22 - EV1 (GM)
Fonte: LOVEDAY, 2013

2.4.1.2. Baterias VRLA

São as baterias mais utilizadas para aplicações estacionárias, conhecidas usualmente como “baterias seladas”.

Essas baterias contém uma válvula reguladora da pressão interna, destinada a aliviar o excesso de hidrogênio produzido durante o processo de recarga

do elemento. A válvula impede que o oxigênio da atmosfera seja admitido na reação química, o que prejudicaria o rendimento e a vida útil do dispositivo (BAKKER, 2010; NOCE, 2009; BBC, 2004).

Existem dois tipos básicos de baterias VRLA: a de eletrólito absorvido em manta de fibra de vidro Absorbent Glass Mat (AGM) (Figura 23) e a de Gel (Figura 24).



Figura 23 - Bateria AGM
Fonte: Electra Service



Figura 24 - Bateria de Gel
Fonte: PINTO, 2010

2.4.1.3. Baterias de Níquel-Metal-Hidreto

Esta bateria de níquel-metal-hidreto (Figura 25) apresenta maiores valores de capacidade de armazenamento de energia que a de níquel-cádmio, além de não apresentar o problema do efeito memória, quando carregada de maneira correta utilizando-se de carregadores específicos, nem mesmo os inconvenientes de toxicidade do cádmio. Com a substituição do cádmio pelo metal hidreto, esse tipo de bateria, tornou-se totalmente reciclável. É utilizada hoje em dia no veículo híbrido Toyota Prius (Figura 15). Sua reação química é $MH + NiO(OH) \leftrightarrow M + Ni(OH)_2$.



Figura 25 - Baterias de Níquel-Metal-Hidreto
Fonte: AKAI, 2012

2.4.1.4. Baterias de Sódio-Metal-Hidreto

Alternativa à bateria de chumbo-ácido, possuindo densidade de energia três vezes maior (50% a mais do que NiMH), nenhuma operação de manutenção, segurança, tolerância a falhas, elevada capacidade de armazenamento de energia e, sobretudo, por sua eficiência na carga e descarga as baterias de sódio-metal-cloreto estão sendo utilizadas em veículos elétricos (DUSTMANN, 1998). Um exemplo dessa aplicação é o Pálio Weekend desenvolvido pela Itaipu Binacional (Figura 26).

Um problema apresentado por essa bateria de Baterias de Sódio-Metal-Cloreto (Figura 26) é a necessidade de uma alta temperatura de operação, em geral, acima de 270°C , sendo necessário ligar a bateria a uma fonte de carregamento, quando fora de uso, para impedir que o eletrólito se solidifique. Esse tipo de bateria tem sua fabricação bastante complexa, mas apresenta uma grande segurança e confiabilidade mesmo com sua alta temperatura, além de ser altamente reciclável, pois a bateria contém apenas níquel e cloreto de sódio em sua composição majoritária (NOCE, 2009).



Figura 26 - Pálio Weekend e Bateria Zebra
Fonte: Projeto Veículo Elétrico, 2009 e MES-DEA

2.4.1.5. Baterias de Lítio

Atualmente as baterias de Lítio são consideradas as mais avançadas para aplicações em veículos elétricos, pois apresentam níveis elevados de energia e potência, baixa toxicidade e não apresentam efeito memória, além de serem baterias que exigem baixa manutenção (NOCE, 2009).

As baterias de Lítio apresentam várias configurações, dentre elas:

- Lítio-Íon-Cobalto;
- Lítio-Íon-Manganês;
- Lítio-Ion-(Fosfato de) Ferro (Magnésio);
- Lítio-Íon-(Nano) Fosfato;
- Lítio-Ion-Óxido de Titânio (LTO – Lithium Titanium Oxide);
- Lítio Polímero;
- Lítio Ar.

Dentre essas configurações de Lítio citadas, as que se destacam para aplicação em veículos elétricos são as de Lítio-Íon-(Nano) Fosfato, Lítio-Ion-Óxido de Titânio e Lítio Polímero.

2.4.1.5.1. Lítio-íon-(nano) Fosfato

A bateria de Lítio-Íon-(Nano) Fosfato (Figura 27) é uma das grandes promessas na área de baterias automotivas. Sua utilização está prevista no Chevrolet Volt e em ônibus híbridos e elétricos. Segundo o fabricante, a empresa A123 Systems, essa bateria possui potência em torno de 3000 W/kg e uma durabilidade de 10 vezes mais ciclos que uma bateria de lítio-íon convencional (NOCE, 2009; A123 Systems, 2013).



Figura 27 - Lítio-Íon-(Nano) Fosfato
Fonte: A123 Systems, 2013

2.4.1.5.2. Lítio-Íon-Óxido de Titânio

A empresa americana Altairnano desenvolvedora das baterias de Lítion-Íon-Óxido de Titânio (Figura 28), informa que elas são capazes de atingir potências superiores a 4.000 W/kg, podendo ultrapassar 15.000 ciclos e mesmo assim se manter a 85 % de sua capacidade original. Isso significa, para instalações em veículos elétricos, uma vida útil de provavelmente 20 anos (FRASER, 2006).



Figura 28 - Lítio-Ion-Óxido de Titânio
Fonte: FRASER, 2006

2.4.1.5.3. Lítio-íon-Polímero

Estas baterias Lítion-Íonn-Polímero (Figura 29) são extremamente finas e leves, capazes de serem adaptadas a diversos formatos, não sendo limitadas as formas padrão das pilhas. Cada célula fornece 3,7 V nominais a 1000 mAh. São baterias mais resistentes e possuem custo menor de produção quando fabricadas em grande escala. Suas temperaturas podem variar entre – 25 °C e 60 °C e sua taxa de

auto descarregamento menor que 8 % por mês. No entanto a densidade de energia e o ciclo de vida ainda são mais baixos comparados à bateria de íon-lítio convencionais (NOCE, 2009).

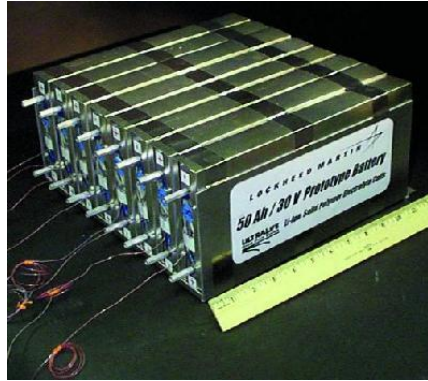


Figura 29 - Lítio-Ion-Polímero
Fonte: GRC, NASA

2.4.1.5.4. Lítio-Íon-Ar

Este sistema de bateria de lítio-ar (Figura 30) é percebido como a próxima geração de sistema de armazenamento de energia elétrica, pois possui a densidade de energia muito mais elevadas (> 4 vezes ao incluir a massa de O_2 , e ~ 10 vezes quando, excluindo a massa de O_2) do que a de lítio-íon convencional ($150\text{-}200 \text{ Wh/kg}_{\text{célula}}$). Se desenvolvida com sucesso, esta bateria pode fornecer uma fonte de energia para veículos elétricos que rivaliza com a gasolina em termos de densidade de energia utilizável, $\sim 1.700 \text{ Wh/kg}_{\text{célula}}$, tornando-se uma opção de energia muito atraente para veículos elétricos (GIRISHKUMAR, et al., 2010).

A projeção de densidade de energia teórico para a bateria Li-ar é de cerca de 11.000 Wh/kg quando apenas o peso de lítio é considerado. Existem inúmeros desafios científicos e técnicos que precisam ser superados para se chegar a este potencial. Até o momento, de fato, os desempenhos de uma bateria Li-ar disponíveis ainda são muito inferiores aos da melhor bateria Li-íon disponível, o que significa que ainda há um longo caminho a percorrer para desenvolver uma tecnologia de bateria Li-ar útil (SONG, et al., 2011 e ZHANG, et al., 2010).

A base química da bateria durante a descarga é pensada para ser a oxidação eletroquímica do metal de lítio no ânodo e de redução do oxigênio do ar no cátodo (GIRISHKUMAR, et al., 2010).

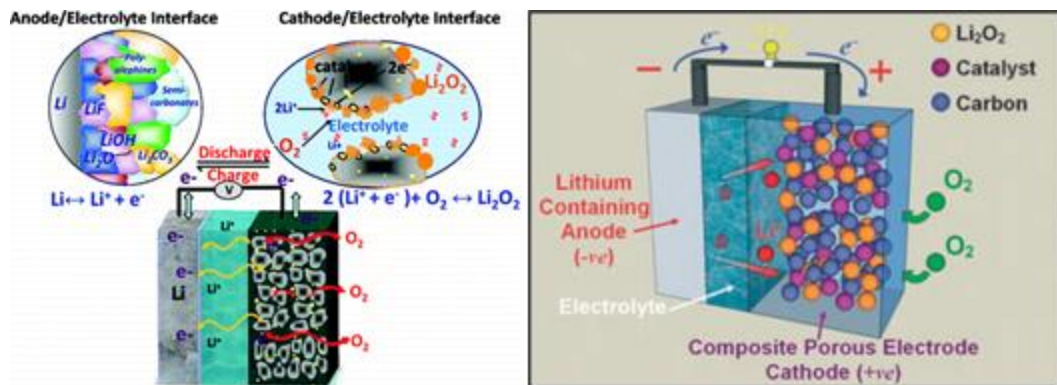


Figura 30 - Bateria de Lítio-Ar
Fonte: SONG, M.-K. et al., 2011 e GIRISHKUMAR, et al., 2010

2.4.1.6. Supercapacitores ou Ultracapacitores

Os supercapacitores ou ultracapacitores (Figura 31) são capazes, futuramente, de substituírem as baterias convencionais em veículos elétricos, já que conseguem efetuar uma rápida absorção de energia, o que não acontece com as baterias. No entanto, quando comparados às baterias, eles possuem alta densidade de potência, mas uma baixa densidade energética. Significa, portanto, uma alta capacidade de carga e descarga, mas baixa capacidade de armazenamento, ou seja, não mantêm suas características conforme vai perdendo a carga (BARAN, 2012).

Sua utilização, nos dias de hoje, é sustentada como uma complementação ao conjunto de bateria, armazenando a energia produzida durante a desaceleração e frenagem, além de um poderoso auxílio de potência durante o arranque, aceleração e em outros momentos, quando um impulso extra é necessário. Resulta, então, em melhor desempenho da unidade de consumo de energia e maior eficiência do sistema (ASHTIANI; WRIGHT; HUNT, 2006). Suas características variam dependendo do material utilizado em sua construção. A densidade energética está entre 4-8 Wh/kg, enquanto a potência disponível fica entre 800-1400 W/kg.



Figura 31 - Ultracapacitores, módulo de sistema Honda
Fonte: Honda Worldwide, 2013

2.4.1.7. Baterias Redox

Os estudos sobre esse tipo de bateria Redox (Figura 32) que deriva das palavras Reduction and Oxidation (Redução e Oxidação), emergem em um momento em que se questionam os veículos elétricos pelo tempo de espera para recarregar o conjunto de baterias, visto que em uma tomada normal chega a 8 horas. No entanto a bateria Redox vem para solucionar esse problema.

A recarga nessa bateria aconteceria apenas com a troca do eletrólito descarregado por um carregado (líquido que existe no interior da bateria), que armazena a energia. Esse processo não duraria mais do que alguns minutos e seria semelhante ao abastecimento de um carro a gasolina. A diferença fica em retirar o líquido descarregado existente nas baterias e abastecer com o mesmo líquido carregado, ficando pronta para alimentar o veículo novamente, sem a necessidade de pagar pelo eletrólito, mas somente pela carga. O posto de recarga poderá colocar este eletrólito descarregado em um carregador que o recupere para ser vendido, a outro veículo, no dia seguinte (DUFOUR, 2009; SABER ELETRÔNICA, 2013).

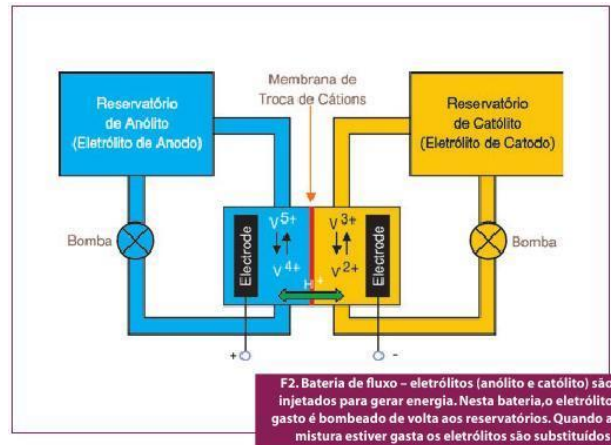


Figura 32 - Processo de um Sistema de Fluxo Redox
Fonte: Saber Eletrônica, 2013

2.5. Sistemas de Controle

O controlador (Figura 33) tem por objetivo controlar a variação de velocidade e também do torque que será aplicado ao motor, operando entre as baterias e o motor elétrico para controlar a velocidade e a aceleração do veículo elétrico.

É desejável não somente a variação de velocidade do motor elétrico, como também que este tenha a capacidade de movimentar o veículo não importando a carga que estiver sendo imposta, gerando assim uma maior aceleração.

Todos os controladores utilizados em veículos elétricos permitem realizar o controle da frenagem regenerativa, no qual o motor é utilizado como um gerador para recarregar as baterias quando o veículo está em desaceleração ou em travagem. O freio regenerativo não só aumenta a autonomia de um veículo elétrico entre 0 – 5 %, mas também diminui o desgaste dos freios e reduz o custo de manutenção.



Figura 33 - Controlador de Corrente Contínua

2.6. Veículos Elétricos no Brasil

2.6.1. Gurgel Elétrico Itaipu

A fabricação de veículos elétricos espalhou-se pelo mundo e no Brasil não foi diferente. O empresário João Augusto Conrado do Amaral Gurgel, que era Engenheiro Mecânico e dono da empresa que levava seu nome, decidiu investir parte de sua produção de veículos, que até então era somente à combustão, para elétrico e desenvolveu, em 1974, o primeiro projeto de carro elétrico da América Latina, chamado de Itaipu (Figura 34).



Figura 34 - Gurgel Itaipu 1974
Fonte: PEREIRA; BARI, 2007

O Gurgel Itaipu sofreu com problemas de durabilidade, capacidade e peso das baterias, problemas esses que foram cruciais para deixar de ser fabricado. O veículo contava com dez baterias de 12 v cada do tipo tetrapolar chumbo/ácido ligadas em série e um motor elétrico que gerava 4,2 CV.

Ele chegava a 50 km/h com uma autonomia que variava entre 60 e 80 km. Apenas 20 unidades foram produzidas, todas como protótipo. Não sobreviveu muito tempo - sua bateria demorava 10 horas para recarregar (PEREIRA; BARI. Abr. 2007).

2.6.2. Gurgel Elétrico Itaipu E-400

Em 1980, depois de cinco anos de estudo, a Gurgel lançou outro veículo elétrico: o Itaipu E-400 (Figura 35). Porém as 8 baterias de 174 Ah que continha, novamente foram um empecilho, pois eram muito grandes e pesadas, cerca de 80 kg e 40 volts cada. O motor elétrico era um Villares de 11 CV e girava a 3.000 rpm máximas, com um câmbio de quatro marchas, embreagem e transmissão. O tempo de recarga das baterias girava em torno de 7 horas em média, a 220 volts. A velocidade máxima estava por volta de 80 km/h (CARSUGH; LARANJEIRA; RIBEIRO. Jun. 1981).



Figura 35 - Gurgel Itaipu E400 1980
Fonte: CARSUGH; LARANJEIRA; RIBEIRO. Jun. 1981

2.6.3. Saveiro Elétrica WEG

Em meados de 2003, a WEG Automação começou a desenvolver o projeto de um veículo elétrico, cuja ideia de construção visava utilizar-se de seus produtos WEG, bem como o desenvolvimento de *know-how* em aplicações embarcadas. Esse veículo foi desenvolvido como forma da empresa obter dados de seus componentes, em um veículo automotivo.

O veículo escolhido para fazer a conversão para elétrico foi uma VW Saveiro CL 1.6 96/96 gasolina (Figura 36) (82 CV), que passou a contar com um conjunto de 54 baterias de Lítion-Ion de 3.2 Vcc ligadas em série, o que gerava uma autonomia de 70 km. O motor era de indução trifásico de 220 V e 20 CV, fazendo com que o veículo conseguisse atingir 3600 rpm em 5ª marcha e velocidade máxima de 126 km/h. Um inversor trifásico de 220 V e 45 A, convertia a energia das baterias em tensão alternada para o motor, o inversor também tinha a função de converter a energia elétrica proveniente do motor em tensão CC quando o veículo estava em frenagem. Uma placa PLC foi implantada no inversor para monitorar o pedal do acelerador, freio e embreagem executando as rotinas do software de controle. Externamente a saveiro ainda contava com um carregador que era utilizado para completar a carga do banco de baterias, sempre que necessário (WEG, 2006).



Figura 36 - Saveiro Elétrica WEG
Fonte: AUTOMAÇÃO, W. I, 2006

2.6.4. Projeto Gurgel Supermini UNICAMP

No projeto do Supermini Elétrico, da UNICAMP (Figura 37), foram instaladas 14 baterias chumbo-ácido alojadas no bagageiro do veículo, com capacidade de 60 Ah e massa de 14 kg cada uma. As ligações foram feitas em série/paralelo a fim de se obter um banco de baterias com capacidade de 120 Ah e 84V (+/- 10 kW.hora), gerando uma massa total de 196 kg, e uma autonomia de 50 km a uma velocidade de 55 km/h. A velocidade máxima atingida pelo veículo foi de 95 km/h. Para recarregar o banco de baterias do Supermini era necessário aproximadamente 9 horas e consumia cerca de 12,5 kWh. (SIQUEIRA, et al. 2009).



Figura 37 - Gurgel Supermini e estrutura tubular
Fonte: SIQUEIRA, et al. 2009

2.6.5. Palio Weekend Elétrico

O desenvolvimento do Palio Weekend Elétrico (Figura 38) surgiu de uma parceria entre as empresas Itaipu (hidrelétrica brasileira), KWO (Kraftwerke Oberhasli, hidrelétrica suíça) e Fiat. O projeto se iniciou em 2006 com a finalidade de desenvolver um automóvel elétrico no Brasil e incrementar as pesquisas na área, com o incentivo em parques fabris brasileiros para a nacionalização de componentes, além de qualificar profissionais para a produção e manutenção desses veículos (CAVALIERE, 2009).

Segundo informa CAVALIERE, a produção do veículo elétrico é dividida da seguinte maneira pelas empresas:

- Fiat: produz um veículo específico para receber o kit elétrico (Figura 39);
- Itaipu: fornece o espaço e a estrutura para a instalação do Kit elétrico;
- Mes-Dea: fornece o kit (bateria e demais componentes); e
- Isvor (Grupo Fiat): executa a instalação do Kit no veículo em Itaipu.

O Palio Weekend Elétrico utiliza bateria ZEBRA, com capacidade de percorrer 120 km com uma carga, além de contar com um motor (Figura 39) importado da Suíça, que gera potência máxima de 20 CV (15 kW) e torque máximo de 5,1 kgfm, o que faz acelerar de 0 a 60 km/h em 9 segundos e atingir sua velocidade máxima de 100 km/h (CAVALIERE, 2009).

Apesar de estar com um desenvolvimento avançado, o Palio Weekend Elétrico não está sendo comercializado no momento, devido ao elevado preço. Sua utilização é feita apenas pelas empresas que fazem parte do Projeto VE, no qual o veículo está inserido.



Figura 38 - Palio Weekend Elétrico
Fonte: CAVALIERE, 2009



Figura 39 - Componentes do Kit Elétrico KWO
Fonte: CAVALIERE, 2009

2.6.6. Iveco Daily Elétrico

A Iveco, juntamente com a Fiat Group, Itaipu Binacional e seus parceiros, desenvolveram um utilitário de carga movido à energia 100 % limpa e renovável, o Iveco Daily Elétrico (Figura 40).

O modelo escolhido como plataforma foi o Iveco Daily 55C, com 3.750 mm de entre eixos, chassi cabine dupla, que na versão elétrica ganhou a denominação 55C/E. O Daily Elétrico possui 40 kW (54 CV) de potência nominal, torque de 129 Nm a 2.950 rpm, e pico de potência a 80 kW (108 CV) e torque de 300 Nm. A tração é traseira e a capacidade de carga útil de até 2,5 toneladas. É equipado com três baterias ZEBRA Z5 (Zeolite Battery Research Africa Project), sendo a vida útil dessas baterias em torno de 1.000 ciclos e autonomia que levam o veículo a percorrer 100 km (IVECO, 2009).

O Daily Elétrico está restrito apenas à utilização das empresas que fazem parte do Projeto VE, não sendo comercializado no momento.



Figura 40 - Iveco Daily 55 C/E
Fonte: IVECO, 2009

2.6.7. Agrale Marruá

O Jipe Agrale Marruá elétrico (Figura 41) é apenas um protótipo e foi desenvolvido através da parceria entre as empresas Itaipu Binacional, Agrale S/A e Stola do Brasil. É um veículo que ainda está em fase de desenvolvimento e testes.

O utilitário Marruá AM 50 conta com tração 4 X 4, 40 Kw (~ 54 CV) de potência e torque de 130 Nm. Suas duas baterias de sódio recarregáveis geram uma autonomia de aproximadamente 100 km (Itaipu Binacional, 2012).



Figura 41 – Marruá AM 50
Fonte: AGRALÉ, 2012

2.6.8. Mini-ônibus Elétrico Granmini

Para desenvolver o Mini-ônibus Elétrico (Figura 42) foram necessárias cooperação e o envolvimento das empresas Mascarello, Iveco/ Fiat Group, Euroar e Itaipu Binacional. A utilização desse veículo, no entanto, está restrita às empresas que fazem parte do Projeto VE, pois o veículo se encontra em fase de testes.

Esse mini-ônibus conta com um motor de 40 kw (~ 54 CV), baterias de sódio, conseguindo ter uma autonomia de 100 km e velocidade máxima de 85 km/h. Tem capacidade para 16 pessoas, além do motorista, e conta com ar condicionado elétrico (NOVAIS, 2011).



Figura 42 - Mini-ônibus Elétrico Gran Mini
Fonte: NOVAIS, 2011; SANTOS, 2011

2.6.9. SEED

A empresa brasileira VEZ (Veículo Emissões Zero) depois de anos de pesquisas, está lançando no mercado um veículo 100 % nacional de zero de emissões, o veículo elétrico SEED (Figura 43). Este veículo, apesar disso, é comercializado apenas sob encomenda.

O veículo é fabricado com Carroceria em Fiberglass de alta resiliência e chassi tubular. Tem capacidade para duas pessoas e peso de 750 kg. O motor elétrico é de corrente alternada de 50 CV. Possui um conjunto de 8 baterias tracionarias somando 96 V, o que gera uma autonomia em torno de 100 km e uma velocidade máxima de 120 km/h. Sua tração é traseira e o sistema eletrônico permite realizar a frenagem regenerativa.



Figura 43 - Veículo Elétrico SEED
Fonte: VEZ do Brasil, 2013

2.6.10. TREE

A empresa Tree City Car, depois de alguns anos de pesquisas, desenvolveu esse veículo de três rodas chamado de Tree (Figura 44). Este já se encontra no mercado, no entanto, as vendas são realizadas apenas sob encomenda.

O VE Tree possui espaço interno para dois adultos e uma criança e seu peso é de 500 kg. O motor elétrico é de corrente alternada 72 V, com potência de 12 Kw nominal e 30 Kw de pico, sendo seu torque 78 N.m. O conjunto de bateria pode ser de 6,5 kWh (chumbo-ácido) e 13 kWh (Lítio), a velocidade máxima atinge 90 km/h e o preço varia conforme a quilometragem desejada, a depender da opção do conjunto de baterias, sendo R\$ 64.000 com autonomia de 60 km e R\$ 79.000 para 160 km.



Figura 44 - Veículo Elétrico Tree
Fonte: Tree City Car, 2013

2.6.11. JAD

O veículo JAD (Figura 45), cujo nome tem as siglas de seu inventor João Alfredo Dresch, tem o tamanho de 1,20 metro de altura, 1,05 metro de largura e 1,95 metro de comprimento. Seu peso é de 295 quilos com capacidade para duas pessoas. O Motor elétrico é de 5 CV e chega a velocidade máxima de 70km/h.

Esse veículo é equipado com cinto de segurança, freio a disco nas quatro rodas, extintor de incêndio, freio de mão, estepe e carregador de bateria para tomadas convencionais 110 V ou 220 V. O veículo conta com 14 baterias de gel, com vida útil

de até cinco anos e autonomia de duas horas. O JAD não possui marchas, tendo apenas freio e acelerador. A ré é acionada por um botão que inverte a polaridade do motor. O custo de rodagem fica em R\$ 0,10 por quilômetro (valor gasto com energia elétrica), contudo, o inventor do JAD, está em busca de parceiros para desenvolver o veículo no mercado nacional.



Figura 45 - VE JAD
Fonte: Zero Hora, 2014

2.6.12. RESUMO CAP. 2, PARTE 2.6

O Brasil está em uma fase de descobertas no que se refere a VEs. Alguns empresários já começaram a investir nesse tipo de veículo, porém a falta de incentivos, por parte dos governos, faz elevar o custo de produção dessa tecnologia, consequentemente o preço final fica fora da realidade brasileira.

Entretanto, alguns desses modelos de VE, referidos no Cap. 3, já estão em produção, também somente sob encomenda. O VE brasileiro mais desenvolvido e testado é o Palio Weekend Elétrico, mesmo assim sem previsão para comercialização, devido ao alto custo para a aquisição R\$ 145.00,00. Se fosse isento de impostos este mesmo veículo sairia por R\$ 86.000,00.

Algumas ações, que podem promover mais facilmente a inserção de VE no Brasil, são através de parcerias entre empresas internacionais - que já desenvolvem esse tipo de veículo - e empresas nacionais, que podem realizar intercâmbio de tecnologia. Um exemplo dessa parceria é realizada no país, é entre as empresas Itaipu Binacional (hidrelétrica brasileira) e a empresa KWO (Kraftwerke Oberhasli, hidrelétrica suíça), que desenvolvem o Programa VE em parcerias com diversas empresas, entre elas a Fiat, desenvolvendo o Palio Weekend Elétrico. Um novo contrato foi assinado pela Itaipu em 2013, mas dessa vez com a Francesa Renault, para a montagem de 32 Twizys no Centro de Pesquisa Desenvolvimento e Montagem de Veículos Elétricos de Itaipu (CPDM-VE/IB), localizada na cidade de Foz do Iguaçu (PR). Esses veículos, no entanto, serão de uso restrito da Itaipu e instituições parceiras do Programa VE.

A iniciativa de introduzir VEs no Brasil ainda é tímida, mas um bom sinal de que o país começa a avançar nesse nicho de mercado. A lentidão para a mudança das leis de tributação (IPI, PIS/COFINS, ICMS e de importação), acaba se tornando o maior dos empecilhos nesse processo, fazendo com que os preços dos veículos elevem muito o custo, já que nenhum veículo de fabricação em massa é produzido no país, afastando compradores e desestimulando as montadoras a desenvolverem suas tecnologias no Brasil.

O abatimento de impostos no Brasil referentes aos VE, pode se tornar atrativo para o governo. O interesse de algumas empresas que produzam seus VEs no país, faz com que se crie novos estabelecimentos que trabalhem em conjunto com essas fábricas, gerando mais empregos em diferentes ciclos de produção dos VEs. Se comparado os ganhos que o governo irá ter com as isenções para os VEs, esse saíra ganhando, já que diminuirá o desemprego e terá mais arrecadação de impostos pela receita federal, entre outros.

Outro incentivo que o governo pode dar é autorizar empresas a utilizar parte do imposto de renda para adquirirem VEs, facilidades assim beneficiariam a inserção desse tipo de veículo no país.

2.7. A poluição das grandes cidades brasileiras e a introdução dos veículos elétricos no Brasil

O Planeta necessita de medidas governamentais urgentes para controlar o aumento das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE's) e da temperatura média da Terra. Dados lançados, pelo Intergovernamental Panel on Climate Change² (IPCC, 2013), afirmaram que a temperatura média do Planeta Terra aumentará entre 0,3 °C e 4,8 °C no século XXI, em comparação com a temperatura média do período 1986-2005. Segundo mesma publicação, o nível do mar para o período de 2081- 2100, em relação aos anos 1986- 2005, terá elevação média global variando em níveis de 0,26 a 0,55 m, se considerar a melhor das situações e 0,45 a 0,82 m na pior das hipóteses.

Outro dado alarmante exposto pelo IPCC é a influência humana para com o aquecimento global, influência esta que os especialistas calculam ser de 95 % contra 90 % considerados no relatório de 2007. Essa influência humana ocorre de inúmeras maneiras, desde desmatamentos ao consumo excessivo de combustível.

A poluição do ar contribui para a grande carga global de doenças respiratórias e alérgicas, incluindo asma, doença pulmonar obstrutiva crônica, pneumonia e, possivelmente, tuberculose. A poluição atmosférica emitida pelos automóveis um dos principais fatores de mortes em todo o mundo, segundo dados levantados pela Organização Mundial de Saúde (OMS), é responsável pela morte de mais de 1,5 milhões de pessoas anualmente (ROBERT J. LAUMBACH, HOWARD M. e KIPEN, 2012). Só em São Paulo mais de 4,5 mil pessoas morrem, por ano, decorrentes de problemas causados ou agravados pela poluição (MOBILIZE, 2013; QUEIROZ, 2006). Os idosos, crianças, gestantes, e portadores de doenças respiratórias e cardíacas crônicas, principalmente os mais pobres, são os mais atingidos (GIRALDI, R; RODRIGUES, J. C., 2011).

Os médicos alertam para algumas doenças que podem ser causadas ou agravadas pela poluição, entre elas estão, a asma, a doença pulmonar obstrutiva

² Órgão criado em 1988 pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para estudar o problema das mudanças climáticas. Reúne 2.500 cientistas de mais de 130 países.

crônica (DPOC), o enfisema e o câncer de pulmão, além de algumas doenças cardíacas (DAY, 2012). A poluição, gerada pelos veículos automotores convencionais, foi responsável, em 2009, segundo Ministério do Meio Ambiente (MMA) no Brasil, por emitir 83 % de poluentes à atmosfera, enquanto que as emissões relacionadas a ônibus chegaram a apenas 2 %.

Um dos fatores que contribui diretamente para essa elevada emissão de poluentes, por veículos convencionais, foi constatado em uma pesquisa realizada em Salvador, pela Secretaria de Infraestrutura do Estado (Seinfra), entre agosto de 2012 e maio de 2013. Essa pesquisa demonstrou que a de cada 100 veículos, 68 trafegam apenas com o motorista (PACHECO, C. RODRIGUES, R., 2013). Com uma frota girando em torno de 80 milhões de veículos automotores no Brasil, destes 44.722.193 automóveis, pode-se constatar o porquê das metrópoles estarem constantemente congestionadas. Os registros baseiam-se sem considerar a curva de sucateamento (DENATRAN³; RENAVALAM⁴, 2013).

O número expressivo de veículos gera por ano uma quantidade elevada de poluentes prejudiciais à saúde e à atmosfera, como os GEE's, que estão aumentando continuamente a poluição, principalmente nas grandes cidades, e contribuindo para o aquecimento global.

O exemplo dessa poluição refere-se à quantidade de poluentes gerados por veículos a combustão, que hoje em dia estão em, 0,3 g/km de CO⁵, 0,02 g/km de NOx⁶, 0,0017 g/km de RCHO⁷, 0,034 g/km de NMHC⁸, 0,011 g/km

de MP⁹ (MME, et al, 2011).

No que se refere aos GEE's exalados por veículos leves, o Dióxido de Carbono (CO₂) é o principal poluente nessa categoria, devido à grande quantidade

³ DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

⁴ RENAVALAM – Registro Nacional de Veículos Automotores

⁵ CO – Monóxido de Carbono

⁶ NOx – Óxido Nitroso

⁷ RCHO – Aldeídos

⁸ NMHC – Hidrocarbonetos não metano

⁹ MP – Material particulado

emitida na queima de combustíveis. A média de CO_2 que um veículo gera, conforme Genebaldo Freire Dia, da Universidade Federal de Brasília, é de 160 g/ km de CO_2 .

Na (Tabela 2) foi realizado uma análise para verificar o quanto de poluentes a frota brasileira de veículos leves emite à atmosfera por dia e por ano. Considerou-se uma média de 32,5 km/dia e o combustível adotado, na investigação, foi a gasolina.

Tabela 2 - Poluente produzido por veículos leves no Brasil

Unidades	Nº de veículos	CO ₂	CO	NO _x	NCHO	NMHC	CH ₄	MP
g/km	===	160	0,3	0,02	0,0017	0,034	0,01	0,001
g/dia	1	5.200	10	1	0,055	1	0,36	0,036
kg/ano	1	1.898	4	0,24	0,02	0,4	0,13	0,013
Toneladas/dia	44.72.2193	232.555	436	29	2	49,4	16	1,6
Mil Toneladas/ano	44.722.193	84.883	159	10,6	1	18	6	1

A Tabela 2 mostra os números elevados de poluição que é gerada a partir de veículos a combustão. Números esses que contribuem diretamente na saúde pública e na economia, pois milhares de vidas anualmente são perdidas devido a problemas causados ou agravados pela poluição, que eleva ainda mais as despesas do governo.

Um exemplo dessas despesas é relatado em uma pesquisa idealizada por (VORMITTAG, et al. 2013), no Estado de São Paulo. Essa pesquisa relata entre outros, os gastos públicos e privados relacionados com doenças causadas pela poluição, gastos esses que totalizam R\$ 246 milhões em todo Estado.

Uma das alternativas que vem, há alguns anos, ganhando espaço e incentivos para o desenvolvimento tecnológico e isenções fiscais em países como EUA, Japão e China, são os veículos elétricos (VEs), que não geram poluente algum e contribuem diretamente para a diminuição da poluição atmosférica e sonora, além de acarretar na economia de combustíveis, como demonstra a comparação de VE e convencional na Figura 46. Outra comparação, demonstrada na Figura 46, refere-se à comparação da eficiência entre os motores elétricos, 95%, e motores à gasolina, 35%. Já o aproveitamento da energia convertida de um veículo elétrico é de mais de 60 % da energia elétrica da rede, enquanto que veículos a gasolina convertem pouco

mais de 20 % da energia armazenada na gasolina. Dados fornecidos pelo Departamento de Energia dos EUA (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

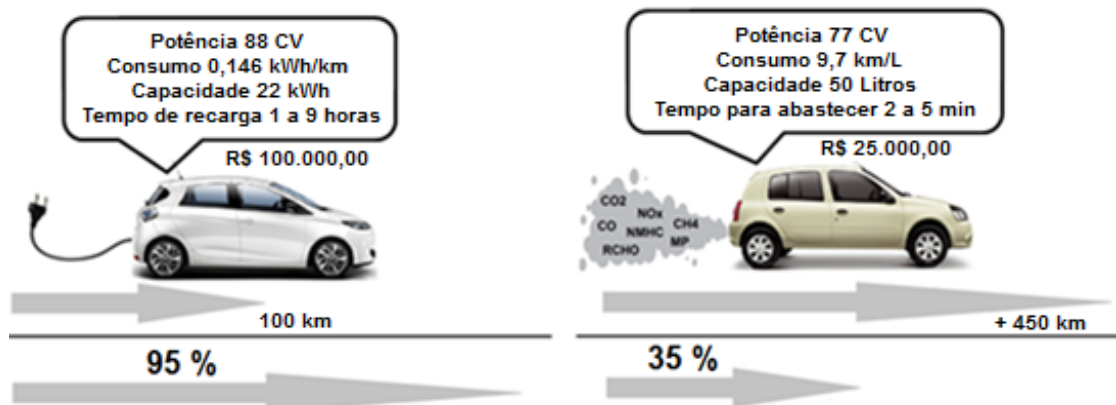


Figura 46 - VE Renault Zoe ZE x Renault CLIO Authentique

O preço de um veículo elétrico, tem-se como exemplo o VEs Zoe, vendido na Europa, é cerca de R\$ 67 mil, sem incluir o custo da bateria (alugada separadamente, por meio de *leasing*). Já no Brasil, este mesmo VEs Zoe, custaria em torno de R\$ 100 mil, valor que é muito superior, devido aos impostos extremamente altos no país (DELIBERATO, 2013). A divisão destes custos fica mais ou menos em 55 % de IPI, 13 % de PIS/COFINS, entre 12 e 18 % de ICMS e 35 % de importação, uma vez que esses VE não possuem fabricação no país (ABVE, 2013).

A diferença de preço exorbitante do mesmo VE, comprado na Europa e o que se paga no Brasil, ocorre, por haver em países Europeus, legislações que influenciam na isenção de impostos, a fim de os tornarem competitivos no mercado automotivo. Sendo assim, o Brasil só irá se tornar um mercado competitivo quando houver isenções de impostos específicas para VEs.

Para Velloso 2010, superintendente-geral do Instituto Nacional de Altos Estudos (INAE), seguir a linha da isenção fiscal é o caminho mais certo a fazer em um curto prazo de tempo, já que não existem leis específicas para veículos elétricos no Brasil. Com isenções fiscais específicas para VEs o país ganha com o aquecimento das vendas em um novo nicho de mercado, além de gerar novos empregos em áreas específicas, necessitadas por esse novo ramo de mercado.

Conforme dados referidos pela Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE), mais de 4,5 milhões de veículos elétricos já estão em circulação em todo o mundo, destes 95 % híbridos. No Brasil, existem hoje 72 VEs registrados, sendo que quase que a totalidade foram adquiridos por empresas (Globo NEWS, 2013).

Existem estados da federação que já possuem leis próprias dando incentivos aos proprietários de VEs, como a isenção do Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) em sete estados:

- **Ceará** (Lei 12.023 – art. 4, IX – redução de impostos de veículos a motor elétrico);
- **Maranhão** (Lei 5.594 – art. 9, XI – idem para veículos a força motriz elétrica);
- **Pernambuco** (Lei 10.849 – art. 5, XI – idem para veículo a motor elétrico);
- **Piauí** (Lei 4.548 – art. 5, VII - idem veículo movido a motor elétrico);
- **Rio Grande do Norte** (Lei 6.967 – art. 8, XI – idem para veículos movidos a motor elétrico);
- **Rio Grande do Sul** (Lei 8.115 – art. 4, II – idem, de força motriz elétrica);
- **Sergipe** (Lei 3.287 – art. 4, XI – veículos movidos a motor elétrico).

Outros estados possuem alíquotas diferenciadas para esses veículos, como é o caso de:

- **Mato Grosso do Sul** (Lei 1.810 - O art. 153 prevê a possibilidade do Poder Executivo reduzir em até 70% o IPVA de veículo acionado a eletricidade);
- **Rio de Janeiro** (Lei 2.877 - O inciso IV do art. 10 estabelece a alíquota de 1% para veículos que utilizem energia elétrica, alíquota essa 75% inferior à dos automóveis a gasolina);
- **São Paulo** (Lei 6.606 - O inciso III do art. 7 estabelece a alíquota de 3% para automóveis de passeio, de esporte, de corrida e camionetas de uso misto movidos à eletricidade, alíquota essa 25% inferior à dos automóveis a gasolina). No estado de São Paulo os VEs não participam do rodízio de veículos (inciso X do Art. 2 da

Lei Estadual nº 9.690 de 2 de junho de 1997 e inciso I do Art. 4 do Decreto Estadual 41.858 de 12 de junho de 1997).

Um Projeto de Lei (PL-2092/11) em parte final de aprovação, isenta a comercialização de automóveis elétricos e híbridos do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), do PIS/Pasep e da Cofins. Com esses incentivos espera-se que os veículos elétricos sofram uma grande redução em seu preço, estimulando assim sua procura.

O sucesso para a implantação de veículos elétricos no Brasil não depende única e exclusivamente da isenção de impostos, mas também de uma análise logística nas grandes cidades para a implantação de postos de recarga rápida, além de uma linha de crédito para financiamento de empresas através do BNDES, que será de extrema importância para a difusão desses veículos no país (COUTINHO; CASTRO; FERREIRA, 2010).

Outro fator importante, que irá contribuir para diminuir o preço final dos veículos elétricos no Brasil, é no momento em que empresas e universidades dedicarem mais tempo aos estudos relacionados a tecnologias de baterias, principalmente sobre as baterias de lítio-íon, que hoje em dia são as mais utilizadas em veículos elétricos. Esse tipo de baterias, conforme relata Velloso, não é produzida no Brasil, porém é uma tecnologia que tem como líder de produção mundial o mercado asiático.

Para o desenvolvimento dessa tecnologia de baterias de lítio-íon no Brasil deve ser considerado, segundo Roberto M. Torresi, os seguintes aspectos:

- I – Obtenção de materiais nano-estruturados para os eletrodos;
- II – Montagem dos eletrodos;
- III – Síntese e caracterização de novos eletrólitos;
- IV – Montagem do protótipo de bateria;
- V – Diminuição do custo por kW;

VI – Aumento da densidade de energia por unidade;

VII – Melhoria da tolerância aos abusos (descarga profunda, sobrecarga, etc.);

VIII – Aumento do tempo de vida da bateria (ciclos de carga/descarga).

Uma alternativa, sugerida por Velloso, seria o país dar incentivos ao Desenvolvimento Tecnológico (Creative Catching-Up) para empresas estrangeiras que já detêm essa tecnologia, para assim importar tecnologia com criatividade principalmente para países emergentes. O Brasil seria então uma plataforma de desenvolvimento de produtos.

Segundo Ana Maria Rocco, as baterias de lítio-íon apresentam vantagens sobre outras baterias secundárias, como menor peso, maior densidade de carga e maior número de ciclos de carga e descarga, alcançando conseqüentemente maior vida útil. Outra vantagem é a alta tensão de circuito aberto, além da ausência de limitação de carregamento em sucessivas cargas e uma baixa taxa de descarga quando não estiver sendo utilizada.

A projeção do aumento gradual anual da venda de VEs até 2030 é uma expectativa muito ambiciosa para a penetração tanto de veículos totalmente elétrico, como de veículos híbridos. A projeção, conforme COUTINHO 2010, considera 10 anos de penetração lenta destes veículos no mercado, tendo um salto após 2020 e chegando a 2030 com 66% das vendas globais de veículos e representando 35,6% da frota mundial.

Essa projeção de vendas de veículos elétricos será muito mais visível no momento em que novas tecnologias de baterias forem sendo desenvolvidas, diminuindo assim os pesos e os preços das mesmas. Além, é claro, da importação da tecnologia para outros países a fim de abranger pontos estratégicos de comercialização.

Toda apreensão já relatada a respeito da preocupação mundial em torno da poluição cada vez maior, gerada em grande parte pelo número excessivo de veículos nas ruas, é vista nos salões de automóveis espalhados em todo o mundo,

ano pós ano, com lançamentos cada vez mais frequentes de novos modelos, protótipos e de veículos-conceito. São nesses veículos-conceito que se destacam os veículos elétricos a bateria, os quais têm recebido grandes investimentos de algumas montadoras para o desenvolvimento cada vez mais eficiente dos sistemas que integram esses veículos.

2.8. Fatores que influenciam na compra de um veículo

O que mais influencia o consumidor brasileiro na compra de um veículo, segundo REIS, A. C.; SILVESTRE, B. F.; BARROS, A. C. S. (2011), é o preço (44%), desempenho (13%), autonomia e conforto (9%) e outros (25%) (Figura 47). Essa pesquisa demonstra como será difícil a inserção de veículos elétricos nos dias atuais se não houver incentivos dos governos, visto que os preços são extremamente altos e a autonomia para grandes distâncias ainda deixa a desejar, comparados aos veículos convencionais.

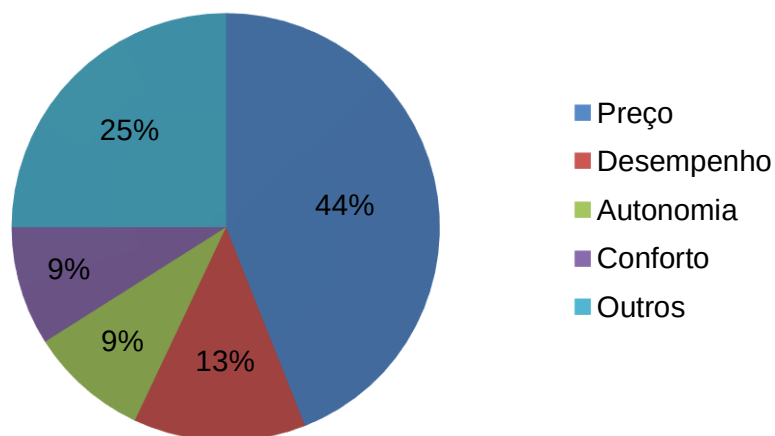


Figura 47 - Fatores que influenciam na compra de um veículo
Fonte: REIS, A. C.; SILVESTRE, B. F.; BARROS, A. C. S. 2011

Uma pesquisa realizada pela consultoria Deloitte em 17 países, entre eles o Brasil, ouviu um total de 13.000 consumidores, que foram questionados sobre a

intenção deles em adquirir um veículo elétrico a bateria. Os brasileiros revelaram grande interesse em comprar veículos elétricos a bateria. Dos 530 entrevistados, no Brasil, 70% comprariam um carro elétrico, destes 30% declararam que provavelmente irão adquirir um modelo. Esse número expressivo é superior ao de países como Canadá e Estados Unidos, segundo informações do sócio de finanças corporativas da consultoria, Ricardo de Carvalho (CARVALHO, I. 2012).

No entanto, essa pesquisa também aponta que o principal fator para o brasileiro, em comparação ao consumidor europeu, é o alto preço para a aquisição desses veículos. Constatou-se que 64% dos brasileiros só compraria um carro elétrico a bateria caso o preço fosse similar aos carros com motor a combustão. Outro fator, que foi levado em consideração por 70% dos pesquisados, é de que o veículo elétrico seja capaz de rodar até 320 km sem precisar recarregar o conjunto de baterias, além do que 93% consideram a praticidade da recarga em casa importante. A maioria dos entrevistados considera 4 horas como um tempo aceitável para recarregar as baterias, afirma Ricardo de Carvalho (CARVALHO, 2012).

2.9. Laboratório de Energia da Universidade Federal da Bahia

2.9.1. Veículo Elétrico Solar

O protótipo de Veículo Elétrico Solar, desenvolvido no Laboratório de Energia da Universidade Federal da Bahia, com a coordenação do professor Ednildo Andrade Torres, foi previsto para transportar apenas uma pessoa. Sua velocidade chega a 25 km/h e o peso estimado, já com o piloto, é de 150 kg. O veículo possuía um motor elétrico de corrente contínua 12 V e potência de 800 W, já a bateria era de 12 V e 50 Ah. Foram utilizadas nesse protótipo duas placas células solares com uma área total de 8.580 cm² (Figura 48). A potência máxima dessas células solares eram de 100 W, com tensão de 12 V e corrente elétrica em torno de 6,8 A.



Figura 48 - Protótipo Veículo Elétrico Solar
Fonte: Comunicação pessoal

Os resultados obtidos com esse protótipo foram satisfatórios, visto que o carro solar monoposto é auto-suficiente, ou seja, capaz de gerar sua própria energia. A velocidade estabelecida como meta foi de 25 km/h, no entanto a máxima obtida foi de 20 km/h. Este erro foi considerado aceitável para o projeto.

2.9.2. Veículos elétricos: projeto de conversão e simulações

Esse estudo foi realizado pelo aluno Eduardo Costa, em parceria entre o Laboratório de Energia da Universidade Federal da Bahia, sob coordenação do professor Ednildo Andrade Torres e o Laboratório de Motores da Universidade do Minho de Portugal, sob coordenação do professor Jorge Martins, onde o objetivo foi a construção e análise de um banco de dados de veículos elétricos (Figura 49) e a conversão de um kart de competição à combustão (Figura 50) para propulsão elétrica (Figura 51).

Name: REVA		Manufacturer: Reva		Type: Microcar	Importer: [dropdown]	Checked: ☒
Classification: Design concept		Seats: 4	Powertrain: Full electric		Year: 2004	Insert OEM
Dimensions Length [m]: 2.6 Width [m]: 1.3 Height [m]: 1.6 Wheel base [m]: 1.7 Weight [kg]: 700		Industrialization Production/Discontinued produ: [dropdown] Year preview production: 30000 Total Produced: 6000 Price: 8,000 £		Construction Chassis: [text] Frame: [text]		Motor Show: [text] Powertrain Rodas trazeiras: Exo com diferencial. Suspension: [text]
Performance (battery) Range [km]: 80 Speed - max [km/h]: 80 Acceleration 0-100 [s]: [text] Accelerat. 0 [s]: [text] Max Grade [%]: [text] Consumpt. 134 [Wh/km] @ [text] km/h		Recharging Connection: Monophase Fast Charging: Current [A]: 15 Tension [V]: 220 Slow charging: Current [A]: [text] Voltage [V]: [text]		Consumption and Emissions Urban [L/100]: [text] Extra-urban [L/100]: [text] Combined [L/100]: [text] ICE [gCO2/km]: [text] Electric [gCO2/km]: [text]		URL: http://www.revaonline.com/ Description: O Reva é o carro elétrico mais vendido no mundo, com um potencial de produção de 30 000 veículos por ano. O centro de Londres está cheio destes pequenos carros, pois estão isentos da taxa de circulação de 0£/dia, além de poderem ser carregados gratuitamente em espaços de estacionamento também gratuitos. As especificações são básicas, usando baterias de chumbo e motor de indução. Já foram
Baterias Motor IC engine Controller Fuel Cell Solar Panels						
Model: [text] Tension [V]: 40 Energy [kWh]: 9.6 Power [kW]: [text] Charging time: 8 [h] @ [text] [V] Charging time: [text] [h] @ [text] [V] Charging time for: 80 % [min]: 150		Manufacturer: [dropdown] Number of Cells: 0 Weight [kg]: 255 Price: [text] Max number of cycles: [text] Cooling: [dropdown]		Type: Lead-Acid Ultra-capacitor: ☐ Insert battery		Notes: 6V EV lead acid batteries. Pode ter baterias de Li-ion.

Figura 49 - Interface do Banco de Dados: Veículo REVA
Fonte: COSTA, E.



Figura 50 - Kart de competição antes da modificação
Fonte: COSTA, E.

Para a realização desse projeto, foi dimensionado o conjunto de propulsão do veículo, englobando o motor elétrico, controlador e baterias. Também foram realizadas modificações no chassi, no sistema de transmissão, frenagem e aceleração.



Figura 51 - Kart de competição depois da modificação
Fonte: Comunicação pessoal

O kart elétrico modificado (Figura 51) serve como plataforma de testes para implantação de novas tecnologias em veículos elétricos, servindo de parâmetro, a fim de demonstrar a viabilidade desses sistemas na prática para o desenvolvimento mais avançado desses veículos. Os resultados das simulações apontaram as vantagens do aproveitamento da energia gerada na frenagem do veículo e, para esse veículo, o uso de painéis solares ficou inviabilizado, devido à baixa quantidade de energia produzida em relação às suas dimensões e peso.

3. COMBUSTÍVEIS, ENERGIA E FROTA BRASILEIRA TOTALMENTE ELÉTRICA

O setor automotivo do Brasil em 2012, segundo dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), consumiu 49.547.895.000 litros de combustíveis, sendo 39.697.715.000 litros de gasolina e 9.850.180.000 litros de etanol. Os quase 40 Bilhões de litros de gasolina representam mais de 1,1 bilhões de barris de petróleo, ou seja, mais de 3 milhões de barris por dia. O país produziu cerca de 66,6% desse total em 2012, o restante foi importado, gerando assim custos mais elevados.

Analisando o preço médio nacional de 2012, para a gasolina R\$ 2,764 e para o etanol R\$ 2,053, dados contidos no Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis publicado em 2013, os consumidores brasileiros pagaram, nesse ano, pelo conforto de dirigirem seus carros, o montante de R\$ 109.724.484.260,00 pela gasolina e o de R\$ 20.222.419.540,00 pelo etanol.

3.1. Crescimento estimado da frota veicular leve brasileira a combustão e suas emissões até 2020

O objetivo dessa análise é estimar as emissões diária e anual de poluentes à atmosfera até 2020. Essa análise utiliza dados da consultoria KPMG (sigla referente a seus sócios-fundadores Klynveld, Peat, Marwick e Goerdeler) a qual estima para o Brasil até 2020 um crescimento médio anual de 7,5% nas vendas de veículos leves. A frota brasileira de veículos leves foi estimada em 44.722.193 veículos leves em 2013, no entanto esses registros baseiam-se sem considerar a curva de sucateamento (DENATRAN¹⁰; RENAVAM¹¹, 2013).

¹⁰ DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito

¹¹ RENAVAM – Registro Nacional de Veículos Automotores

A partir dos dados citados, realizou-se uma previsão do crescimento da frota de veículos a combustão e suas emissões até 2020, como mostrado na Figura 52.

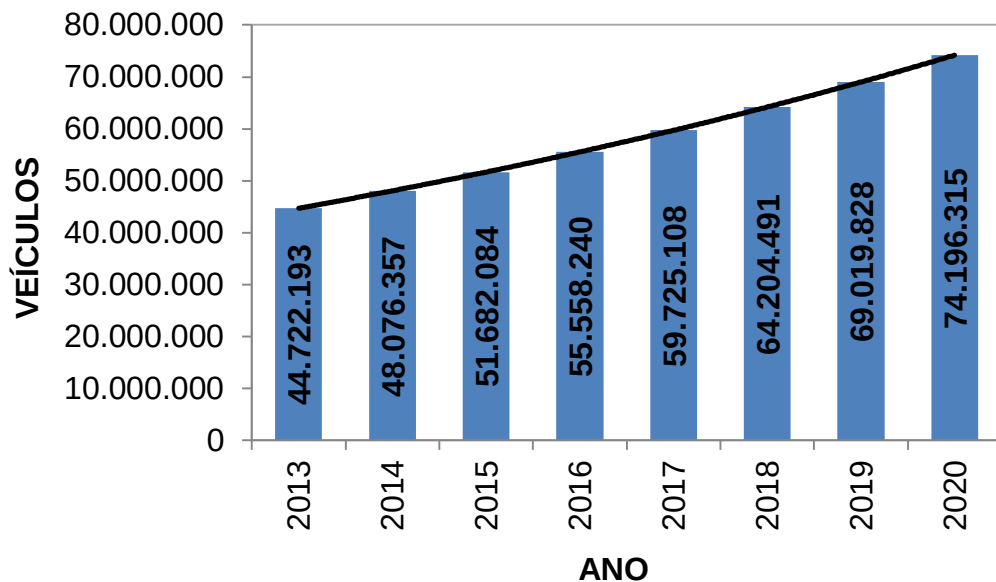


Figura 52 - Aumento do número de veículos por ano
Fonte: Elaboração Autor

Na Figura 52 pode ser visto o crescimento da frota de veículos leves a combustão, a qual sofrerá um aumento de 66% até 2020. Esses dados não consideram a curva de sucateamento de veículos.

Com o aumento do número de veículos até 2020, irá aumentar, também, circunstancialmente o número de emissões geradas principalmente nas grandes cidades, elevando os números de internações referentes a doenças relacionadas com a poluição, ocasionando, conseqüentemente, uma demanda ainda maior de recursos públicos para amortizar essas despesas.

O índice de aumento das emissões anuais até 2020, pode ser visto na Figura 53. Foi considerada apenas a utilização do combustível gasolina, visto que a maioria absoluta dos veículos é abastecida com esse combustível.

As emissões consideradas foram: dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), aldeído (RCHO), hidrocarbonetos não

metano (NMHC), metano (CH_4) e material particulado (MP). As unidades de medições utilizadas foram Toneladas por dia (t/dia) e Mil Toneladas por ano (Mil t/ ano).

Os índices de emissões por veículos a combustão aumentarão constantemente, até 2020, à medida que mais veículos forem sendo vendidos a cada ano, trazendo assim mais poluição às grandes cidades e aumentando a contaminação do ar (Figura 53).

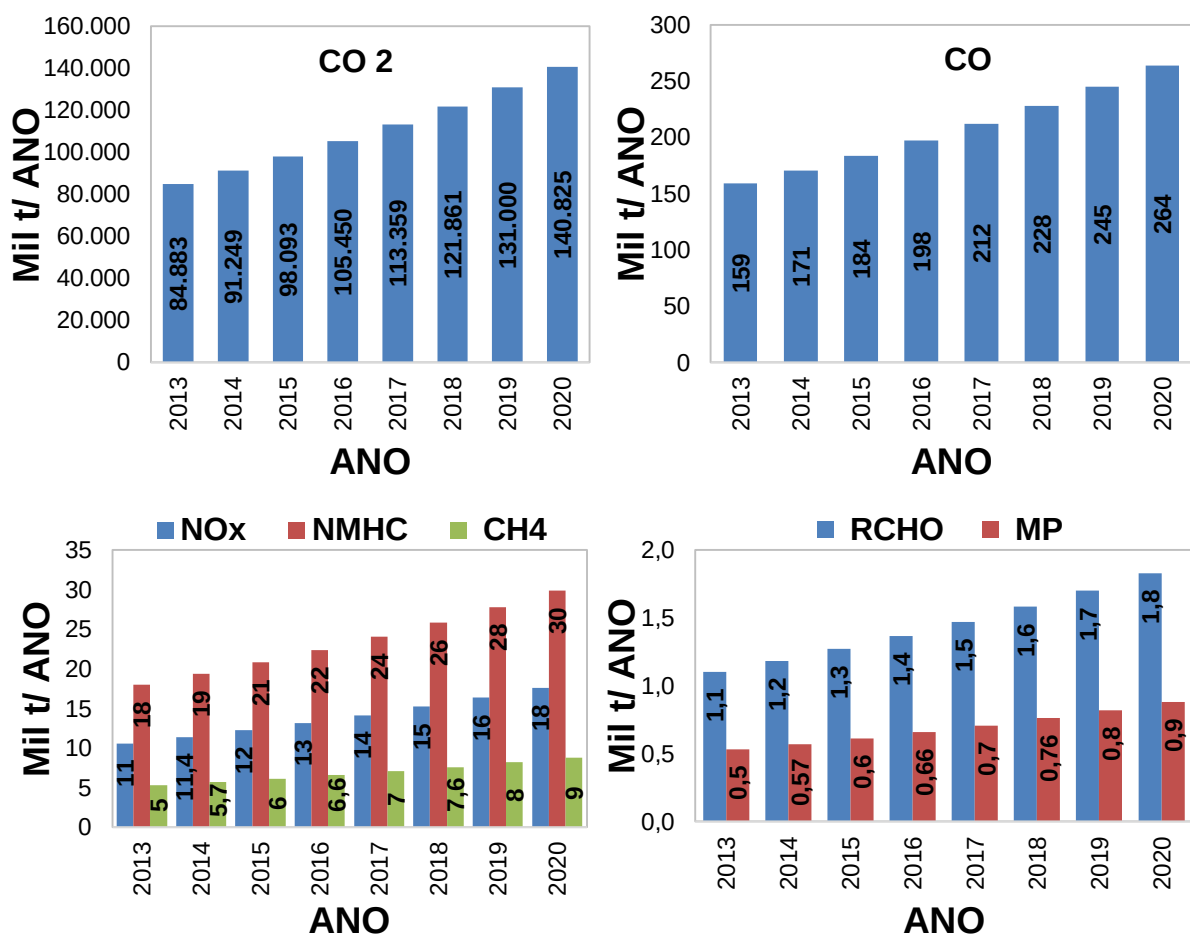


Figura 53 - Poluição anual gerada por veículos a combustão

Os índices de emissões de poluentes mostrados na Figura 53 vão seguir aumentando até 2020, sendo esse crescimento de 66% para o CO_2 , 66% CO, 65% NOx, 58% RCHO, 66% NMHC, 63% CH_4 e 63% MP.

Com o crescente aumento da frota de veículos no Brasil, medidas capazes de diminuir o aumento da poluição gerada por esses veículos estão cada vez mais em

evidência, além da necessidade de geração de novas fontes eficientes e não poluentes, como a implantação, dos VEs no país, a partir do apoio do governo federal.

Se não houver políticas de conscientização, juntamente com reformas nas leis permitindo a isenção de impostos para VEs, esses números tendem a aumentarem. Este retrocesso, fará com que o Brasil fique cada vez mais atrás em relação a outros países que já desenvolvem VEs, quanto às novas tendências e às tecnologias relacionadas com os meios de transportes limpo.

3.2. Frota brasileira totalmente elétrica e estimativa de produção de energia elétrica para abastecer esses veículos

O objetivo dessa análise é estimar o consumo anual de energia elétrica até 2020 admitindo que toda frota brasileira, de veículos leves, fosse constituída por veículos elétricos.

Supondo que toda frota brasileira de veículos fosse elétrica, com capacidade média dos automóveis para percorrer 100 km por carga de bateria, considerando que uma pessoa percorre 32,5 km/dia e uma frota de 44.722.193 milhões de veículos leves, estimou-se a demanda de energia necessária para recarregar a frota de VEs.

Para os cálculos realizados foram utilizados dados referentes ao VE da Renault Fluence ZE, o qual consome 0,17 kWh/km e 17 kWh para percorrer 100 km, no entanto o conjunto de baterias necessita recarregar 22 kWh para que seja possível fornecer ao veículo esses 17 kWh (MARTINS, et al, 2013). Sendo assim, uma pessoa que percorre 32,5 km/dia necessita recarregar seu carro na rede elétrica 10 vezes por mês. Com esses dados, percebe-se que o consumo de energia mensal de um VE gira em torno de 214,5 kWh/mês e 2.610 kWh/ ano.

Com esses dados estimou-se o crescimento da demanda de energia elétrica no Brasil (Figura 54) para suportar todos VEs.

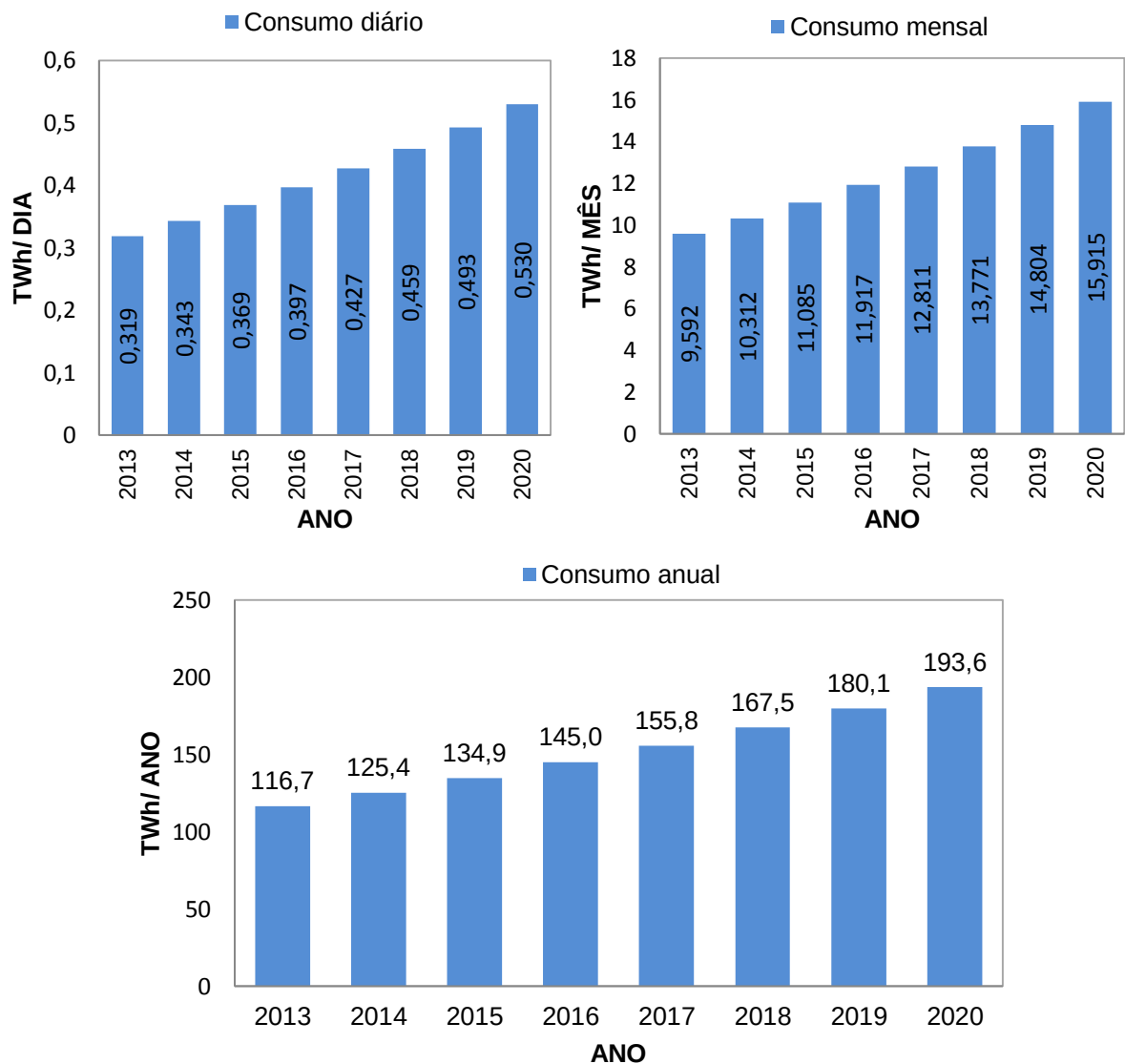


Figura 54 - Consumo de energia necessária para recarregar a frota de veículos leves totalmente elétricos

Na Figura 54 pode ser visto o aumento na demanda de energia elétrica necessária para rodar com toda frota brasileira de VEs, sendo esse crescimento de quase 66%.

Segundo a ANEEL, o valor médio cobrado pelo kWh no Brasil pelas 64 concessionárias de energias é de R\$ 0,304. Com isso, estimou-se o valor anual que seria gasto pelos brasileiros para recarregarem seus VEs na rede elétrica até 2020 (Figura 55).

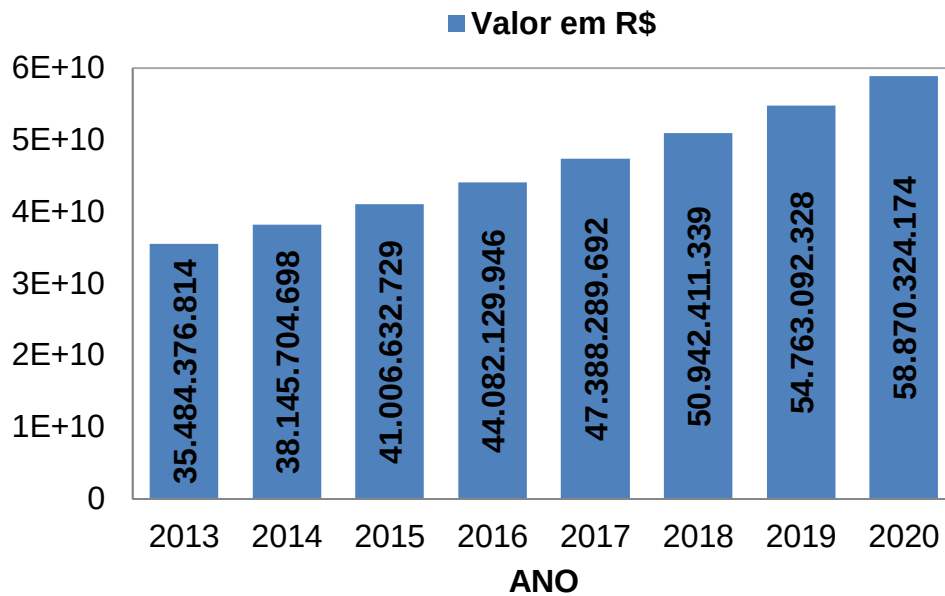


Figura 55 – Entre os anos de 2013 e 2020 tendo em vista o preço da energia elétrica

Ao comparar o preço de 2012, equivalente ao consumo de gasolina e etanol, ao de 2013 (Figura 55), uma frota de veículos leves totalmente elétrica teria uma economia de R\$ 94.462.526.930,00, ou seja, 27,3% do valor que se pagou no ano anterior pelos combustíveis líquidos, além de não emitir na atmosfera Toneladas de poluentes.

A Figura 55 mostra também o crescimento de R\$ 23.385.947.360,00 até 2020 no valor pago para recarregar os VEs. Não foi considerado um aumento no preço do kWh.

Os dados lançados, pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), apontaram o Brasil com uma oferta interna de energia elétrica em 2012 de 592,8 TWh, sendo o consumo final de 498,4 TWh (Figura 56), (EPE; MME, 2013).

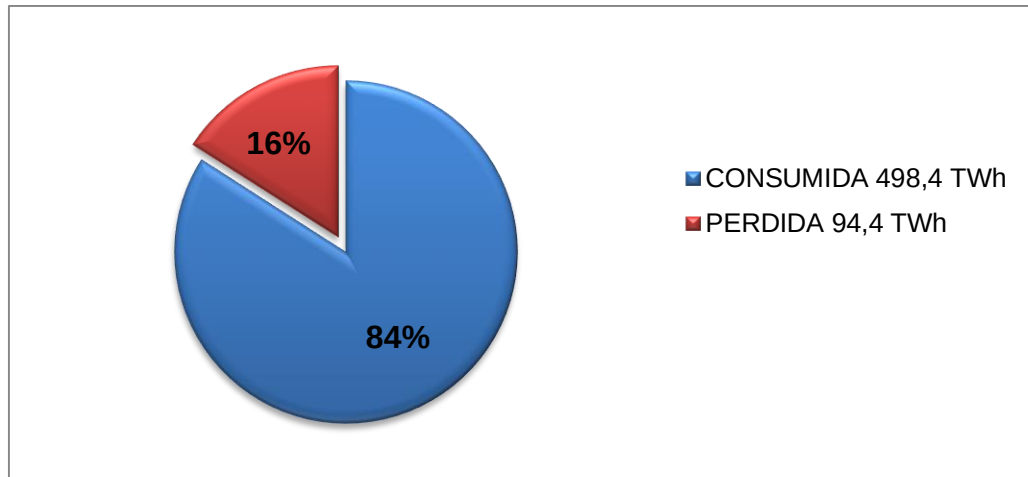


Figura 56 - Oferta interna de energia elétrica de 2012

A perda de energia chegou a 94,4 TWh (Figura 56), ou seja, 16 % de toda energia produzida em 2012 pelo Brasil. Supondo a comparação entre o que é perdido de energia elétrica no Brasil (94,4 TWh) e a necessidade de geração extra de energia para recarregar os VEs, caso toda a frota de veículos do país fosse elétrica, esse total perdido representaria 80,9 % da necessidade dessa produção de energia em 2012.

A expectativa é de que o Brasil até 2020 tenha a capacidade de geração de energia elétrica estimada em 867,3 TWh e de consumo estimada em 730,1 TWh (MME, EPE, 2011). Se a frota de veículos leves fosse elétrica haveria a necessidade de ampliar essa demanda de energia, principalmente com investimentos em sistemas de geração de energia renováveis como a ampliação de parques eólicos e sistemas solares, entre outros.

Estudos de sistemas capazes de fazer o controle de fugas de energia automaticamente já estão em análises, entre eles o sistema Smart Grid, onde os benefícios de sua utilização estão na redução de perdas, no monitoramento de qualidade e na redução de custos. Sendo assim, essa Rede Inteligente controlará as perdas de transmissão e distribuição de energia elétrica, o que irá facilitar uma maior penetração da geração, distribuição, microgeração e eficiência energética (CGEE).

Um dos principais fatores que contribui para a implantação de VEs no Brasil é a grande capacidade que o país possui de gerar energia elétrica a partir de fontes renováveis e não poluentes, ao contrário de países como a China, os EUA e o Japão, onde há um elevado consumo de carvão para tal. O consumo exagerado de carvão

ocasiona poluição, fato que não torna os VEs totalmente limpos, visto que a fonte geradora de energia elétrica nesses países contribui para o aumento da poluição.

A implantação de VEs em larga escala no Brasil não terá impacto apenas sobre o crescimento da demanda de energia, mas também da demanda por mão de obra, criando novas oportunidades para o crescimento do setor elétrico, principalmente através de fontes renováveis.

3.3. Estimativa de 50 % das vendas de veículos leves elétricos comercializados no Brasil entre 2014 e 2020

Com as vendas de veículos leves a combustão chegando a quase 45 milhões no Brasil em 2013, foi estimada a comercialização dos veículos novos vendidos entre 2014–2020, sendo 50 % elétricos, como mostra a Figura 57.

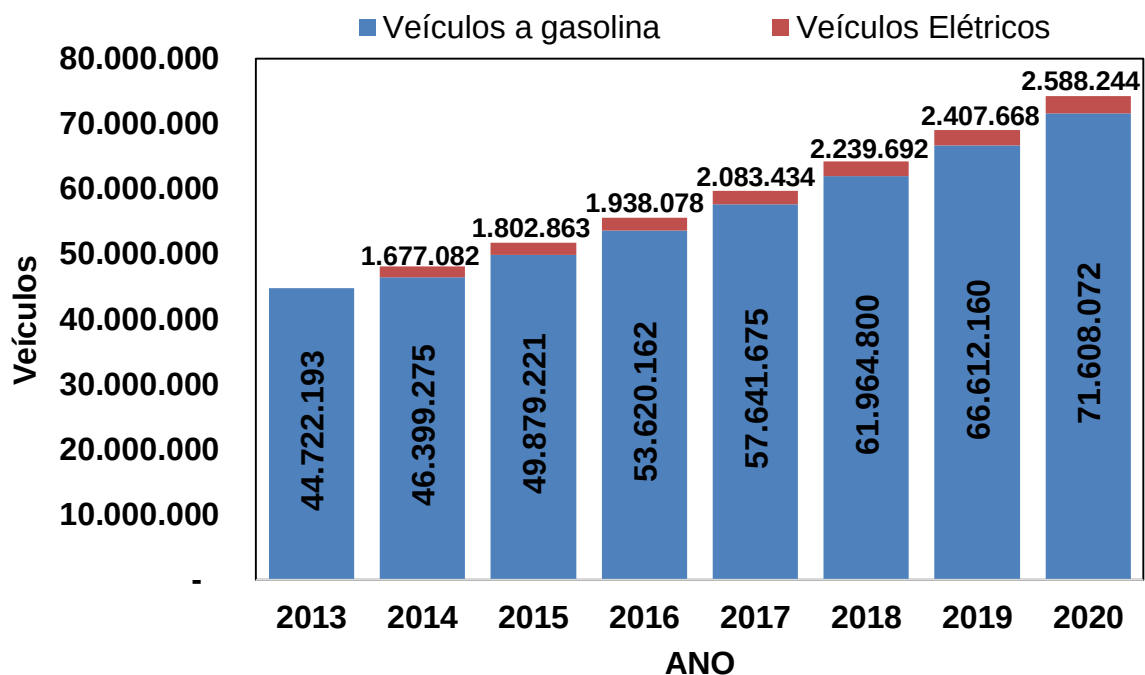


Figura 57 – Comercialização de 50 % dos veículos sendo elétricos entre 2014 e 2020

Se fosse considerada a venda de VEs, como sendo a metade dos veículos comercializados no período 2014–2020, teríamos a diminuição em 50 % nas emissões de poluentes geradas a partir de veículos novos, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Emissões geradas por metade das vendas de veículos a combustão

Unidades	Nº de veículos	ANO	CO2	CO	NOx	RCHO	NMHC	CH4	MP
Mil Toneladas/ ano	1.677.082	2014	3.183	6,7	0,40	0,034	0,67	0,22	0,022
Mil Toneladas/ ano	1.802.863	2015	3.422	7,2	0,43	0,036	0,72	0,23	0,023
Mil Toneladas/ ano	1.938.078	2016	3.678	7,8	0,47	0,039	0,78	0,25	0,025
Mil Toneladas/ ano	2.083.434	2017	3.954	8,3	0,50	0,042	0,83	0,27	0,027
Mil Toneladas/ ano	2.239.692	2018	4.251	9,0	0,54	0,045	0,90	0,29	0,029
Mil Toneladas/ ano	2.407.668	2019	4.570	9,6	0,58	0,048	0,96	0,31	0,031
Mil Toneladas/ ano	2.588.244	2020	4.912	10,4	0,62	0,052	1,04	0,34	0,034

Na Tabela 3 estão relacionadas as emissões dos veículos a combustão, metade dos veículos vendidos entre 2014 e 2020. Já o consumo de energia elétrica para abastecer a outra metade dos veículos vendidos no mesmo período, que são os veículos elétricos, pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 - Consumo de metade das vendas de Veículos Elétricos

ANO	Nº de Veículos	Consumo de energia (TWh/ano)
2014	1.677.082	4,4
2015	1.802.863	4,7
2016	1.938.078	5,1
2017	2.083.434	5,4
2018	2.239.692	5,8
2019	2.407.668	6,3
2020	2.588.244	6,8

A Tabela 4, mostra o aumento no consumo de energia que passaria de 4,4 TWh/ano, em 2014, para 6,8 TWh/ano, em 2020. Um aumento de 54,5 %.

3.4. Gastos com Veículos Elétricos e veículos a combustão ao longo de sua vida útil

A comparação entre um VE (Nissan Leaf) e um veículo a combustão (Nissan Tiida) de mesma potência, pode ser vista na Tabela 5. Essa comparação apresenta as cifras estimadas dos custos ao longo da vida, que no Brasil para veículos leves é de 8 anos e 7 meses (SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS, 2014). A Tabela 5 mostra, ainda, a diferença que existe entre um VE com isenção de impostos e outro sem isenção, diferença essa que chega a R\$ 70 mil reais. Os valores de VEs com e sem isenção do IPVA (4%) também constam nessa tabela.

O preço do Nissan Leaf sem isenção de impostos é quase três vezes superior ao Nissan Tiida. Quando comparado o valor do Nissan Leaf com isenção de impostos em relação ao Nissan Tiida, essa diferença diminui para R\$ 25 mil reais. Outra diferença demonstrada, na Tabela 5, é a relação dos gastos com os veículos durante o tempo de vida, onde foram estipulados gastos anuais com manutenção, combustível, seguros (5%) e desvalorização de 10% ao ano.

A soma dos gastos anuais para esses veículos, chega a R\$ 14.951,00 para Nissan Tiida, R\$ 29.131,00 para o Nissan Leaf sem isenção de impostos e R\$ 15.831,00 para o Nissan Leaf com isenção de impostos. Como existem estados brasileiros que isentam do pagamento de IPVA os VEs, os valores anuais para o Nissan Leaf, sem isenção de impostos, ficam em R\$ 23.131,00 e para o Nissan Leaf, com isenção de impostos R\$ 12.631,00. A comparação entre os gastos durante a vida de um veículo no Brasil, apresentada na Tabela 5, expressa uma viabilidade maior do VE, com isenção de impostos e IPVA, em comparação com um veículo a combustão.

Outro fator que chama atenção é o fato do retorno de investimento que, no somatório do valor pago pelo veículo, pode ser quitado em 10 anos e 8 meses, ou seja, 2 anos e 1 mês a mais do que a média dos veículos em circulação no país. No entanto, os gastos anuais com a manutenção do VE com as isenções são de R\$ 2.320,00 a menos do que a manutenção anual do veículo a combustão. Verifica-se assim, que a implantação dos VEs só será viável a partir do momento em que existirem leis específicas para os VEs, isentando-os do pagamento de diversos impostos, os quais fazem com que o valor final desses veículos se torne elevado no país.

Tabela 5 – Comparação entre VE e Convencional ao longo da vida

Veículos	Elétrico S/ isenção	Elétrico C/ isenção	Convencionais
Modelo do veículo	Nissan Leaf	Nissan Leaf	Nissan Tiida (110 CV)
Preço (R\$)	150.000,00	80.000,00	55.000,00
Média do Tempo de Vida (anos)	8,7	8,7	8,7
Manutenção (R\$)	435,00	435,00	6.960,00
Consumo de Combustível (R\$)	4.176,00	4.176,00	31.320,00
Seguros (R\$)	118.329,00	63.519,00	43.944,00
Desvalorização (R\$)	130.500,00	69.600,00	47.850,00
TOTAL ANUAL (R\$)	253.440,00	137.830,00	130.074,00
Total com isenção do IPVA	225.600,00	109.890,00	===

Outra comparação importante é a diminuição das emissões de poluentes durante esses 8 anos e 7 meses, a qual, com a utilização de VEs, deixará de emitir os valores representados na Tabela 6, onde apresenta valores referentes a um veículo a combustão e valores referentes a toda frota de 2013.

Tabela 6 – Emissões geradas ao longo da vida dos veículos convencionais

Nº de veículos	CO2	CO	NOx	NCHO	NMHC	CH4	MP	Unidades
1	16.513	35	2,1	0,2	3,5	1,13	0,113	kg
44.722.193	738.498	1.565	94	9	157	51	5	Mil Toneladas

3.5. Fontes geradoras de energia no Brasil

O Brasil tem capacidade de aumentar sua produção de energia elétrica de diferentes maneiras: construindo novas termelétricas, implantando novos parques eólicos, ampliando as hidrelétricas e investindo em sistemas fotovoltaicos, entre outras. A Figura 58 apresenta a oferta interna de energia elétrica por fonte oferecida em 2012.

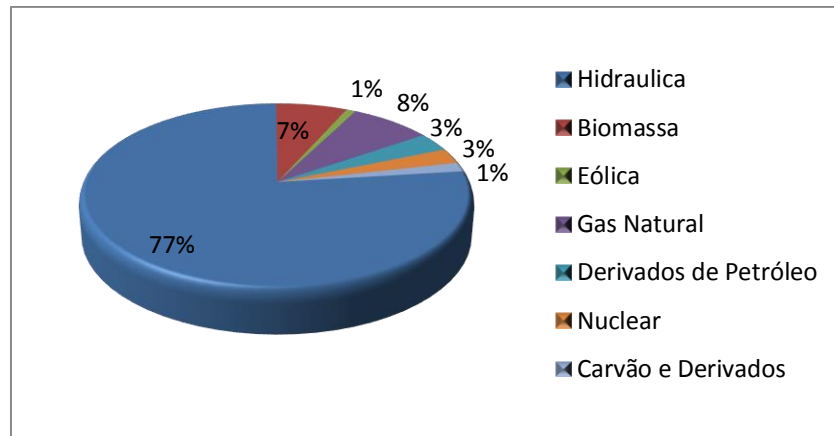


Figura 58 - Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte – 2012

Como pode ser visto na Figura 58, a geração de energia elétrica é predominante hidráulica no Brasil, sendo essa a fonte geradora mais limpa. No entanto a PETROBRAS vem fazendo testes com uma turbina a etanol, a fim de buscar outras fontes que sejam renováveis, como alternativa ao gás e ao carvão.

A Termelétrica de Juiz de Fora, foi a primeira Termelétrica do mundo a converter uma turbina a gás para etanol. Segundo dados de 2009, da PETROBRAS, a Termelétrica de Juiz de Fora possui uma turbina convertida de gás natural para etanol, com capacidade de 42 MWh, que consome 18.600 litros de etanol por hora (a Turbina a etanol de Juiz de Fora não está em operação contínua, serve apenas como alternativa ao gás natural).

Se essa turbina a etanol estivesse em funcionamento e fosse utilizada 24 horas por dia, ela consumiria por ano 162.936.000 litros de etanol e produziria 367.801 MWh, já que dados fornecidos pela PETROBRAS informam que para gerar 1 MWh são necessários 443 litros de etanol.

O consumo de etanol por veículos convencionais, anualmente, gira em torno de 9.850.180.000 litros. Com esse valor seria capaz de abastecer por ano cerca de 60 novas turbinas a etanol, igual a existente na Termelétrica de Juiz de Fora. A geração de energia com essas turbinas chegaria a 2.520 MWh. Com as turbinas a etanol, diminuiria em 30% a geração de poluentes, comparadas estas com turbinas a gás natural, segundo pesquisas realizadas pela PETROBRAS.

No Brasil, existem em operação 1.773 Usinas Termelétricas (UTE) abastecidas com diferentes combustíveis, 19 UTE em construção e 132 UTE outorgadas (não iniciaram sua construção) (ANEEL 2013).

As Centrais Geradoras Eólicas (EOL) somam 105 em operação, que geraram 5,05 TWh em 2012 e estão ganhando cada vez mais espaço na produção de energia do país. O governo autorizou a construção de mais 92 (EOL), na expectativa de gerar mais energia a partir dessa fonte renovável e 203 (EOL) já foram outorgados (não iniciaram sua construção). Segundo especulações, a produção para algumas regiões do país como no Nordeste, pode chegar a 144,29 TWh/ano, na região Sudeste, a 54,93 TWh/ano e, na região Sul, a 41,11 TWh/ano. Com a produção de energia eólica, o Brasil está dando um grande passo na direção do desenvolvimento sustentável (MME 2013; MMA 2013; ANEEL 2013).

A principal oferta de energia elétrica no Brasil é decorrente de Hidrelétricas, cerca de 77%. Esta representa anualmente 460 TWh, valores referente a 2012 (Balanço Energético Nacional 2013). Esse valor anual de energia é produzido por 433 Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), 462 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e 194 Usinas Hidrelétricas (UHE), além dessas, existem em construção 1 CHG, 32 PCH e 7 UHE; foram outorgadas (não iniciaram sua construção) outras 53 CGH, 141 PCH e 15 UHE (ANEEL 2013).

O sistema solar é outra alternativa para geração de energia, principalmente se referindo a energia limpa, visto que, hoje no Brasil, existem 44 Centrais Geradoras Solares Fotovoltaicas (UFV) com potência total de 4.921 kW (ANEEL 2013).

Uma nova tecnologia que ainda não foi implantada no Brasil é o aproveitamento da energia das ondas, que consiste no movimento alternado da superfície do mar (ondas). Esse movimento de comprimir e expandir (pressurizar e despressurizar o ar) dentro de uma câmara fechada, através de uma turbina que transforma a energia mecânica em energia elétrica (ENERGIAS RENOVÁVEIS, 2013).

3.6. RESUMO CAP. 3

O Brasil tem grande potencial de crescimento no desenvolvimento de novas tecnologias, entre elas o VE. Por isso, empresas já estão firmando contratos com estados da federação, com âmbito de construir fábricas para a produção de VE.

O aumento na demanda de consumo dos combustíveis fósseis, traz à tona a necessidade de frear esse crescimento com a implantação de novas alternativas, visto que a queima desses combustíveis traz diversos malefícios à saúde, que mata milhares de pessoas todos os anos.

Medidas capazes de solucionar impasses como os preços exorbitantes cobrados de impostos, parcerias entre o governo e empresas internacionais para desenvolver seus produtos no país, financiamentos capazes de investir em pequenos empresários, tornaria mais acessível a aquisição de VEs por parte dos brasileiros, visto que os preços teriam uma queda acentuada no valor final. A criação de leis próprias para VE seria outra medida capaz de acelerar sua inserção no mercado nacional.

O Brasil necessita de pesquisas em desenvolvimento de tecnologias, para um dia começar a pensar em entrar no mercado de VE, principalmente se tratando de veículos 100% nacionais. Não existem hoje, no país, empresas capazes de competir com a tecnologia de baterias desenvolvidas principalmente pelos asiáticos, os quais detém predominantemente esse conhecimento. Investimentos em tecnologia devem partir do governo federal, que deve fiscalizar e cobrar resultados das empresas envolvidas, a fim de impulsionar e contribuir com o avanço tecnológico do país.

A implantação de estações de carregamento rápido, em locais estratégicos das cidades, também é necessária para que se obtenha uma infraestrutura maior aos proprietários de VE. Uma medida, em relação à recarga de VE nas propriedades, que o governo poderia implantar seria beneficiar os proprietários que recarregam seus veículos à noite, abatendo no valor da tarifa cobrada, buscando prevenir sobrecargas durante o dia. Evitar-se-ia, assim, possíveis blecautes.

No Brasil predomina-se a produção de energia elétrica derivada de fontes limpas (hidráulica), o que o torna uma referência para a utilização de VE (sem nenhum tipo de poluição em toda a cadeia). Realidade oposta à da China, a do Japão e a dos Estados Unidos, onde a utilização do carvão para essa produção é exorbitante.

4. PAÍSES QUE MAIS POSSUEM VEÍCULOS ELÉTRICOS EM CIRCULAÇÃO

A venda de veículos elétricos diferencia-se entre os países por vários aspectos, entre eles isenções fiscais, distâncias percorridas, tempo de recarga, entre outros fatores.

A inserção no mercado e a comercialização de VEs variam significativamente entre os países. O Japão, segundo a Global EV Outlook 2013, liderou o mercado mundial em 2012 com o equivalente a 28% das vendas em veículos elétricos a bateria, seguido pelos EUA com 26%, pela China com 16%, pela França com 11%, depois pela Noruega com 7%, Alemanha e Reino Unido com 2% e outros países 8%, como pode ser visto na Figura 59.

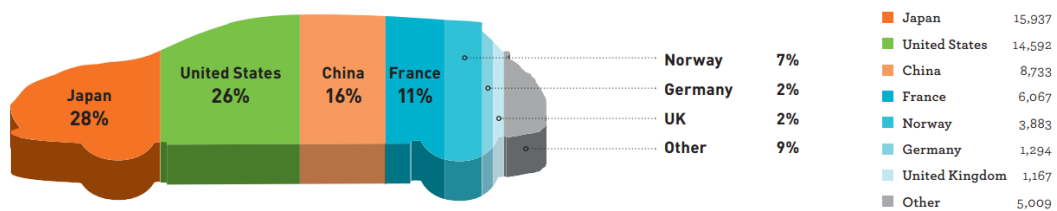


Figura 59 - Comercialização de VEs em 2012
Fonte: GLOBAL EV OUTLOOK 2013

Já as vendas mundiais de veículos Plug-in híbrido, em 2012, foram lideradas pelos EUA, sendo eles responsáveis por 70% do total de comercialização, seguidos pelo Japão com 12%, Holanda com 8%, Canadá e China com 2% e outros países com 6%, como se vê na Figura 60.

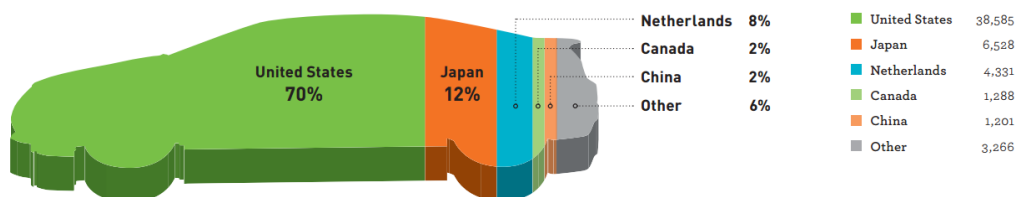


Figura 60 - Comercialização de Plug-in híbrido em 2012
Fonte: GLOBAL EV OUTLOOK 2013

4.1. Incentivos dos governos e números de veículos elétricos por país

4.1.1. Japão

O Japão foi, até 2012, líder mundial na venda de VE e conta, atualmente, com uma frota de mais de 40 mil VEs em circulação no país, veículos esses comercializados entre 2009 e junho de 2013.

Para aumentar as vendas de VE, o governo japonês aprovou, em 2009, uma lei que oferece subsídios aos proprietários desses veículos. Os descontos referem-se à aquisição, à isenção fiscal, à isenção do imposto por peso do veículo e à isenção por cinco anos do imposto de circulação, e tornam mais competitivo o valor de aquisição de um VE em relação aos veículos convencionais, que continuam sendo mais acessíveis.

A Figura 61 mostra os veículos mais vendidos no Japão entre 2009 e junho de 2013.

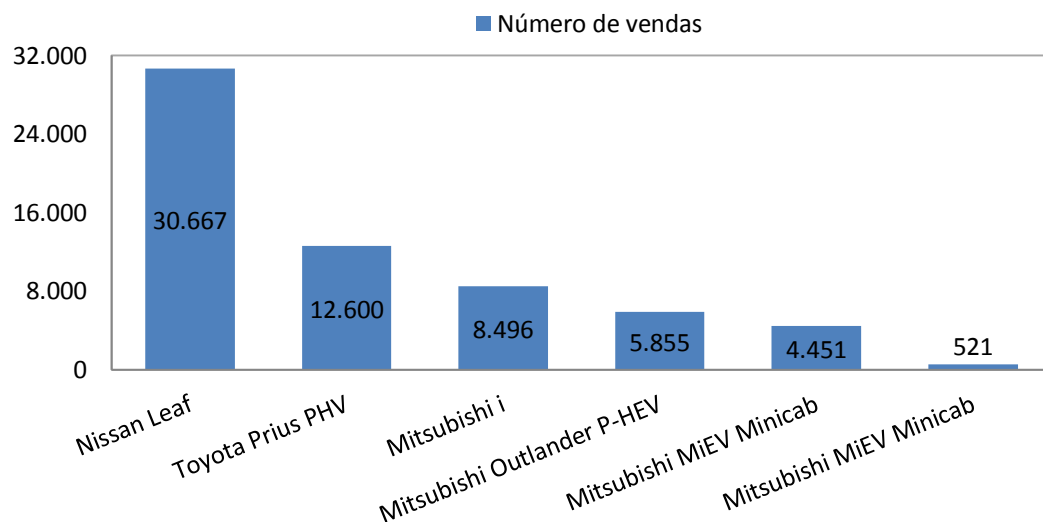


Figura 61 - Vendas de VEs e VEH por modelo Japão
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país Japão
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 1

Nota-se, na Figura 61, que a venda do Nissan Leaf é muito superior aos demais, visto que é um veículo desenvolvido no Japão que caiu no gosto da população e que está em constante evolução.

Na Figura 62, apresenta a comparação entre veículos híbridos e elétricos quanto às vendas totais no Japão.

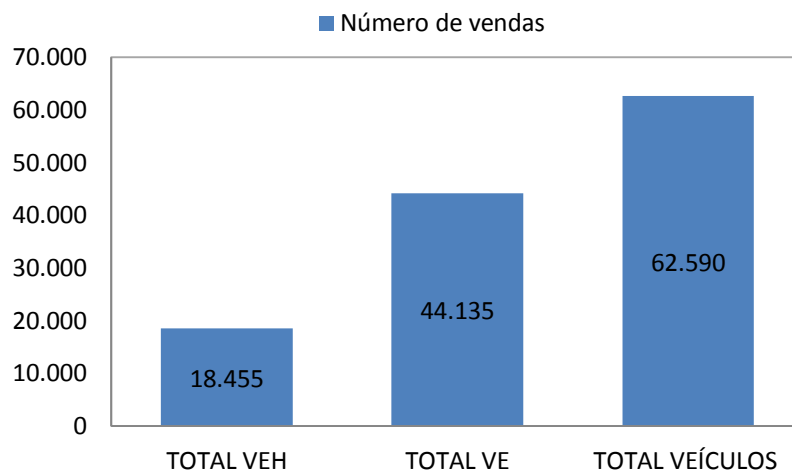


Figura 62 - Vendas de VEs e VEH no Japão, entre 2009 e Jun. 2013

Fonte: Adaptado diversas fontes do país Japão

Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 1

4.1.2. Estados Unidos da América (EUA)

Os EUA têm, hoje em dia, a maior frota de veículos híbridos e elétricos do mundo, uma realidade em que mais de 116 mil VHE e mais de 64 mil VE rodam pelo país.

Nos últimos dois anos a expectativa da venda de veículos elétricos a bateria foi superada em mais que o dobro pela venda de veículos híbridos a bateria, como mostra a Figura 63.

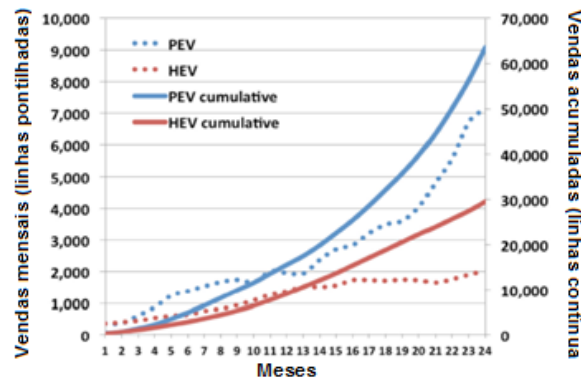


Figura 63 - Comparação da venda de BEV e HEV em 24 meses
Fonte: Adaptação Grand Challenge Blueprint 2013

A lei de incentivos concedida pelos EUA, segundo Sharon Silke Carty, chega a 7.500 mil dólares (17.700 reais), além dos descontos cedidos pelos estados, o que suaviza ainda mais o preço final de um VE. Os EUA também contam com diversos incentivos ao desenvolvimento de veículos elétricos e de novas tecnologias de baterias apoiados pelo governo federal.

A Figura 64 apresenta as vendas de VE e VEH por modelo.

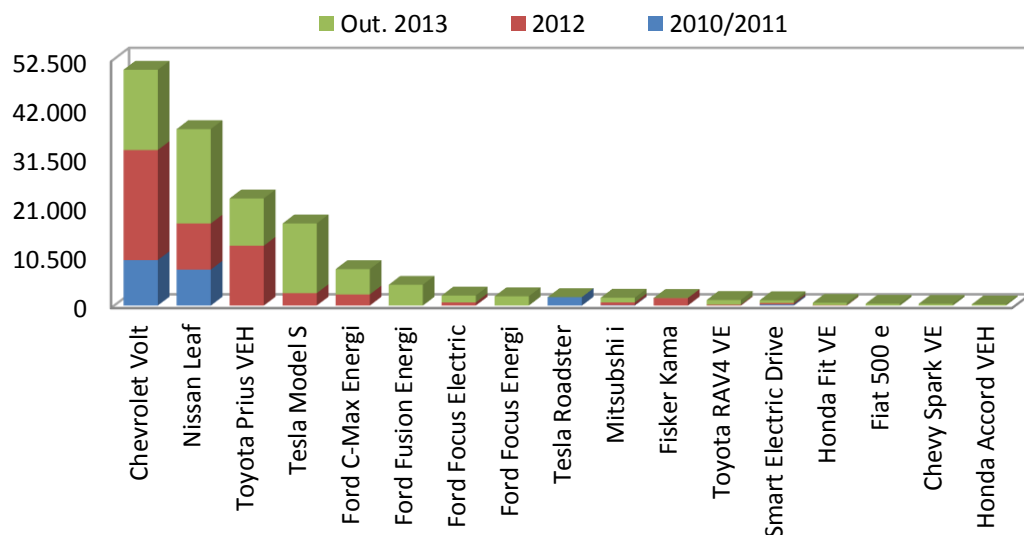


Figura 64 - Vendas de VEs e VEH por modelo EUA

Fonte: Adaptado diversas fontes do país EUA

Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 2

Na Figura 64 percebe-se o aumento considerável das vendas de VEs e VEH, que pode ser visto em números totais na Figura 65.

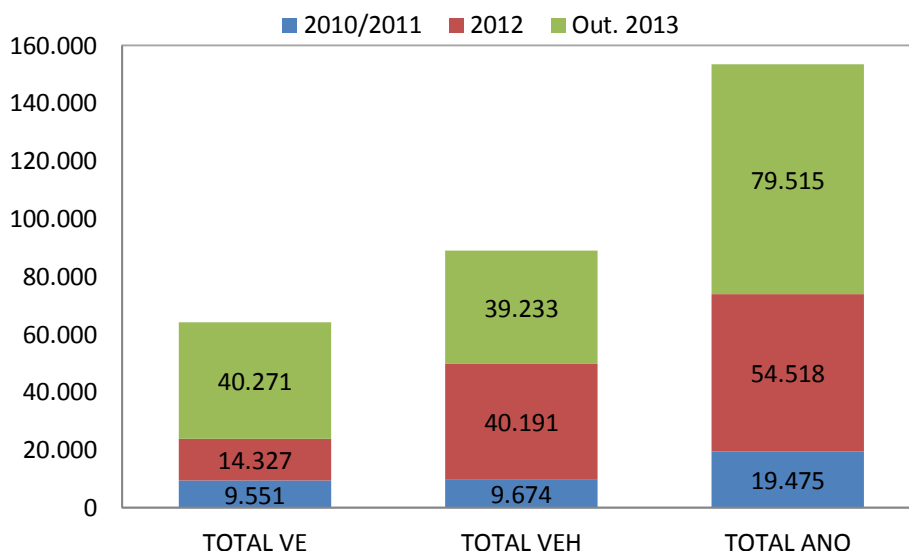


Figura 65 - Vendas de VEs e VEH nos EUA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país EUA
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 2

A Figura 65 mostra o crescimento principalmente das vendas de VEs. Constatou-se, até Out. de 2013, um aumento de quase três vezes o total vendido em 2012.

4.1.3. China

A pretensão da China em ser líder mundial na venda de veículos elétricos, até 2012, não foi concretizada na prática, uma vez que é apenas a terceira no ranking de vendas, atrás de Japão e EUA (Global EV Outlook 2013).

O governo chinês anunciou, em 2010, um programa de testes para fornecer incentivos para a compra de VEs. Esses incentivos podem chegar a 9.300 dólares (22 mil reais), no entanto é válido apenas para cinco cidades, sendo elas Shanghai,

Shenzhen, Hangzhou, Hefei e Changchun (Zhu Wenjun, 2010). O subsídio anunciado pelo governo terá uma redução após 50.000 veículos vendidos.

A Figura 66 mostra o número de veículos elétricos vendidos na China ao longo de 2012.

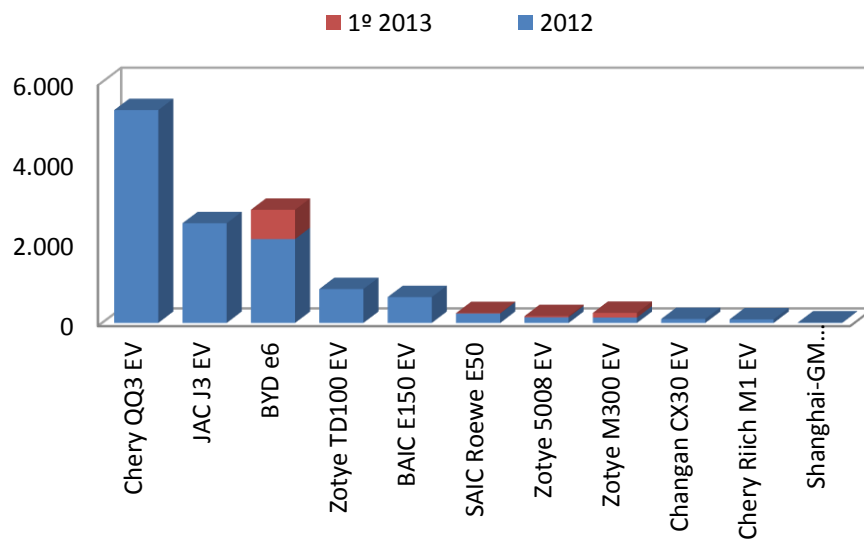


Figura 66 - Vendas de VEs e VEH por modelo CHINA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país China
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 3

A China foi, em 2012, o terceiro país que mais comercializou VEs. Até o primeiro semestre de 2013 tinha comercializado 13 mil veículos.

4.1.4. França

A França possui registrados mais de 20.500 mil VEs em circulação no país, número esse que cresce continuamente. Os incentivos do governo, como a concessão de um bônus, podem chegar a 7.000 euros (22.700 reais), mas se limitam a 30 % do valor do veículo.

Os incentivos foram fundamentais para a mudança de mentalidade dos franceses, visto que os VE ainda contam com benefícios que variam, desde circular

de graça em vias centrais da capital a estacionamentos prioritários e pontos de recarga em vias públicas.

A Figura 67 mostra os veículos preferidos dos Franceses para compra.

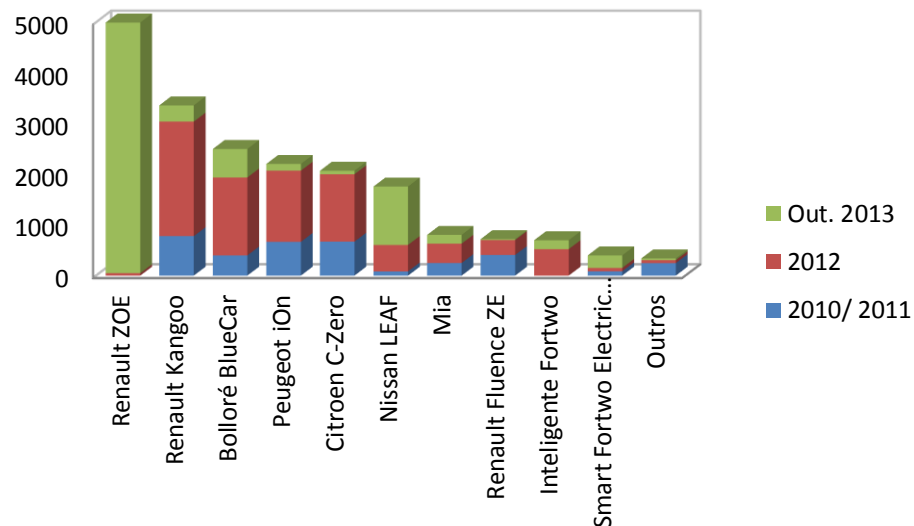


Figura 67 - Vendas de VEs e VEH por modelo FRANÇA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país França
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 4

Na Figura 67, a supremacia nas vendas do Renault Zoe em 2013 é visível, tendo sido comercializados quase 5 mil veículos. Esse aumento nas vendas de VEs, começa a representar uma maior interação dos franceses com esse tipo de veículo, como pode ser visto na Figura 68.

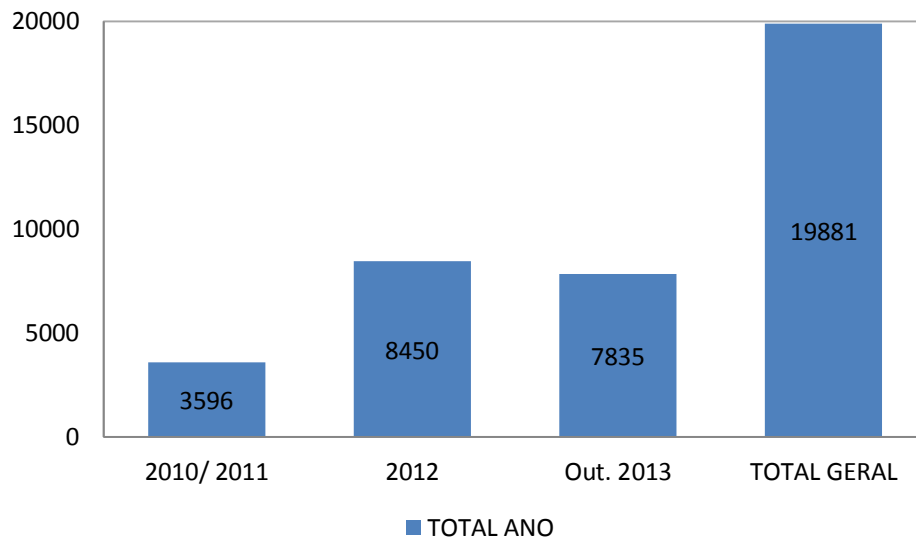


Figura 68 - Vendas de VEs e VEH na FRANÇA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país França
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 4

A Figura 68 representa o crescimento anual das vendas de VEs, visto que, faltando três meses para o fim de 2013, a meta de continuar o crescimento das vendas do ano anterior, está quase alcançada. A média mensal das vendas é de mais de 700 VEs.

4.1.5. Noruega

A Noruega conta com uma frota de mais de 13.300 mil VEs registrados entre 2008/2011 e setembro de 2013. Devido ao tamanho do país, a Noruega é considerada o país com o maior número de veículos elétricos per capita no mundo. Sua capital, Oslo, é conhecida como a capital mundial dos VEs.

Os incentivos estabelecidos pelo parlamento norueguês foram de atingir uma meta de 50 mil veículos elétricos até 2018. Desta forma, sendo assim até essa data ou até atingir o número de veículos, os proprietários estão isentos dos impostos sobre a compra, de 25 % de IVA imposto sobre o consumo, da isenção do imposto anual de circulação, do pagamento de estacionamento e dos pedágios. Podem,

também, trafegar pelos corredores de ônibus. Todos esses benefícios tornam as vendas, de VEs, competitivas em relação aos veículos convencionais.

A Figura 69 apresenta os modelos mais vendidos na Noruega.

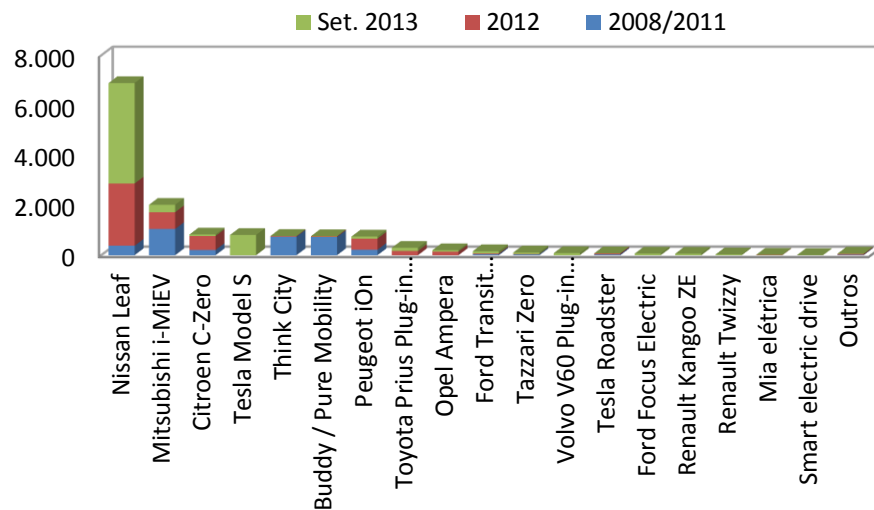


Figura 69 - Vendas de VEs e VEH por modelo NORUEGA

Fonte: Adaptado diversas fontes do país Noruega

Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 5

Na Figura 69 pode ser visto o veículo que mais é vendido na Noruega: o Nissan Leaf. As vendas desse veículo estão crescendo em relação às demais VEs desde 2012. Dados de setembro de 2013 mostram que praticamente dobraram as vendas do Leaf em comparação ao ano anterior.

Outro dado que mostra a evolução das vendas principalmente dos VEs é visto na Figura 70.

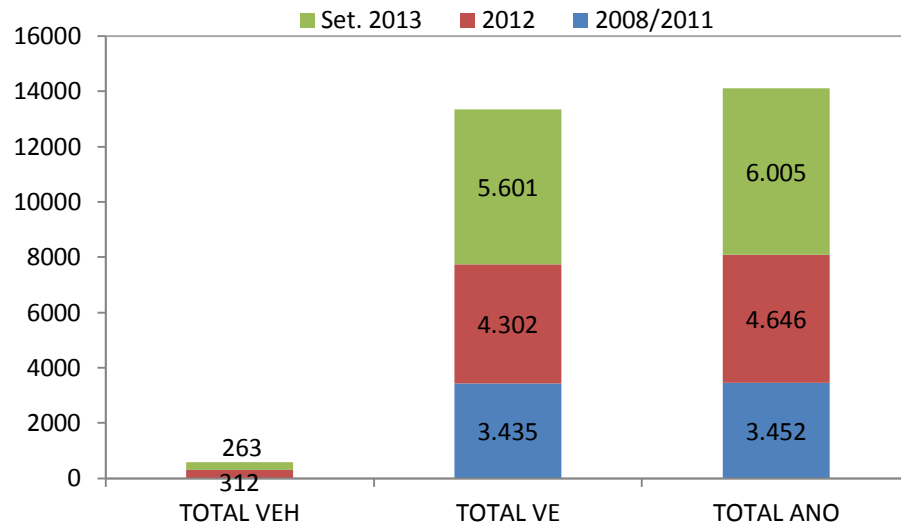


Figura 70 - Vendas de VEs e VEH na NORUEGA

Fonte: Adaptado diversas fontes do país Noruega

Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 5

4.1.6. Alemanha

A Alemanha é o país europeu que menos subsídios fornece à comercialização de veículos elétricos, no entanto as vendas desses tipos de veículos só aumentam a cada ano como apresentado na Figura 71, que mostra, também, os modelos mais comercializados.

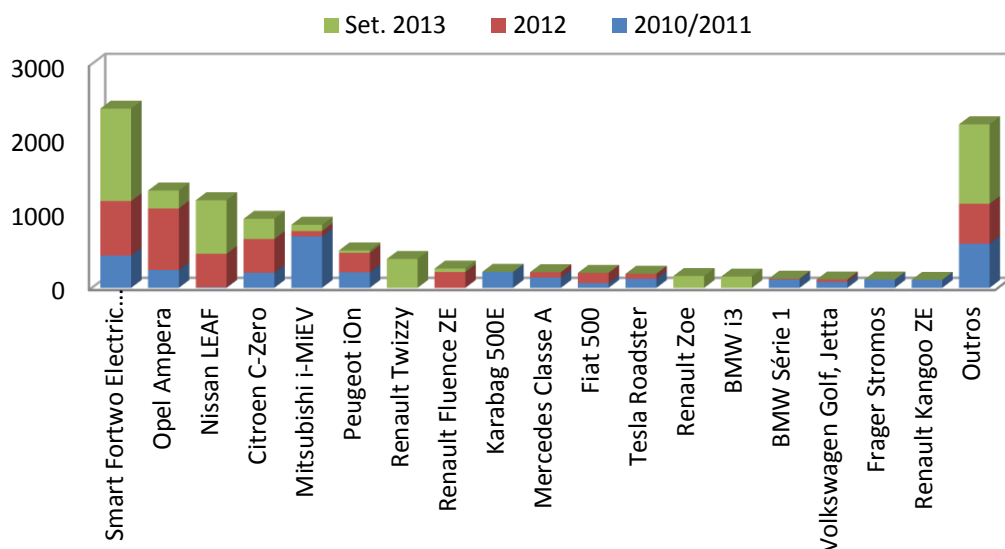


Figura 71 - Vendas de VEs e VEH por modelo ALEMANHA

Fonte: Adaptado diversas fontes do país Alemanha

Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 6

Na Figura 71 nota-se uma variedade grande de VEs, no entanto o veículo mais vendido desde 2012 é o Smart Fortwo Electric Drive com 2.400 unidades até setembro de 2013. A totalidade de VE e VEH mais vendida na Alemanha pode ser vista na Figura 72.

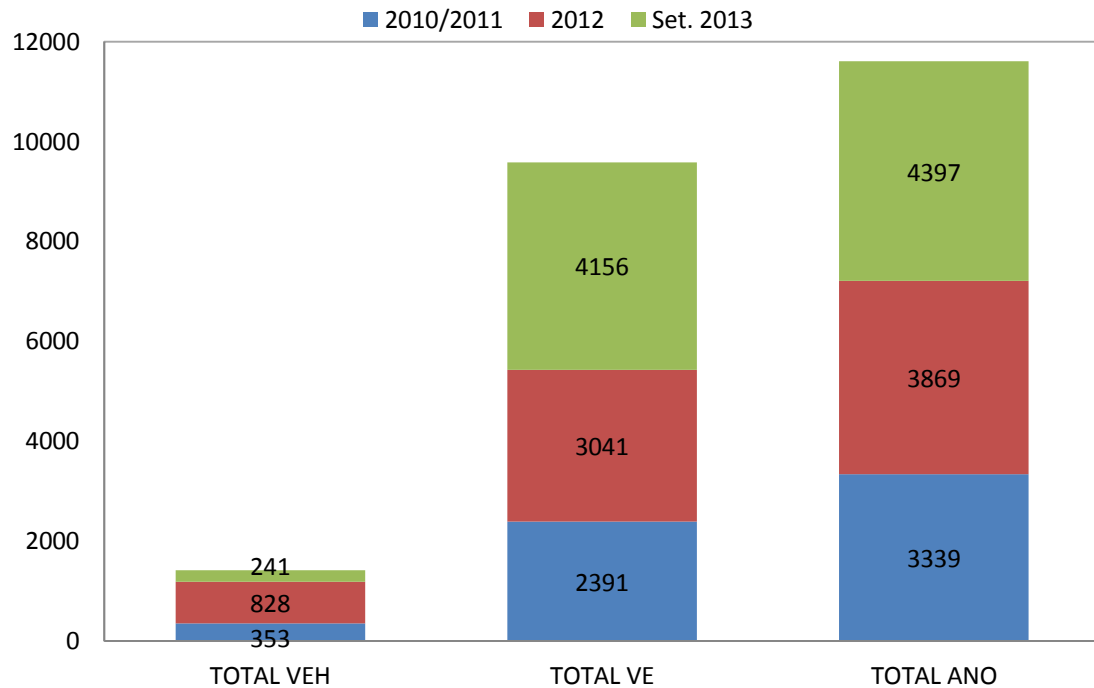


Figura 72 - Vendas de VEs e VEH na ALEMANHA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país Alemanha
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 6

Conforme mostra a Figura 72, a Alemanha está registrando crescimento nas vendas de VE desde 2010/2011, quando foram vendidos quase 2400 veículos. O mesmo país registrou a venda de 4156 VE nos primeiros 9 meses de 2013.

4.1.7. Reino Unido

O governo britânico lançou um programa de nome Plug-in Car Grant (Concessão de carros Plug-in) que teve início em 2011. Esse programa conta com um incentivo equivalente a 250 milhões de reais para a isenção de impostos, a fim de

fazer com que os consumidores adquiram cada vez mais VEs. A redução dos custos chega a 25 % do valor do veículo ou ao valor equivalente a 5.000 mil libras (19.500 reais).

O Reino Unido possui uma frota de mais de 6.000 mil VEs em circulação, dados referentes a junho de 2013. A Figura 73 apresenta os modelos mais comercializados no país.

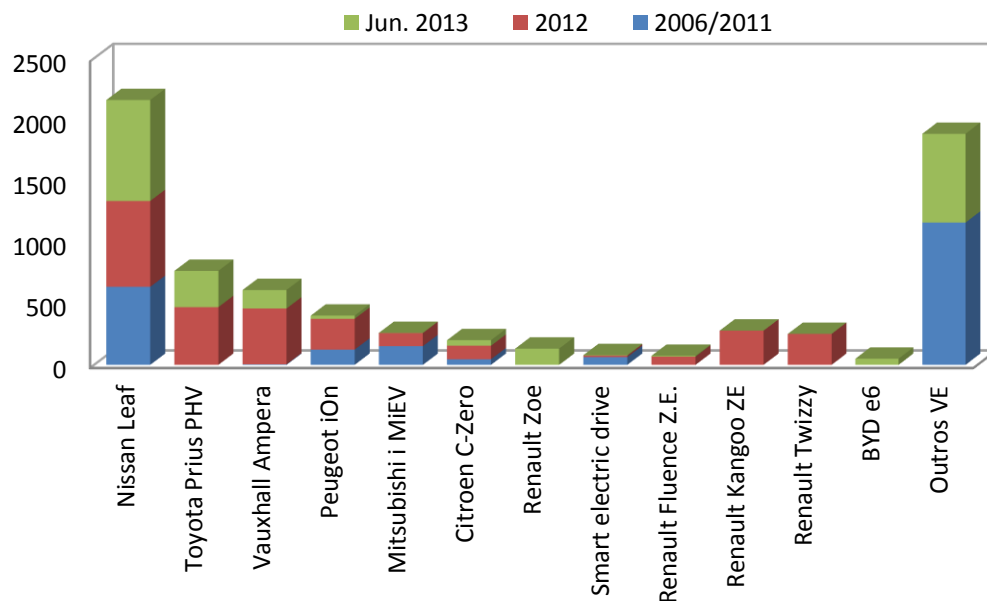


Figura 73

- Vendas de VEs e VEH por modelo REINO UNIDO
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país Reino Unido
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 7

Como mostra a Figura 73, a comercialização de VEs está crescendo ano a ano, principalmente impulsionadas pelo Nissan Leaf, o qual vendeu no período 2006/2011 635 veículos, contra 825 nos primeiros 6 meses de 2013.

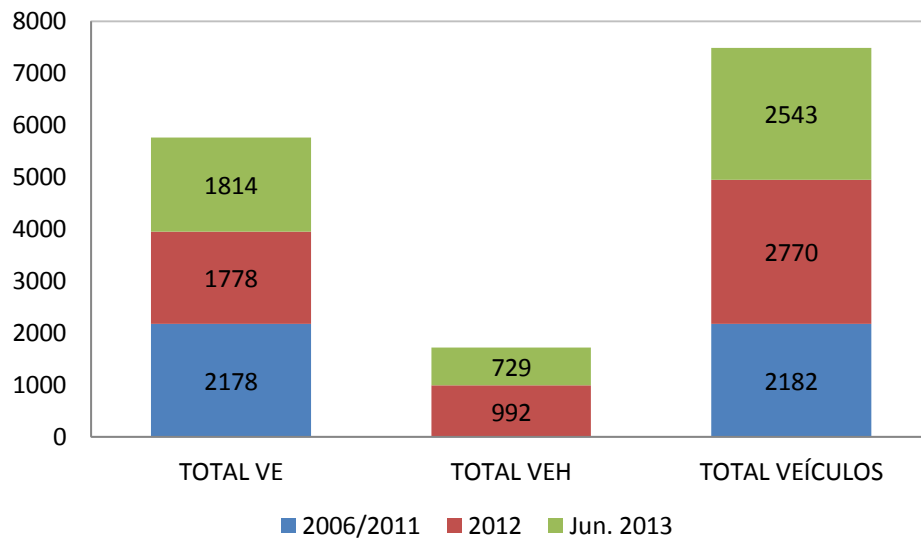


Figura 74 - Vendas de VEs e VEH no REINO UNIDO
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país Reino Unido
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 7

A Figura 74 indica um crescimento nas vendas de VEs. Muito desse crescimento se deve aos incentivos por parte do governo que facilitam no abatimento do preço final desses veículos, ficando mais atrativo comercialmente comparado aos veículos convencionais.

4.1.8. Holanda

Na Holanda o governo não concede subsídios na compra de veículos elétricos, mas isenta os proprietários desses veículos do pagamento do registro de veículo e do imposto anual de circulação, o que gera uma economia que varia em torno de 5.500 mil euros (17.700 reais). Mesmo sem os subsídios de outros países para a aquisição de VEs, a Holanda vem registrando crescimento na venda de veículos elétricos, a Figura 75 apresenta os modelos mais vendidos entre os anos de 2009 e Jun. de 2013.

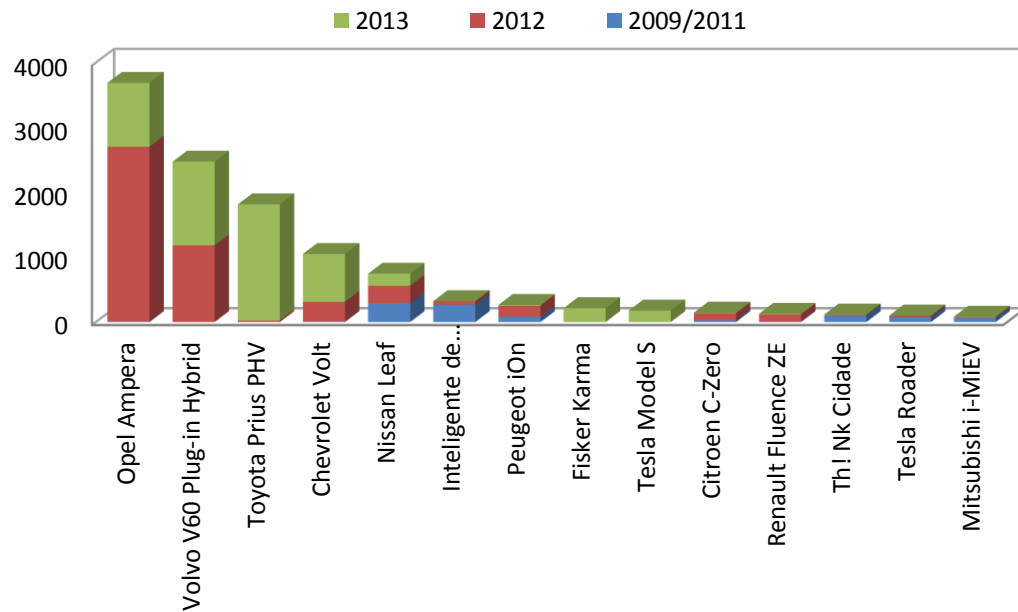


Figura 75 - Vendas de VEs e VEH por modelo HOLANDA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país Holanda
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 8

Na Figura 75 nota-se um crescimento mais acelerado de VEH do que de VE. A Figura 76 mostra essa comparação de vendas em números.

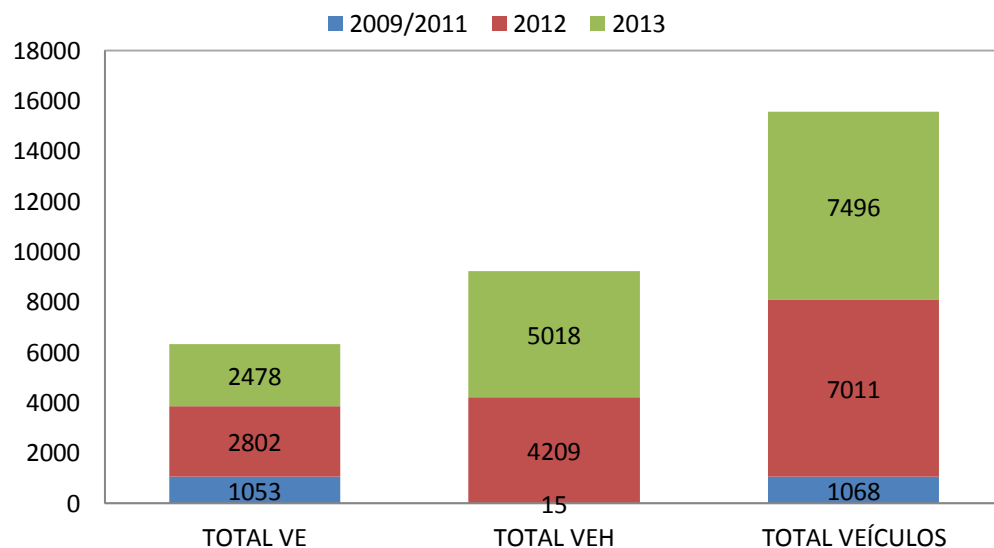


Figura 76 - Vendas de VEs e VEH na HOLANDA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país Holanda
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 8

Os números de vendas (Figura 76) comprovam a supremacia dos VEH sobre os VEs, no entanto o número de VEs vendidos está à frente em alguns países, como por exemplo Reino Unido.

A capital holandesa, Amsterdam, conta com benefícios próprios para a circulação de veículos elétricos, onde esses têm acesso a vagas reservadas de estacionamento e locais de recarga gratuita. Outra vantagem na utilização de VE, na Holanda, é o fato de o país ser relativamente pequeno quanto à área territorial.

4.1.9. Canadá

O governo canadense fornece incentivos de até 8.000 mil dólares (20.500 reais) para a aquisição de VE, incentivo esse que entrou em vigência em julho de 2010 e é válido para os primeiros 10.000 mil compradores.

Os proprietários de VE possuem diversas vantagens, como preferencias em estradas, estacionamentos e postos de recarga, entre outros. A venda de VEs está aumentando sua popularidade no Canada. Sua comercialização não para de aumentar a cada ano, como mostra a Figura 77.

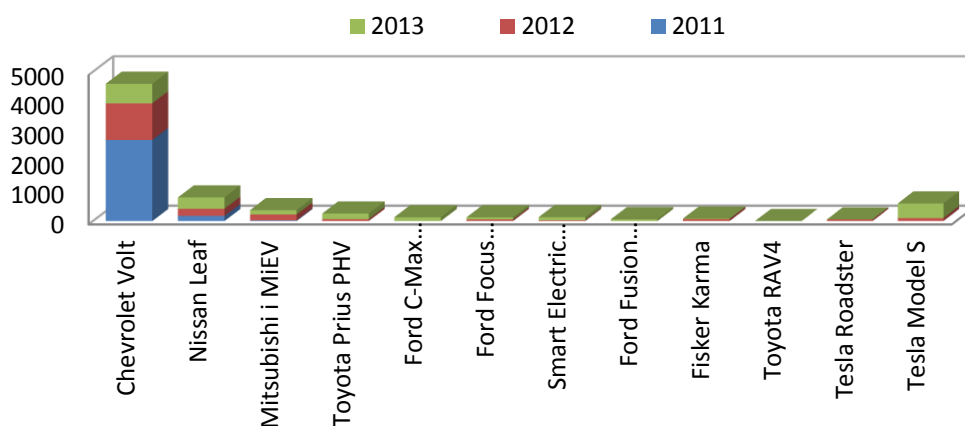


Figura 77 - Vendas de VEs e VEH por modelo CANADA

Fonte: Adaptado diversas fontes do país Canada

Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 9

Como mostra a Figura 77, o VEH Chevrolet Volt é disparado o mais vendido, principalmente no ano de 2011, no entanto com o surgimento de outros

modelos de VEH e VE no Canada, aumentou a opção aos consumidores e, a partir de então, diminuiu as vendas do Volt.

O volume das vendas totais está representado na Figura 78.

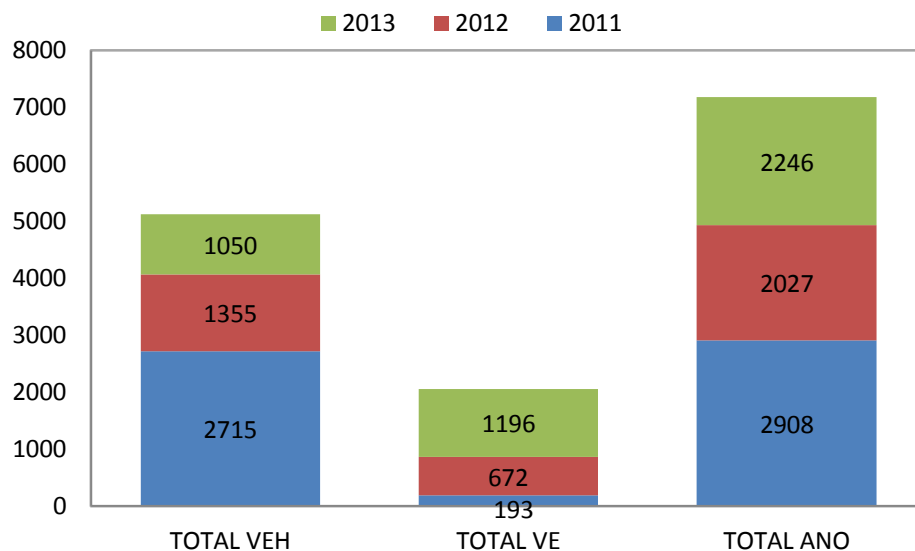


Figura 78 - Vendas de VEs e VEH no CANADA
 Fonte: Adaptado diversas fontes do país Canada
 Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar item 9

Na Figura 78 se observa a redução nas vendas de VEH e, consequentemente o aumento das vendas de VE, aumento esse que vem desde 2011.

4.1.10. Comparação das vendas de Veículos Elétricos

Segundo a Global EV Outlook 2013, o Japão foi em 2012 o país que mais vendeu VE, seguido de perto pelos EUA. Apesar disso, os EUA a partir de 2013 começaram a dominar o mercado mundial de vendas de VEs e VEH. Nos 10 primeiros meses deste último ano mais de 79 mil veículos foram comercializados com essas configurações.

Para uma análise e uma melhor compreensão dos VE mais vendidos nos nove países citados anteriormente, foi montada a Figura 79.

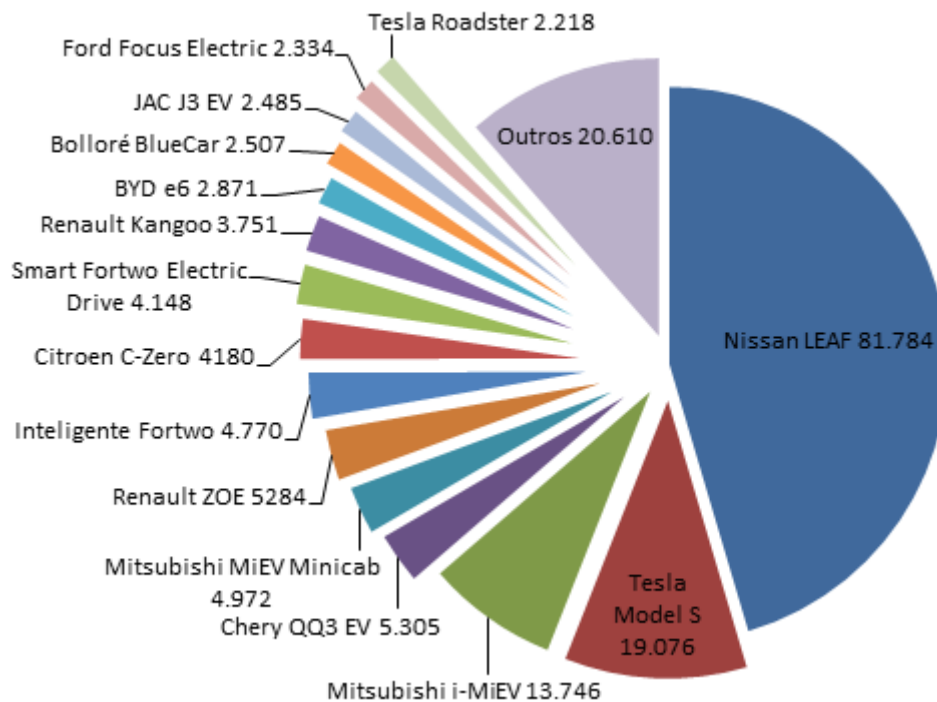


Figura 79 - Veículos Elétricos mais vendidos entre 2010 e Jun. 2013
Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar

Como representado na Figura 79, o Nissan Leaf é disparado o VE de sucesso mais vendido no mundo, com quase 82 mil unidades comercializadas só nesses nove países citados. Esse veículo é resultado de uma aliança entre Renault e Nissan e já vendeu mais de 100 mil unidades ao redor do mundo. Os EUA é o país que mais o comercializou, com 37.5 mil vendas, seguido por Japão, com mais de 30 mil, e a Europa, com 12.7 mil unidades.

4.1.11. Comparação das vendas de Veículos Elétricos Híbridos

A análise das vendas dos VEH mais vendidos desde 2010 se apresenta na Figura 80.

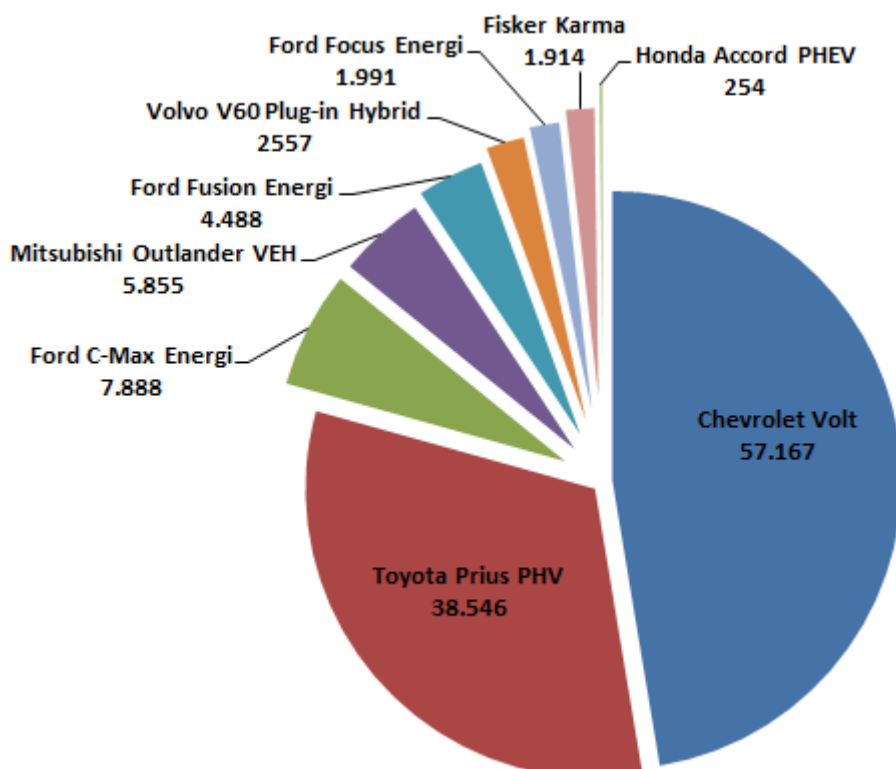


Figura 80 - Veículos Híbridos mais vendidos entre 2010 e Jun. 2013
Nota: Ver detalhes Bibliografia complementar

A Figura 80 indica um domínio nas vendas do Chevrolet Volt com mais de 57 mil veículos comercializados e do Toyota Prius VEH com mais de 38.5 mil, em relação aos demais VEH.

4.2.Veículos Elétricos e o mercado consumidor

O mercado consumidor de VE ainda está amadurecendo, mas com grande expectativa de crescimento. As vendas de VE não param de aumentar, como visto nas figuras referidas anteriormente, as quais demonstram essa evolução. Grande parte desse sucesso se deve aos incentivos, através da isenção de impostos oferecidos pelos governos desses países, tornando os VEs competitivos nas vendas, comparados aos veículos convencionais. Contudo os VEs ainda continuam mais caros.

As figuras anteriores também demonstram que grandes partes das vendas de VEs estão concentradas nos EUA, Japão, China e alguns países da União Europeia (UE), onde a adoção por VEs está em total crescimento, a fim de diminuir as emissões de poluentes e a dependência por combustíveis fósseis.

As regiões onde se encontram EUA, Japão, China e UE, é onde mais possuem fábricas e Universidades que desenvolvem VEs, como mostrado na Figura 81.

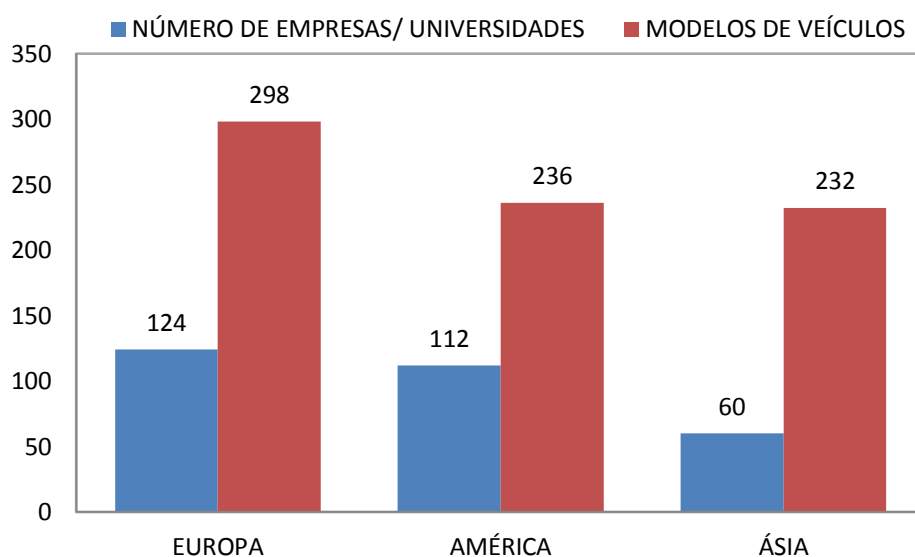


Figura 81 - Dados de VEs nos Continentes

Na Figura 81, nota-se que na Europa é onde mais se encontram empresas e Universidades desenvolvendo VEs, logo é na Europa que mais se encontram diferentes modelos de VEs.

Esses dados foram colhidos de um programa computacional desenvolvido pelo Prof. Dr. Jorge Martins, da Universidade do Minho de Portugal, onde encontram cadastrados 766 veículos elétricos e 296 empresas. Esse programa ajuda a ter uma noção da realidade dos VEs no mundo, bem como a localização de empresas e Universidades que desenvolvem esse tipo de veículo.

Desses continentes citados na Figura 81, os países que mais se destacam são demonstrados na Figura 82.

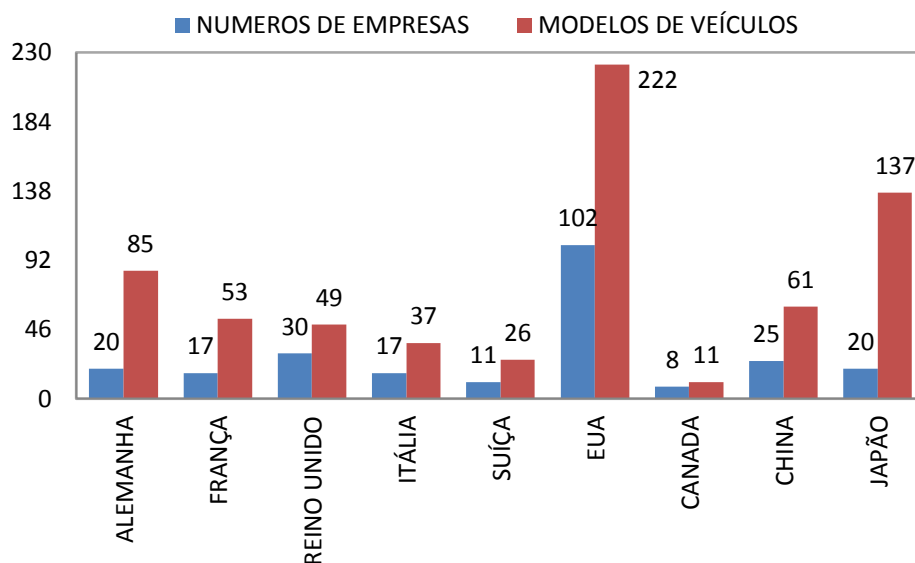


Figura 82 - Número de empresas e modelos de VEs

Conforme apresentado na Figura 82, os EUA é o país que mais possui empresas desenvolvendo veículos elétricos, bem como um maior número de modelos de VEs. Esses números explicam, em parte, o gosto dos norte-americanos pelos VEs.

O número de empresas que mais possuem modelos de VEs é mostrado na Figura 83. Na Figura 83, também pode ser visto o domínio das empresas japonesas, seguidas pelas francesas, alemãs e norte-americanas.

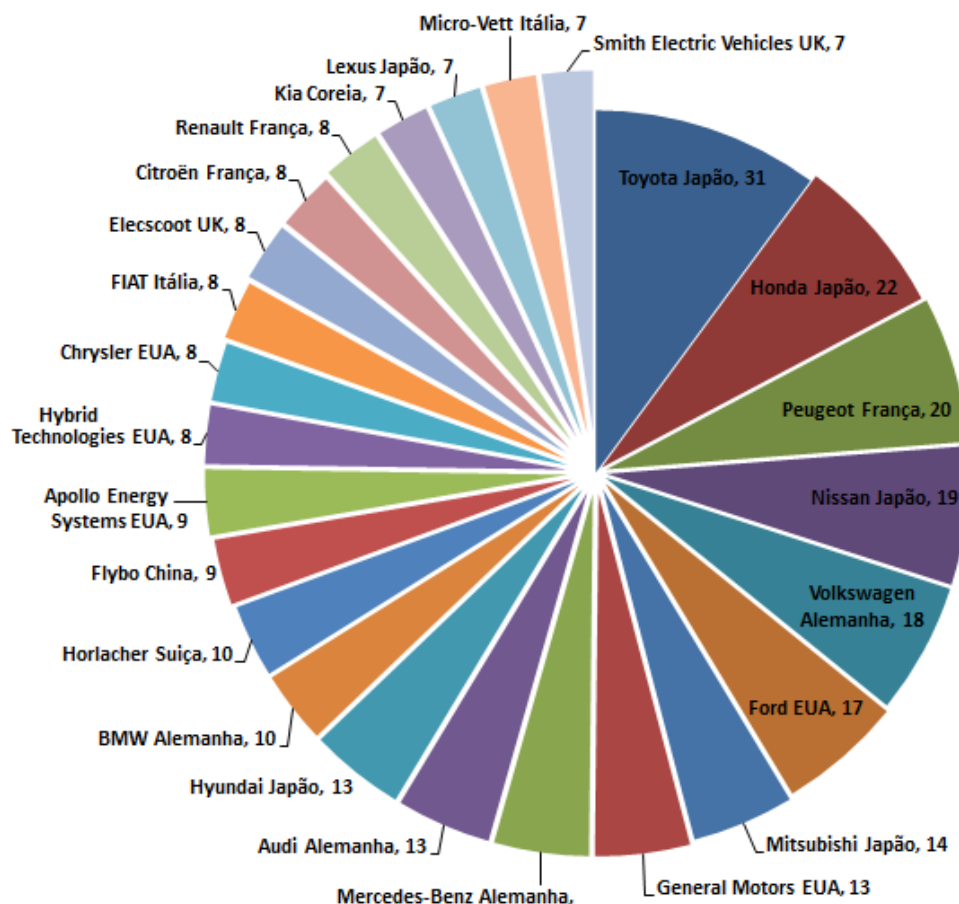


Figura 83 - Empresas que mais possuem modelos de VEs

As vendas de VEs têm crescido muito nos últimos anos. Em decorrência disso, novas empresas têm surgido desenvolvendo VEs. Outro fator que tem contribuindo para esse crescimento são os desenvolvimentos tecnológicos e os processos de fabricação, que geram redução dos preços em seus componentes principais.

No entanto, a redução do custo das baterias ainda é tida como fundamental para o desenvolvimento mais acelerado dos VEs, já que são elas o componente mais caro dos VEs.

4.3. RESUMO CAP. 4

Países norte-americanos, europeus e asiáticos estão em um processo mais avançado quando se trata de VE, visto que nestes países são mais comercializados. São estes, também, os que mais possuem empresas e universidades interessadas em investir nessa tecnologia, juntamente com o apoio dos governos.

O apoio do governo é fundamental para a inserção cada vez maior de VE nas ruas de todo o mundo, bem por isso, países onde já há a comercialização de VE possuem diversos benefícios para seus proprietários. Dentro destes, destacam-se as isenções de impostos, os privilégios de circulação e os estacionamentos exclusivos. Essas vantagens fazem com que a população venha a ter um olhar mais atrativo para esses veículos.

Os investimentos desses países são muito importantes para a indústria, visto que financiam e investem milhões de dólares em desenvolvimentos de tecnologias e infraestrutura para VEs, buscando diminuir o valor final desses veículos e obter uma conscientização da população para que adquiram esses veículos ecologicamente limpos.

Os Estados Unidos tentaram investir no desenvolvimento de baterias de Ion-Lítio, injetando mais de 150 milhões de dólares na empresa A123 que, mais tarde, veio a pedir falência. Entretanto a tecnologia de baterias ainda não se difundiu, ficando esta por conta dos asiáticos.

Mas, no que se refere à venda de VE, o mercado americano está em primeiro lugar, muito porque o Presidente Barack Obama está fazendo grandes investimentos e incentivando o uso desses veículos, com o objetivo de que essa tecnologia se difunda por todo país. A montadora Nissan que monta o Nissan Leaf, está construindo uma fábrica nos EUA, visto que hoje em dia é o seu maior mercado consumidor.

5. ANÁLISE EXPERIMENTAL DE DOIS CONTROLADORES PARA A INSTALAÇÃO EM UM KART ELÉTRICO DE COMPETIÇÃO

Os avanços, nas tecnologias de controle e na eletrônica, resultam em inúmeros recursos que podem ser adaptados para melhorar o desempenho dos veículos elétricos, já que a sua utilização elimina grande parte dos problemas com emissão de poluentes, além de gerar aumento significativo na eficiência dos veículos. (WU, YEH, CHUN, 2013).

Os estudos sobre veículos elétricos que mais se destacam são os que envolvem baterias, motores elétricos e controladores, estudos estes que podem contribuir para tornar os veículos elétricos mais populares, juntamente com o apoio dos governos (BAYINDIR, GOZUKUÇUK, TEKE, 2011).

Um componente indispensável em um veículo elétrico é o controlador, responsável por gerir a energia elétrica (corrente e tensão elétricas) proveniente das baterias, para posteriormente ser destinada ao motor elétrico. Este, por sua vez, transforma a energia elétrica recebida das baterias em energia cinética, fazendo com que o veículo acelere. Quando freado, o veículo faz o inverso, transforma a energia cinética do movimento em energia elétrica, que será destinada, então, a recarregar as baterias (PEREZ et al. 2006; GREF, 1998).

Diante do supracitado, foi proposto uma análise comparativa entre dois controladores cujas construções são diferentes, sendo o controlador AXE 7234 de dois quadrantes e o controlador Kelly PM 72301 de quatro quadrantes, a fim de sugerir qual o dispositivo de melhor desempenho para a instalação em um kart elétrico.

Segundo Darizon Alves de Andrade [20—?]¹², os quadrantes (Figura 84) são divididos em quatro. O primeiro quadrante é o torque e velocidade ambos positivos (+), o que indica operação motora em um sentido de rotação, já o terceiro quadrante é o torque e velocidade ambos negativos (-), indicando operação como motor na direção de rotação inversa. No segundo (+) e no quarto (-) quadrantes, torque e

¹² [20—?] – Século provável

velocidade possuem sinais opostos indicando que a máquina está operando como gerador ou em frenagem regenerativa.

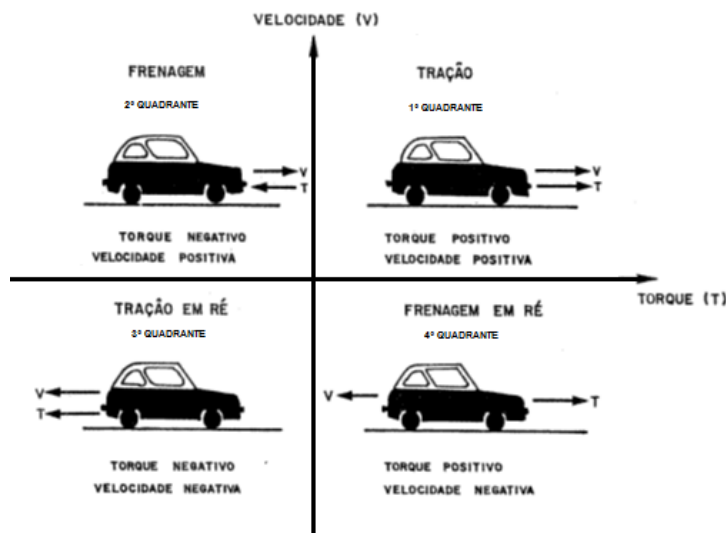


Figura 84 - Quadrantes
Fonte: BARRETO, 1986

5.1. Experimentos controladores

Foram realizados testes de bancada utilizando dois controladores distintos (experimentos realizados no Grupo de Electrónica de Potência e Energia da Universidade do Minho, em Guimarães, Portugal). Os testes foram realizados em triplicata e os resultados analisados quanto ao seu rendimento, potência e rotação dos controladores.

Os experimentos de bancada foram realizados objetivando, como já citado, identificar o controlador mais adequado (maior potência) para ser instalado em um kart elétrico.

Foram utilizados, para a realização dos experimentos, osciloscópio, multímetro, dinamômetro, motor elétrico e um sistema retificador de corrente alternada para corrente contínua (ca/cc) conforme apresenta a Figura 85. Esse sistema substituiu a necessidade de um banco de baterias para realização dos experimentos.



Figura 85 - Retificador ca/cc

Para validar os resultados foi realizado o cálculo da incerteza tipo A, determinada a partir de análise estatística das potências medidas. O cálculo da incerteza do tipo B, avaliada a partir das especificações de incerteza do osciloscópio e do multímetro, informadas pelos fabricantes também foi realizado, no entanto desconsiderado por não apresentar mudanças significativas.

5.1.1. Cálculo de incerteza

Para o cálculo da incerteza tipo A as medições apresentaram 3 valores diversos para cada experimento, no total de 21 testes em cada controlador, o que gerou uma média para cada torque, facilitando assim a construção dos gráficos. Para o cálculo da incerteza tipo B, foi considerada a resolução do osciloscópio e do multímetro, além da precisão informada pelos fabricantes. Foi considerado que os valores fornecidos pelos equipamentos apresentaram uma probabilidade de distribuição uniforme e simétrica dentro do intervalo de incerteza informado pelos fabricantes, sendo o multímetro 0,5 % a incerteza e a resolução 0,001 A. Já o osciloscópio tem incerteza de 0,3 % e a resolução de 0,04 %.

A incerteza combinada expandida considerou que as incertezas tipo A e tipo B são totalmente independentes entre si, e o nível de confiança (probabilidade de abrangência) adotado foi de 95,45 %, o que implicou num fator de abrangência 2.

Com essas premissas para as incertezas, seus cálculos foram realizados conforme recomendações constantes em BIPM (2008).

Incerteza tipo A (Eq. 1) demonstrada abaixo, onde S_x é o desvio padrão experimental da amostra dividido pelo número de amostras $\sqrt{n}$.

$$u_A = S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq. 1}$$

Incerteza tipo B (Eq. 2) demonstrada abaixo através da distribuição quadrada ou retangular.

$$u_{B1} = \frac{a_+ - a_-}{\sqrt{3}} \quad \text{Eq. 2}$$

5.1.2. Retificador de corrente (CA/ CC)

O sistema retificador de corrente alternada para corrente contínua (ca/cc) (Figura 85) converte a tensão da rede elétrica, de 230 V alternada, em 72 V contínuos necessários para alimentar os controladores e o motor elétrico. Este sistema dispõe de reguladores de tensão (autotransformadores) que aumentam ou diminuem (regulam) a tensão alternada de forma a manter constante os 72 V contínuos necessários para a alimentação dos controladores e do motor elétrico. Os transformadores têm a função de transformar a tensão da rede elétrica em um valor de tensão mais baixo, criando um isolamento galvânico da rede elétrica. Já os retificadores empregados servem para retificar a forma de onda e transformar a corrente alternada em contínua, tendo os condensadores como responsáveis por

tornar mais constante, ou seja, diminuir a oscilação da tensão entregue pelos retificadores, que posteriormente controlará o motor elétrico. A Figura 86 apresenta a esquemática do retificador (ca/cc).

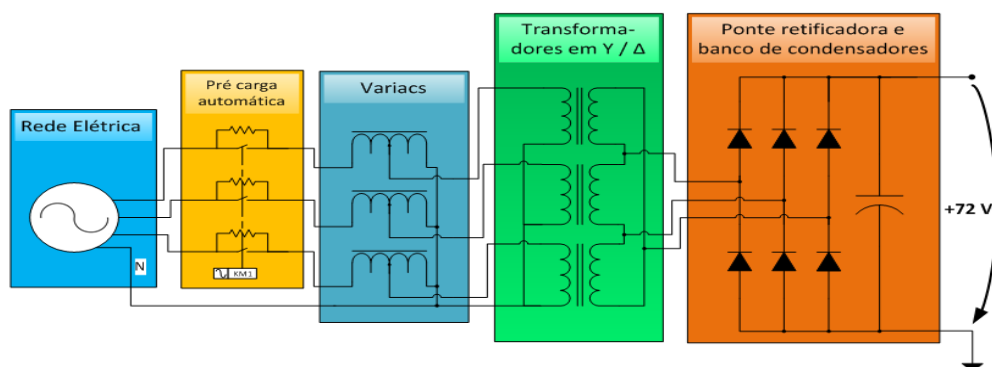


Figura 86 - Esquemática Retificador ca/cc
Fonte: Comunicação pessoal

5.1.3. Motor elétrico Heinzmann

O motor elétrico (Figura 87) escolhido para ser utilizado nos experimentos foi da fabricante alemã Heinzmann por ser um motor de baixo peso (11 kg) com uma potência de 7,22 kW, quando alimentado com 72 V, sendo sua aplicação recomendada para a utilização em karts. O modelo é um PMG 132 arrefecido a ar e com grau de proteção IP 20, como mostrado nas (Tabelas 7 e 8). Este motor é de corrente contínua de ímãs permanentes, com armadura em disco.



Figura 87 - Motor PMG 132

Tabela 7 - Datasheet Motor PMG 132

Voltagem	24 V	36 V	48 V	60 V	72 V
Modo de Operação	S1	S1	S1	S1	S1
Corrente	110 A	110 A	110 A	110 A	110 A
Potência	2,5 Kw	3,5 kW	4,74 kW	5,97 kW	7,22 kW
RPM	1080 min	1700 min	2300 min	2870 min	3480 min

Fonte: manual Heinzmann

Tabela 8 - Datasheet Motor PMG 132

Torque	20 N.m
Inercia	0,025 kgm ²
Indutância	0,019 mH
Resistência	16 mOhm
Proteção	IP 20
Peso	13 kg
Tempo com máxima amperagem	200 A S2 10 min
Torque máximo	38 N.m

Fonte: manual Heinzmann

5.1.4. Controladores

O acionamento do motor elétrico pode ser feito por diversos controladores, contudo foram escolhidos dois que são amplamente utilizados em veículos elétricos convertidos. O baixo preço, a fácil manutenção e a alta confiabilidade, além de realizarem a frenagem regenerativa, foram determinantes para a escolha desses controladores. A comparação entre dois tipos diferentes de construção serve para ter uma noção quanto à resposta que o motor dará para cada sistema de controle, estando os mesmos sem alteração das configurações de fábrica, ou seja, as configurações internas não foram modificadas. Os dois controladores possuem uma interface RS-232, a qual, através de um programa computacional, permite o usuário modificar parâmetros de configuração. Esse programa computacional é fornecido pelos fabricantes em seus sites.

5.1.4.1. Controlador AXE 7234

A Tabela 9 indica o datasheet do controlador AXE (Figura 88). Este pode controlar correntes máximas de até 300 A, com uma corrente constante de 125 A e com tensões entre 24 e 72 V. Sua construção é em 2 quadrantes e, por este motivo, não possui sentido inverso de rotação do motor, girando em apenas um sentido. Permite, contudo, realizar a frenagem regenerativa. Possui interface RS-232, possibilitando ajustar e monitorar vários parâmetros do controlador e do motor em tempo real. Sua temperatura de operação varia de 25 °C a 75 °C, autodesligando a 95 °C.

Tabela 9 - Datasheet controlador AXE Modelo 7234	
Tensão do controlador	24 - 72 V
Limite de corrente	
30 Sec	300 A
5 Min	200 A
1 Hora contínua	125 A
Queda de tensão	
(*)@100Amp	< 0.16 V

Fonte: manual AXE



Figura 88 - Controlador AXE 7234

5.1.4.2. Controlador Kelly PM 72301

Como demonstrado no datasheet (Tabela 10), esse controlador apresenta corrente máxima de 300 A, com corrente contínua nominal de 120 A, podendo funcionar com até 72 volts. Sua construção é em 4 quadrantes, sendo possível realizar o sentido inverso de rotação no motor, ou seja, possibilita ao veículo se locomover em duas direções, além de permitir a frenagem regenerativa em ambas direções. A Figura 89 apresenta o controlador kelly, que possui interface RS-232 podendo ser facilmente conectado ao computador para alterar parâmetros. Sua temperatura de operação varia entre – 30 °C e 90 °C, se autodesligando a 100 °C.

Tabela 10 - Datasheet Kelly PM 72301

Modelo	1 min	Corrente Contínua	Máxima Tensão	Variação de Tensão	Regen.
PM 72301	300 A	120 A	72 V	24 - 72 V	Sim

Fonte: manual Kelly



Figura 89 - Controlador Kelly PM 72301

5.1.5. Resultados e Discussão

O motor elétrico foi acoplado a um dinamômetro (Figura 90) cuja função é de impor torque resistente como carga ao motor. O torque é controlado através de um dispositivo variável localizado na parte superior do equipamento.

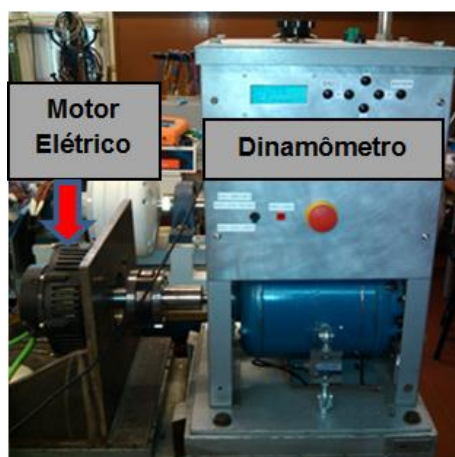


Figura 90 - Motor Elétrico e Dinamômetro

Os experimentos contaram com o auxílio do programa computacional Motor Test Bench (Figura 91), o qual recebia informações em tempo real através de um cabo USB dos dados que eram gerados pelo dinamômetro, auxiliando na realização dos experimentos, pois mostrava também em tempo real o gráfico de potência, rotação e torque, sendo de grande valia para as análises finais dos resultados.

O osciloscópio (Figura 91) auxiliou na obtenção dos valores de tensão dos controladores e do motor elétrico, os quais geraram gráficos simultaneamente para compreensão dos valores no momento da aceleração e na parte de estabilização da velocidade. Este osciloscópio, de oito canais, é constituído por módulos que permitem medir sinais isolados com alta taxa de amostragem (10 MS/s para 10 bits) e com alta resolução (16 kS/s para 16 bits).

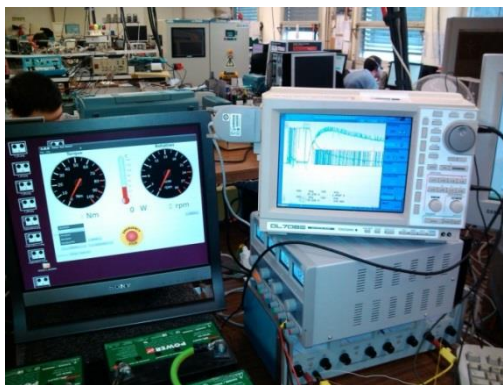


Figura 91 - Motor Test Bench e Osciloscópio

Realizaram-se sete (7) experimentos em triplicata para cada controlador. Os experimentos foram realizados com a tensão de 72 V, tensão máxima dos controladores e do motor.

Os experimentos iniciaram-se com o torque em 0 N.m, sendo aumentado de 5 em 5 N.m até chegar a 30 N.m, a fim de não exceder o limite do sistema retificador de corrente alternada para corrente contínua (ca/cc).

Para os experimentos, em cada estágio de torque de carga, os controladores foram acelerados ao seu máximo resultando inicialmente em um pico elevado de corrente elétrica. Para se obter a velocidade de rotação em cada torque, o controlador permaneceu acelerado ao seu máximo por cerca de 30 segundos, a fim de estabilizar e gerar dados mais precisos como mostrados nas Figuras 92, 93, 94 e 95.

As Figuras 92 e 93 representam as comparações de velocidade e potência dos controladores AXE e Kelly para os diferentes torques. A Figura 94 demonstra a incerteza das potências médias dos controladores. Já a Figura 95 representa a comparação de rendimento entre os controladores.

A máxima rotação atingida, conforme os experimentos realizados, foi pelo controlador AXE de 4155 rpm a 0 N.m. Essa rotação foi superior em 95 rpm ao controlador Kelly, conforme pode ser observado nas Figuras 92 e 93.

Nos torques de 5 e 10 N.m o cálculo da incerteza não deixa dúvidas da superioridade do controlador AXE quanto à potência. No torque de 15 N.m. o intervalo de confiança indica que pode haver similaridade nos resultados.

Entretanto nos torques de 20 e 25 N.m a potência do controlador AXE é superior tanto nos resultados dos experimentos, como nos cálculos de incerteza, comprovando sua maior potência com as configurações de fábrica.

Uma ressalva que deve ser feita é quanto ao torque de 25 N.m. que apenas o controlador AXE conseguiu vencer essa carga imposta, tendo uma potência ligeiramente superior a esta. O controlador Kelly não superou esse torque.

O torque de 30 N.m. apresentou resultados semelhantes, comprovados pelos cálculos de incerteza. Foram considerados iguais para tal valor.

A Figura 95 apresenta a comparação do rendimento dos controladores AXE e Kelly. Com essa comparação e a análise de incerteza, fica comprovado que o melhor rendimento em altos torques é o do controlador AXE. O Kelly demonstrou melhor rendimento em baixos torques.

Os cálculos de rendimento dos controladores foram realizados a partir dos valores de potência média instantânea do motor elétrico dividida pela potência média instantânea da bateria, resultando nos valores da Figura 95. As potências foram calculadas pela tensão média (motor e bateria) adquiridas através do osciloscópio, vezes a corrente média (motor e bateria) adquirida com o auxílio do multímetro.

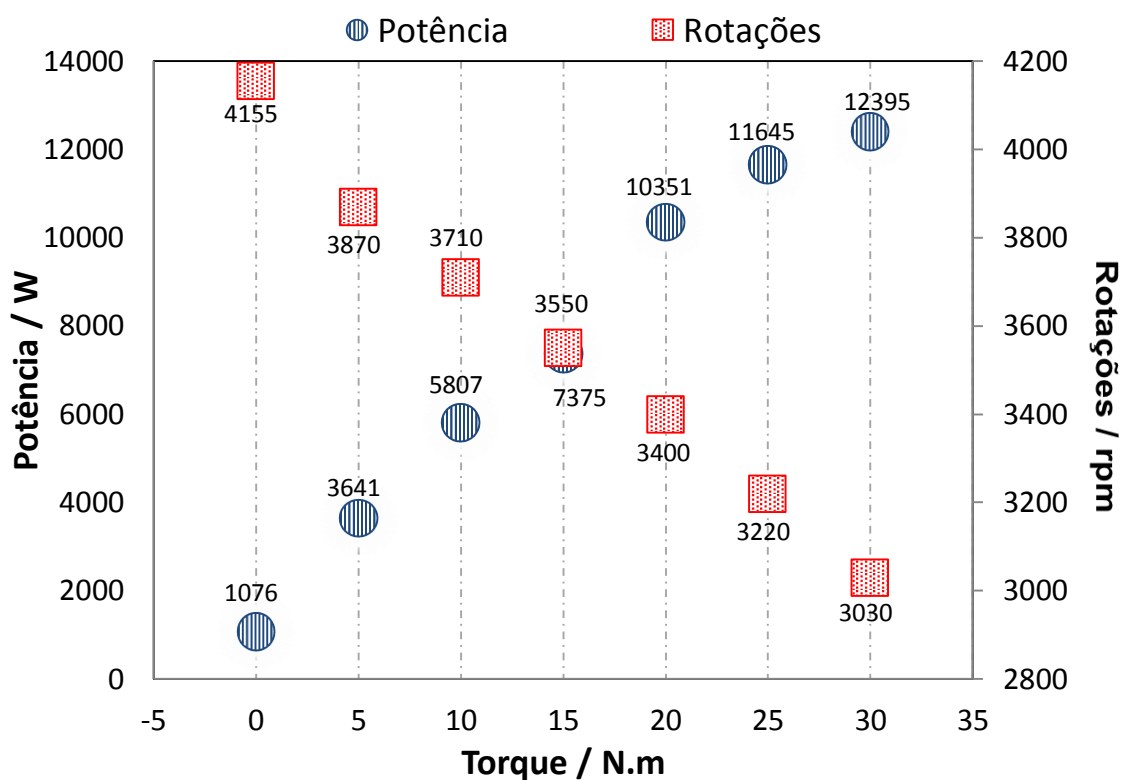


Figura 92 - Potência x Rotação x Torque (controlador AXE)

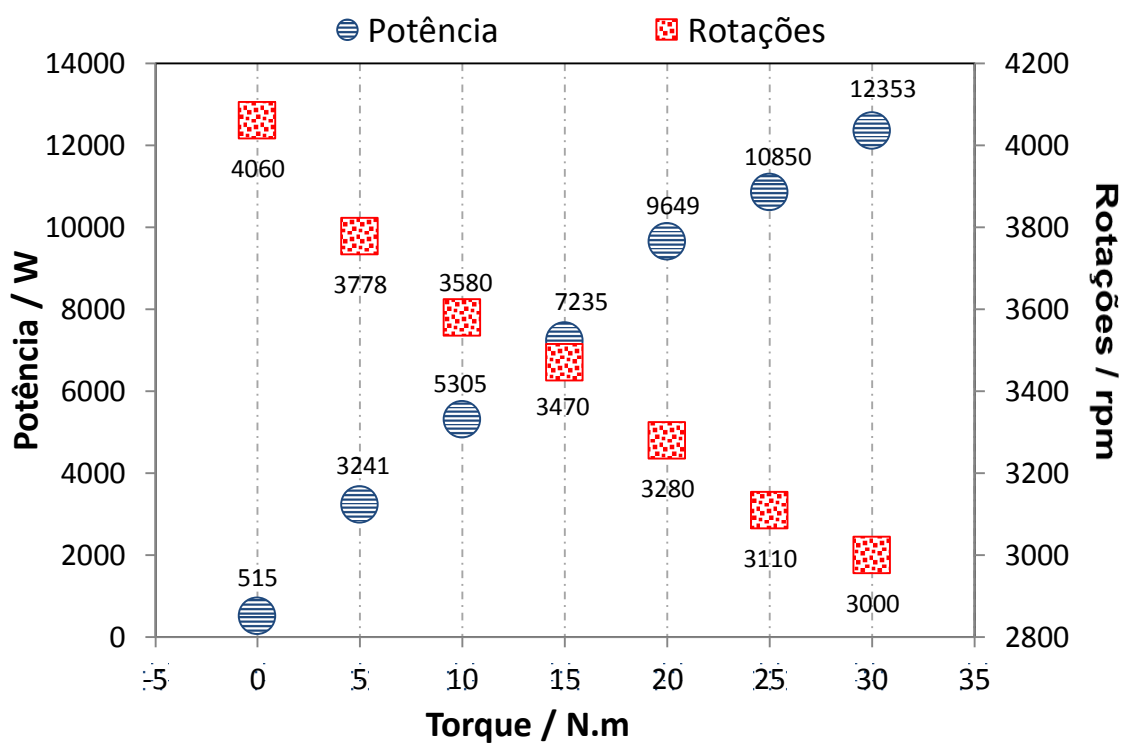


Figura 93 - Potência x Rotação controlador x Torque (controlador Kelly)

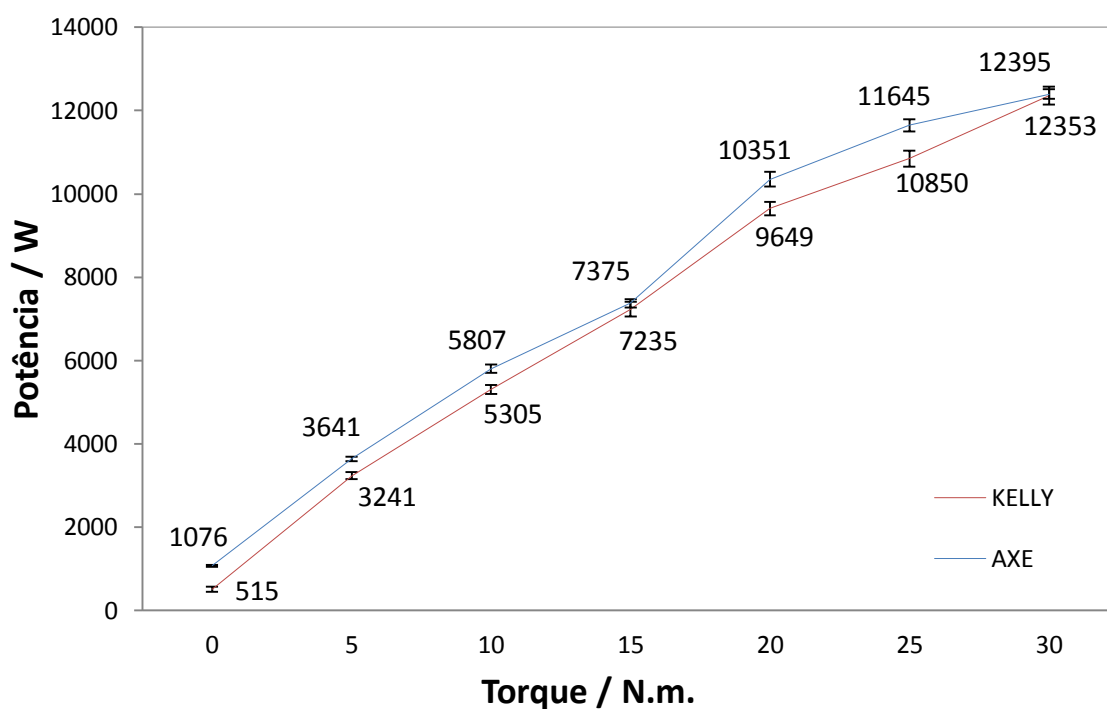


Figura 94 - Potências controladores

A Tabela 11 mostra os resultados das incertezas demonstradas na Figura 94.

Tabela 11 - Incerteza das Potências

Controlador	Torque/ (N.m.)	Pot_Bat_"média instantânea"/ (W)	Incerteza padrão/ (W)	Incerteza expandida/ (W)
AXE	0	1076	12,5	25
	5	3641	28,5	57
	10	5807	46,5	93
	15	7375	49,1	98
	20	10351	88,8	178
	25	11645	75,7	151
	30	12395	55,4	111
KELLY	0	515	29,5	59
	5	3241	45,1	90
	10	5305	55,2	110
	15	7235	86,3	173
	20	9649	82,3	165
	25	10850	97,2	194
	30	12353	106,9	214

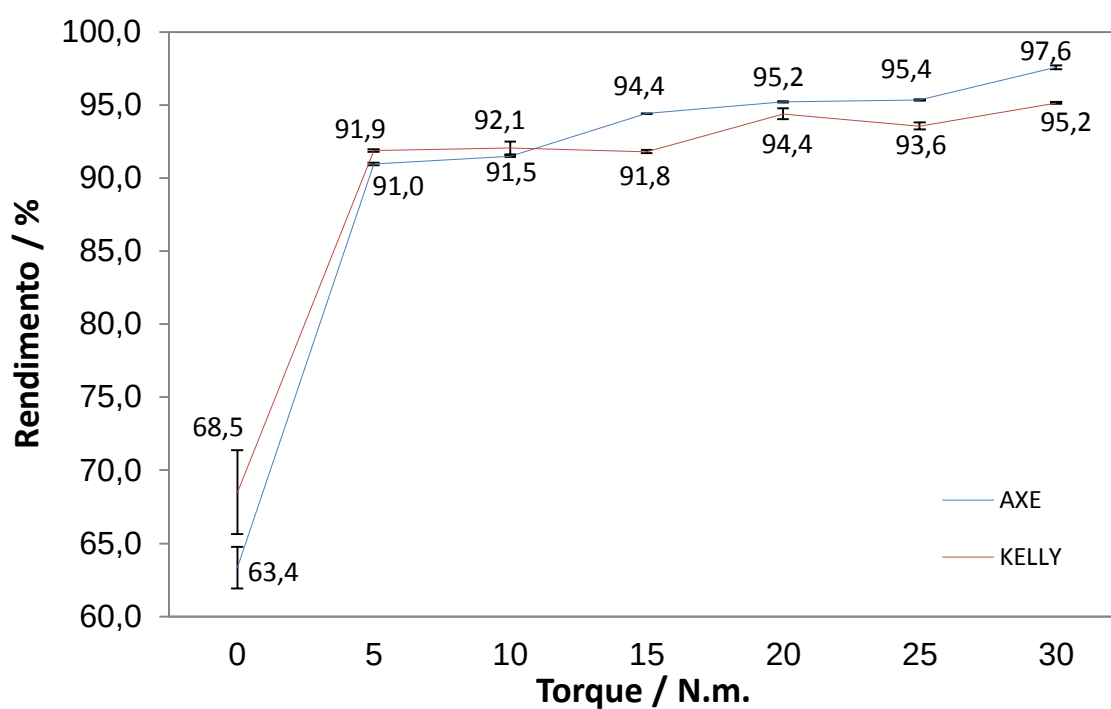


Figura 95 – Rendimentos
Fonte: Elaboração Autor

A Tabela 12 demonstra os valores dos resultados para a incerteza (Figura 95).

Controlador	Torque/ (N.m.)	Rendimento "média instantânea"/ (%)	Incerteza padrão/ (W)	Incerteza expandida/ (W)
AXE	0	63,4	0,715	1,430
	5	91,0	0,039	0,077
	10	91,5	0,034	0,068
	15	94,4	0,019	0,037
	20	95,2	0,021	0,041
	25	95,4	0,018	0,035
	30	97,6	0,065	0,130
KELLY	0	68,5	1,430	2,860
	5	91,9	0,050	0,100
	10	92,1	0,220	0,440
	15	91,8	0,055	0,110
	20	94,4	0,185	0,370
	25	93,6	0,120	0,240
	30	95,2	0,039	0,077

5.2. Conclusão Controladores

Este experimento buscou avaliar e comparar dois sistemas de controle, de forma a simular situações que exigissem o máximo desses controladores. Os resultados obtidos próximos os reais, serviram de base para a escolha do melhor controlador.

A visão geral dos experimentos realizados com os dois sistemas de controle, AXE 7234 e Kelly PM 72301 para a instalação em um kart elétrico, demonstrou que o controlador AXE obteve melhor desempenho, isso se deve ao fato de o controlador apresentar maior potência em 5 dos 7 torques testados. O rendimento final do controlador AXE também se apresentou maior do que o controlador Kelly.

Por fim verificou, através das análises dos cálculos de incerteza, que há diferença entre os controladores avaliados. Sendo assim o controlador mais recomendado para a instalação no kart elétrico é o controlador AXE.

O resultado das análises de incerteza demonstrou uma pequena diferença entre as potências, sendo essas em relação a potência final atingida pelos controladores. No entanto essas incertezas calculadas são adequadas para fins de comparação, e para a determinação do melhor controlador com relação às configurações internas de fábrica.

Uma ressalva deve ser feita quanto à distinção dos valores: uma pequena superioridade do controlador AXE, que pode ter ocorrido devido às configurações internas decorrentes de fábrica. Para a realização destes experimentos (a fim de ter uma análise comparativa de fábrica) não foram modificadas essas configurações.

6. CONCLUSÃO

O Brasil é tido como um país ecologicamente correto na produção de energia elétrica, visto que a grande parte dessa energia é produzida por hidrelétricas. Tem a capacidade de instalação de diversas fontes renováveis para a geração de energia limpa, pois sua enorme diversidade climática, torna favoráveis instalações eólicas e solares, entre outras.

No entanto, o consumo cada vez maior de combustíveis fósseis preocupa a sociedade mundial, porque a queima destes gera enorme poluição, que ocasiona, anualmente, milhares de mortes em todo o mundo.

Dessa forma, medidas capazes de solucionar esse problema estão ganhando força. Muitas destas relacionadas ao desenvolvimento de VEs, os quais não geram poluição durante sua circulação. Por outro lado, os grandes desafios para a implantação de VEs em larga escala são: custo técnico e diminuição do valor agregado aos sistemas destes veículos, como sistemas de controle, motores elétricos e, principalmente, das baterias, cuja evolução tem tido progresso. No entanto, a necessidade de estenderem a vida útil das baterias, aumentar a autonomia e diminuir os desgastes são os principais empecilhos que contribuem para que não haja uma evolução mais acelerada desses veículos. Fator este determinante no futuro dos VEs.

Levando em consideração esses aspectos, o presente estudo apresentou diversas pesquisas relacionadas com VEs.

A nacionalização da tecnologia de VEs hoje em dia não é viável economicamente com a finalidade de atrair um grande número de compradores. O valor de compra desses veículos no Brasil ainda é extremamente alto. Esse fato ocorre devido à grande carga tributária que o país emprega a esses veículos importados, por outro lado, o valor de comercialização destes pode ter uma queda acentuada, nos próximos anos, se houver isenção de impostos específicos para VEs.

Mesmo com medidas capazes de solucionar impasses como os preços exorbitantes cobrados pelos impostos, outros aspectos podem contribuir para acelerar a implantação de VEs no país. Parcerias entre o governo e as empresas internacionais

para desenvolverem seus produtos no país é um dos aspectos. Financiamentos capazes de investir em pequenos empresários é outra ideia, visto que tornaria mais acessível a aquisição de VEs por parte dos brasileiros, uma vez que os preços teriam uma queda acentuada no valor final por serem desenvolvidos nacionalmente. Os investimentos em pesquisas para o desenvolvimento de tecnologia nacional também é tida como importante nesse processo de nacionalização dos VEs.

Países onde há incentivo para a comercialização de VEs estão em um processo mais avançado de inserção desta tecnologia, visto que os valores são concorrentes aos veículos convencionais. Esta comercialização, entretanto, não se deu em números mais elevados devido à baixa autonomia dos VEs. Mesmo com algumas limitações, os EUA já dominam o mercado mundial de VEs, seguido pelo Japão. Este desenvolve o VE mais vendido do mundo, o Nissan Leaf, com mais de 100 mil exemplares circulando pelo mundo.

Pensando em uma análise de situações, foi proposta, também nessa dissertação, a estimativa de crescimento da frota veicular convencional com suas emissões para o Brasil, que foram assustadoramente crescendo ano a ano, chegando a 2020 com um aumento de 66 % nas emissões, comparada a 2013.

Em outro cenário analisado, estimou-se uma frota veicular totalmente elétrica e o impacto que causaria ao país, assumindo valores reais de consumo de energia para chegar a demanda anual necessária, a fim de recarregar esses veículos. O consumo de 2013 foi estimado em 116,7 TWh/ ano para recarregar 44.722.193 veículos, o de 2020 com 193,6 TWh/ ano necessários para abastecer uma frota de 74.196.315 veículos (números não considerando a curva de sucateamento de veículos).

Por fim foram testados dois sistemas de controle, de forma a simular situações que exigissem o máximo desses controladores, permitindo assim obter dados próximos dos reais, para a escolha do melhor controlador a ser instalado em um kart elétrico de competição. Através das análises, notou-se que há diferença entre os controladores avaliados, validadas pelos cálculos de incerteza. Com isso, o controlador mais recomendado para a instalação no kart elétrico de competição é o controlador AXE.

6.1. TRABALHOS FUTUROS

Analisar a perspectiva de crescimento de VEs com a implantação de fábricas no país.

Estudar as possíveis modificações de desempenho dos controladores ao alterar as configurações de fábrica.

Estudo prático da instalação dos controladores no Kart elétrico de competição.

Estudo estratégico e econômico para a implantação de estações de carregamento rápido para VEs nas grandes cidades brasileiras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A123 Systems. (s.d.). *Nanophosphate EXT™ Lithium Ion*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em <<http://www.a123systems.com/lithium-starter-battery.htm>>
- ABVE. (s.d.). *O que é veículo elétrico a bateria?* Acesso em 15 de Nov. de 2012, disponível em ABVE: <<http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0002>>
- ABVE, Associação Brasileira do Veículo Elétrico. *Utilização de carro elétrico cresce lentamente no Brasil*. 18 Fev. 2013. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/destaques/2013/destaque13004.asp>> Acesso em: 6 Fev. 2014.
- AGRALE. (11 de Jun. de 2012). *Agrale Marruá Elétrico é Destaque da Itaipu Binacional na Rio+20*. Acesso em 18 de Dez. de 2012, disponível em Agrale: <<http://www.agrale.com.br/pt/imprensa/noticias/detalhes/240/agrale-marrua-eletrico-e-destaque-da-itaipu-binacional-na-rio20#.UmAe8VCkr4Q>>
- AKAI, M. (25 de Jul. de 2012). *Baterias de Níquel-Metal-Hidreto Toyota Prius*. Acesso em 2 de Set. de 2013, disponível em Response JP: <<http://pt.responsejp.com/article/img/2012/07/25/178439/367954.html>>
- ALLTRAX, I. (Jan. de 2009). Manual técnico controlador AXE 7234. p. 22.
- AMARAL, E. G. (Out. 1998) *Veículo Elétrico com Sistema Energético Híbrido: Célula de Combustível/ Bateria Eletroquímicas*. UNICAMP, Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Campinas, SP, Brasil.
- ANDRADE, D. A. (2006). *Introdução a sistemas de acionamento estático*. Universidade Federal de Uberlândia, Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Uberlândia.
- ANEEL. (10 de Dez. de 2013). *Banco de Informações de Geração, Capacidade de Geração do Brasil*. Acesso em 10 de Dez. de 2013, disponível em Agência Nacional de Energia Elétrica: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>
- ANEEL. (30 de Nov. de 2013). *Conheça as Tarifas da Classe de Consumo Residencial de uma Concessionária*. Acesso em 13 de Jan. de 2014, disponível em <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>>
- ANP. (Set. de 2013). *Dados estatísticos mensais*. Acesso em 7 de Dez. de 2013, disponível em Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: <<http://www.anp.gov.br/?pg=64555&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1387047310941>>
- ANP; MME. (2013). *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*.

- ASHTIANI, C; WRIGHT, R; HUNT, G. (Mar. de 2006). Ultracapacitors for automotive applications. *Journal of Power Sources*, v. 156, pp. 561-566.
- BAKKER, D. (Ago. de 2010). Battery Electric Vehicles: Performance, CO2 emissions, lifecycle costs and advanced battery technology development. Utrecht, Holanda: University of Utrecht.
- BARAN, R. (Set. de 2012). *A introdução de veículos elétricos no brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Doutorado em Planejamento Energético, Rio de Janeiro.
- BARRETO, G. (Nov. de 1986). *Veículo elétrico a bateria: contribuições a análise de seu desempenho e seu projeto*. Universidade Estadual de Campinas, Mestrado em Ciências, Campinas.
- BAYINDIR, KAMIL ÇAĞATAY ; GÖZÜKÜÇÜK, MEHMET ALI ; TEKE, AHMET. (Fev. de 2011). A comprehensive overview of hybrid electric vehicle: Powertrain configurations, powertrain control techniques and electronic control units. *Energy Conversion and Management*, v. 52, pp. 1305 - 1313.
- BBC. (s.d.). *Baterias Seladas (VRLA)*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em Beca Tech: <<http://www.bbc.com.br/batselmsie.htm>>
- BIPM et al. JCGM (2008) “*Evaluation of measurement data—Guide to the expression of uncertainty in measurement*”. . [S.l.]: Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1).
- BRASIL, V. D. (s.d.). *Veículo Elétrico 100 % Nacional*. Acesso em 18 de Out. de 2013, disponível em Vez do Brasil: <<http://www.vezdobrasil.com.br/>>
- BRUCE, C. (14 de Mar. de 2013). *Volkswagen E-UP*. Acesso em 22 de Mar. de 2013, disponível em Revista eletrônica Autoviva: <http://autoviva.sapo.pt/news/volkswagen_e_up_vai_ser_apresentado_em_fr_ankfurt/8863>
- BUENO, A. G. (Mai. de 2004). *A tração elétrica como alternativa para o transporte urbano*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Porto Alegre.
- CAR, S. (s.d.). *Ford Comuta 1967*. Acesso em 12 de Dez. de 2012, disponível em Car Styling: <http://www.carstyling.ru/en/car/1967_ford_comuta/images/>
- CARDOSO, A. O. (10 de Mai. de 2010). Seminário – Fontes Renováveis de Energia na Aviação. *Apresentação Projeto VE ITAIPU/KWO, Ações e Resultados*. São José dos Campos, SP, Brasil.
- CARSUGH, C.; LARANJEIRA, C. (1981). Sem fumaça, sem ruído: assim anda o ITAIPU. *Quatro Rodas*(nº 251), p. 64 - 66.
- CARVALHO, I. (21 de Set de 2012). *Brasileiro aceita carro elétrico*. Acesso em 22 de Out. de 2013, disponível em Quatro Rodas: <<http://quatrorodas.abril.com.br/reportagens/geral/brasileiro-aceita-carro-eletrico-702661.shtml>>

- CAVALIERE, L. G. (24 de Set. de 2009). Apresentação Projeto Veículo Elétrico, Palio Weekend Elétrico. São Paulo, SP, Brasil.
- CGEE. (s.d.). *Nova ferramenta que usa tecnologias digitais e de informação para otimizar e automatizar energia elétrica é tema de estudo do CGEE*. Acesso em 27 de Jan. de 2014, disponível em: <http://www.cgee.org.br/noticias/viewBoletim.php?in_news=815&boletim=36>
- CHAN, C. C. (Abr. de 2007). The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles. *IEEE*, v. 95, pp. 704-718.
- CHEN, P.-C. (Mar. de 2012). Configuration of solar-hydrogen mild hybrid fuel cell power systems for electric vehicles. *Journal of Power Sources*, v. 201, pp. 243 - 253.
- CLARKE, P.; T., MUNEER; K, CULLINANE. (Mai. de 2010). Cutting vehicle emissions with regenerative braking. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, v.15, pp. 160-167.
- CNN, M. (7 de Abr. de 2009). *GM's long road back to electric cars*. Acesso em 12 de Dez. de 2012, disponível em Cable News Network: <http://money.cnn.com/galleries/2008/autos/0809/gallery.gm_electric_cars/4.html>
- COUTINHO, L. G; CASTRO B. H. R. DE; FERREIRA T. T. (2010). Veículo Elétrico, políticas públicas e o BNDES: Oportunidades e desafios. Em J. P. VELLOSO, *Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil* (Vol. XXII Fórum Nacional, pp. 30 - 49). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DAY, C.; BARAKAT, J. P. (2012). *Conheça as doenças causadas pela poluição do ar*. Acesso em 19 de Jul. de 2013, disponível em eHow: <http://www.ehow.com.br/conheca-doencas-causadas-pela-poluicao-sobre_3934/>
- DELIBERATO, A. (6 de Set. de 2013). *Renault: "Carro elétrico nós já temos, falta o governo querer"*. Acesso em 16 de Dez. de 2013, disponível em Carros: <<http://carros.uol.com.br/noticias/redacao/2013/09/06/nos-ja-oferecemos-eletricos-resta-o-governo-nos-ajudar-diz-renault.htm>>
- DENATRAN. (Set de 2013). *Frota Nacional* . Acesso em 7 de Dez de 2013, disponível em Departamento Nacional de Trânsito: <<http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>>
- DIAS, G. F. GEE VEÍCULOS [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <jefersoonufba@bol.com.br> em 2 Dez. 2013.
- DIAS, J.A. S; et al. (2007). Desenvolvimento de um kit para conversão de veículos com motor a combustão em elétricos. *5º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos*.
- DRESCH, J. A. (31 de Jan. de 2014). Conheça o carro elétrico made in RS. (V. Kannenberg, Entrevistador) Zero Hora.

- DUFOUR, J. (25 de Nov. de 2009). *Baterias de Fluxo Redox: Uma alternativa de carga rápida*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em madrimasd: <<http://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2009/11/25/129223>>
- DUSTMANN, H. (Mar. de 1998). ZEBRA battery meets USABC goals. *Journal of Power Sources*, v.72, pp. 27-31.
- ELECTRA, S. (s.d.). *Baterias AGM*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em Electra: <<http://www.electraservice.com.br/noticias.asp>>
- Eletrônica, S. (30 de Ago. de 2013). *Baterias Redox: Carga em minutos pela Troca do Eletrólito*. Acesso em 1 de Out. de 2013, disponível em Saber Eletrônica: <<http://www.sabereletronica.com.br/artigos-2/2348-baterias-redox-carga-em-minutos-pela-troca-do-eletrito?showall=&start=1>>
- ENERGIAS, R. (18 de Mai. de 2013). *Aproveitamento da energia dos oceanos*. Acesso em 13 de Dez. de 2013, disponível em Energias Renováveis: <http://www.energiasrenovaveis.com/images/upload/flash/anima_como_funciona/ondas13.swf>
- ENERGY, U. D. (2013). *All-Electric Vehicles (EVs)*. Acesso em 18 de Out. de 2013, disponível em Fuel Economy: <<http://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>>
- EPE; MME. (2013). *Balanço Energético Nacional*.
- ERBER, P. (2010). Automóveis Elétricos a Bateria, uma Política para sua utilização no Brasil. Em J. P. VELLOSO, *Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil* (Vol. XXII Fórum Nacional, pp. 87 - 111). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- FOGAÇA, J. (s.d.). *Tipos de pilhas e baterias primárias mais comuns*. Acesso em 7 de Jun. de 2013, disponível em Brasil escola: <<http://www.brasilecola.com/quimica/tipos-pilhas-baterias-primarias-mais-comuns.htm>>
- FRANCO, C. (18 de Jun de 2013). *Renault-Nissan e Rio oficializam acordo para fábrica de elétrico*. Acesso em 6 de Fev. de 2014, disponível em Automotive Business: <<http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/17261/renault-nissan-e-rio-oficializam-acordo-para-fabrica-de-eletrico>>
- FRASER, J. (30 de Out. de 2006). *The Energy Revolution has begun and will change your lifestyle: Altairnano Tests Confirm Extended Battery Cell Life*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em The Energy: <http://thefraserdomain.typepad.com/energy/2006/10/altairnano_test.html>
- FURLAN, R. (2013). *Elétrico iMiEV*. Acesso em 22 de Mar. de 2013, disponível em Quatro Rodas: <<http://quatrorodas.abril.com.br/salao-do-automovel/2012/carros/imiev-708880.shtml>>
- GARCIA, A. (12 de Dez. de 2012). *Linha elétrica da BMW completa 40 anos*. Acesso em 22 de Mar. de 2013, disponível em INFO: <<http://info.abril.com.br/noticias/bitnocarro/linha-eletrica-da-bmw-completa-40-anos.shtml>>

- GASS, V.; SCHMIDT, J.; SCHMID, E. (Jan. de 2014). Analysis of alternative policy instruments to promote electric vehicles in Austria. *Renewable Energy*, v.61, pp. 96-101.
- GIRALDI, R; RODRIGUES, J. C. . (26 de Set. de 2011). *Poluição do ar mata pelo menos 2 milhões de pessoas por ano no mundo, diz OMS*. Acesso em 13 de Dez. de 2013, disponível em Agência Brasil.: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2011-09-26/poluicao-do-ar-mata-pelo-menos-2-milhoes-de-pessoas-por-ano-no-mundo-diz-oms>>
- GIRISHKUMAR, G. e. (Jul. de 2010). Lithium-Air Battery: Promise and Challenges. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, v.1, pp. 2193-2203.
- GLOBAL EV OUTLOOK. (2013). *Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*.
- GLOBO, N. (11 de Ago. de 2013). *Altos impostos impedem aumento da demanda de carros elétricos no Brasil*. Acesso em 19 de Out. de 2013, disponível em Globo: <<http://g1.globo.com/globo-news/noticia/2013/04/altos-impostos-impedem-aumento-da-demanda-de-carros-eletricos-no-brasil.html>>
- GLOBO, S. P. (24 de Set. de 2013). *Estudo aponta que poluição mata mais que o trânsito em São Paulo*. Acesso em 19 de Out. de 2013, disponível em Globo: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/2013/09/estudo-aponta-que-poluicao-mata-mais-que-o-transito-em-sao-paulo.html>>
- GRC, N. (16 de Jan. de 2006). *NASA Lithium Ion Polymer Battery*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em NASA: <<http://www.grc.nasa.gov/WWW/Electrochemistry/doc/pers.html>>
- HEINZMANN. (s.d.). Manual técnico motor elétrico Heinzmann PMG 132. p. 2.
- HONDA. (s.d.). *Honda Insight. 2013*. Acesso em 5 de Set. de 2013, disponível em Auto mobiles Honda: <<http://automobiles.honda.com/insight-hybrid/exterior-photos.aspx>>
- HONDA, W. (s.d.). *Honda own originally developed ultra-capacitor - higher output, higher efficiency and increased storage capacity*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em HONDA: <<http://world.honda.com/FuelCell/FCX/ultracapacitor/>>
- IVECO. (s.d.). *O primeiro veículo elétrico de carga da America Latina*. Acesso em 18 de Dez. de 2012, disponível em Iveco: <http://www.iveco.com/brasil/produtos/pages/eletrico_carac_bene.aspx>
- JÚNIOR, A. R. (Abr. de 2002). *Regulação da demanda de energia em um sistema de propulsão para um veículo elétrico híbrido série*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestrado em Engenharia Elétrica, Natal.
- KELLY, C. (Dez. de 2012). Manual técnico controlador Kelly PM 72301. p. 16.
- KLAYMAN, B. (6 de Ago. de 2013). *GM corta preço do carro elétrico em US\$ 5 mil*. Acesso em 5 de Set. de 2013, disponível em REUTERS: <<http://br.reuters.com/article/businessNews/idBRSPE97503V20130806>>

- KONCHINSKI, V; CRISTINA, L. (16 de Set. de 2010). *Cresce preocupação de paulistanos com a poluição*. Acesso em 13 de Dez. de 2013, disponível em Agência Brasil: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2010-09-16/cresce-preocupacao-de-paulistanos-com-poluicao>>
- LARMINIE, J.; LOWRY J. (2003). *Electric Vehicle Technology Explained*. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- LAUMBACH, R. J.; KIPEN, H. M. (Jan. de 2012). Respiratory health effects of air pollution: Update on biomass smoke and traffic pollution. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*, v. 129, pp. p. 3 - 11.
- LEGEY, L. F. L; BARAN, R. (2010) Veículos Elétricos: história e perspectivas no Brasil. BNDES Setorial, v. 33. p. 207 - 224. Brasil
- LOVEDAY, E. (Mar. de 2013). *Father of GM EV1 Discusses Future of Electric Vehicles*. Acesso em 23 de Mai. de 2013, disponível em Inside EVs: <<http://insideevs.com/father-of-gm-ev1-discusses-future-of-electric-vehicles-says-he-wont-retire-until/>>
- LÚCIA, A., & ISABELA, M. (16 de Out. de 2013). *Observatório de Negociações Internacionais da América Latina*. Acesso em 6 de Fev. de 2014, disponível em Wordpress: <<http://onial.wordpress.com/2013/10/16/amsia-motors-negocia-fabrica-de-carros-eletricos-e-hibridos-em-sergipe/>>
- MANAVELLA, H. (10 de Mar. de 2011). *Sistemas automotivos híbridos*. Acesso em 26 de Nov. de 2012, disponível em Oficina Brasil: <<http://oficinabrasil.com.br/index.php/reportagens-tecnicas/1446-sistemas-automotivos-hibridos>>
- MARTINS, J. et al. (2013). Real-Life Comparison Between Diesel And Electric Car Energy Consumption. Em C. A. SILVA, *Grid Electrified Vehicles: Performance, Design and Environmental Impacts*. Portugal.
- MENCHEN, D. (2010). Governo culpa carro e moto por poluição. Em J. P. VELLOSO, *Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil* (Vol. XXII Fórum Nacional, pp. 117 - 118). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- MMA. (10 de Dez. de 2013). *Energia Eólica*. Acesso em 10 de Dez. de 2013, disponível em Ministério do Meio Ambiente: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-eolica>>
- MOBILIZE. (23 de Set. de 2013). *Poluição dos carros mata 2 milhões de pessoas por ano*. Acesso em 13 de Dez. de 2013, disponível em Mobilize: <<http://www.mobilize.org.br/noticias/4989/poluicao-dos-carros-mata-2-milhoes-de-pessoas-por-ano.html>>
- MODERN, R. (2004). *Toyota Prius 1997*. Acesso em 13 de Dez. de 2012, disponível em Modern Racer: <<http://www.modernracer.com/memfeatures/history/ofthehybrid/toyotaprius20001.jpg>>

- MOREIRA, J. R. et al. (Ago. de 2009). A contribuição do Veículo Elétrico Híbrido para a melhoria da qualidade do ar nas regiões metropolitanas. IV Congresso Internacional de Bioenergia, Curitiba, PR, Brasil.
- NARAYAN, U. (20 de Dez. de 2011). *10 Cars way ahead of their time*. Acesso em 2012 de Dez. de 2012, disponível em Auto Motto: <<http://www.automotto.com/entry/10-cars-time/>>
- NATURE, E. (25 de Nov. de 2010). *Eletroquímica, Baterias Recarregáveis*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em Nature: <<http://naturepiaget.blogspot.com.br/2010/11/eletroquimica.html>>
- NOCE, T. (2009). *Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e contribuições ao seu aperfeiçoamento*. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte.
- NOVAIS, C. R. (2011). 1º Congresso Paranaense de Veículos Elétricos. *Visão Técnica e Econômica, Histórico do Projeto VE Itaipu/ KWO*. Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- OGURA, M. (Jan. de 1997). Development of electric vehicles. *JSAE Review*, v.18, pp. 51-56.
- OMS – Organização Mundial da Saúde, 30 Abr. 2007, *Genebra*. Acesso em: 10 Dez. 2013. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2007/np20/en/>>.
- PACHECO, C; RODRIGUES, R. (23 de Ago. de 2013). *Sete em cada dez carros andam com só um ocupante em Salvador*. Acesso em 10 de Out. de 2013, disponível em Correio: <<http://www.correio24horas.com.br/detalhe/noticia/sete-em-cada-dez-carros-andam-com-so-um-ocupante-em-salvador/>>
- PANARO, R. (3 de Out. de 2012). *Smart ED*. Acesso em 22 de Mar. de 2013, disponível em Motor dream: <<http://motordream.uol.com.br/noticias/ver/2012/10/03/smart-ed-sera-o-carro-eletrico-mais-barato-dos-estados-nidos>>
- PAVARIN, G. (Mar. de 2009). *Amigável, novo Toyota Prius terá painel solar armazenador de energia*. Acesso em 26 de Nov. de 2012, disponível em INFO : <<http://info.abril.com.br/noticias/blogs/bitnocarro/acessorios/amiga-vel-novo-toyota-prius-tera-painel-solar-armazenador-de-energia/>>
- PEARRE, N. S; et al. (Dez. de 2011). Electric vehicles: How much range is required for a day's driving. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v.19, pp. 1171-1184.
- PEREIRA, F.; BARI, M. (Abr. de 2007). *Clássicos, grandes brasileiros*. Acesso em 20 de Dez. de 2012, disponível em Quatro Rodas: <http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/conteudo_229224.shtml>
- PEREZ, L. V.; et al. (Out. de 2006). Supervisory control of an HEV using an inventory control approach. *Latin American Applied Research*, v.36, pp. 93-100.
- PETROBRAS. (19 de Jan. de 2010). *1ª térmica do mundo a operar com etanol*. Acesso em 10 de Dez de 2013, disponível em PETROBRAS: <<http://www.petrobras.com.br/pt/noticias/primeira-termica-do-mundo-a-operar-com-etanol/>>

- PETROBRAS. Usina Termelétrica de Juiz de Fora [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <jefersoonufba@bol.com.br> em 8 Jan. 2014.
- PINTO, R. (22 de Jan. de 2010). *Bateria de ácido-chumbo*. Acesso em 2 de Mar. de 2013, disponível em Wiki Energia: <http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Bateria_de_ácido-chumbo>
- PINTO, R. (18 de Mar. de 2010). *Bateria de Gel*. Acesso em 2013 de Mar. de 2013, disponível em Wiki Energia: <http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Bateria_de_gel>
- PUPPO, E. L. D. (Ago. 2007). *Acionamento Microcontrolador de um motor cc com frenagem regenerativa*. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, Brasil.
- QUEIROZ, J. de F. (2006) *Introdução do veículo híbrido no Brasil: Evolução tecnológica aliada à quantidade de vida*. Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, SP, Brasil.
- REUTERS. (6 de Ago. de 2013). *GM corta preço do carro híbrido Chevrolet Volt em US\$ 5 mil*. Acesso em 5 de Set. de 2013, disponível em Globo Auto Esporte: <<http://g1.globo.com/carros/noticia/2013/08/gm-corta-preco-do-carro-eletrico-chevrolet-volt-em-us-5-mil.html>>
- ROCCO, A.M. (2010). Carros Elétricos e as baterias de Íon lítio: Estado atual de desenvolvimento e perspectivas tecnológicas. Em J. P. VELLOSO, *Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil* (Vol. XXII Fórum Nacional, pp. 192 - 213). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SANTOS, E. (12 de Mai. de 2011). *Mini-ônibus Elétrico Granmini*. Acesso em 18 de Dez. de 2012, disponível em Ônibus Brasil: <<http://onibusbrasil.com/foto/414451/>>
- SILVA, R. Esquemática Retificador ca/cc [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <jefersoonufba@bol.com.br> em 7 Ago. 2013.
- SINDIPEÇAS; ABIPEÇAS. Relatório da Frota Circulante de 2014, Idade média da frota circulante brasileira. Fev. 2014.
- SONG, M.-K; et al. (22 de Nov. de 2011). Nanostructured electrodes for lithium-ion and lithium-air batteries: the latest developments, challenges, and perspectives. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, v.72, pp. 203-252.
- STOCKER, T; et al. (2013). *Working Group I contribution to the IPCC fifth assessment report climate change 2013: the physical science basis*. Genebra, Suíça.
- TORRESI, R.M. (2010). Projeto de carro elétrico, à base de baterias de íon-lítio. Uma fonte de energia eficiente e renovável para veículos elétricos. Em J. P. VELLOSO, *Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil* (Vol. XXII Fórum Nacional, pp. 148 - 164). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- TREE, C. C. (2013). *Veículo Elétrico Tree, o Carro Elétrico feito por Brasileiros*. Acesso em 18 de Out. de 2013, disponível em Tree City Car: <<http://treecitycar.com>>

- TRIGUEIRO, A. (18 de Fev. de 2013). *Utilização de carros elétricos cresce lentamente no Brasil*. Acesso em 6 de Fev. de 2014, disponível em ABVE: <<http://www.abve.org.br/destaques/2013/destaque13004.asp>>
- U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2014). *EV everywhere Grand Challenge*.
- UEDA, K; et al. (2011). Interdependent decision-making among stakeholders in electric vehicle development. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v.60, pp. 441-444.
- VELLOSO, J. P. dos R. (2010). Introdução: Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil. Em J. P. VELLOSO, *Estratégia de Implantação do Carro Elétrico no Brasil* (Vol. XXII Fórum Nacional, pp. 7 - 12). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- VORMITTAG, E. da M. P. A. de A., et al. (2013). *Avaliação do impacto da poluição atmosférica no Estado de São Paulo sob a visão da saúde*.
- WAVETEK, M. (s.d.). Manual técnico multímetro 37XR. p. 2.
- WEG, A. (2006). Veículo Elétrico WEG.
- WEG, M. e. (Set. de 2012). Guia de especificação. (11).
- WENJUN, Z. C. (6 de Jul. de 2010). *China quer industrializar carros movidos a novas fontes energéticas*. Acesso em 27 de Fev. de 2014, disponível em CRI: <<http://portuguese.cri.cn/661/2010/07/06/1s124121.htm>>
- WINNISCHOFER, G. (2004). *Modelamento de veículo híbrido-elétrico para transporte coletivo*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Mestrado em Engenharia, São Paulo.
- WITTMANN, D. Análise Crítica da Integração em Larga Escala de Veículos Elétricos no Brasil. 4 th International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo, Brazil, Mai. 2013.
- WORLD, H. O. (s.d.). *Indoor air pollution takes heavy toll on health*. Acesso em 10 de Dez. de 2013, disponível em World Health Organization: <<http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2007/np20/en/>>
- WU, F.-K.; YEH, T.-J.; HUANG, C.-F. (Fev. de 2013). Motor control and torque coordination of an electric vehicle actuated by two in-wheel motors. *Mechatronics*, v.23, pp. 46-60.
- YANG, L.-f.; Xu, J.-h.; NEUHAUSLER, P. (Dez. de 2013). Electric vehicle technology in China: An exploratory patent analysis. *World Patent Information*, v.35, pp. 305-312.
- YOKOGAWA. (s.d.). Manual técnico osciloscópio DL708E. p. 9.
- ZHANG, Ji-G; et al. (Jul. de 2010). Ambient operation of Li/Air batteries. *Journal of Power Sources*, v.195, pp. 4332-4337.

ZHANG, Q. et al. (Nov. de 2013). A methodology for economic and environmental analysis of electric vehicles with different operational conditions. *Energy*, v.61, pp. 118-127.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

1 JAPÃO

¹ My Nissan Leaf. Worldwide Plugin Sales Numbers. 30 Ago. 2012. Disponível em: <<http://www.mynissanleaf.com/viewtopic.php?f=4&t=9863&p=224125>>. Acesso em: 8 Jul. 2013

² Bioage Typepad. Cumulative global sales of TMC hybrid models. 31 Mar. 2013. Disponível em: <<http://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef017c38b02ad2970b-opup>>. Acesso em: 8 Jul. 2013

³ Jie, M. Nissan Leaf corta preço no Japão para impulsionar venda maior no mercado. 16 Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.bloomberg.com/news/2013-01-17/nissan-cuts-leaf-price-in-japan-to-boost-sales-in-biggest-market.html>>. Acesso em: 8 Jul. 2013

⁴ Japan Automobile Manufacturers Association – JAMA. Fact sheet japanese government incentives for the purchase of environmentally friendly vehicles. Disponível em: <<http://jama.org/pdf/FactSheet10-2009-09-24.pdf>>. Acesso em: 8 Jul. 2013

2 ESTADOS UNIDOS DA AMERICA

¹ VOELCKER, J. Plug-In Electric Co. carro triplo em 2012, como compradores, Modelos Aumentar. 3 Jan. 2013. Disponível em: <http://www.greencarreports.com/news/1081419_plug-in-electric-car-sales-triple-in-2013-as-buyers-models-increase>. Acesso em: 10 Jul. 2013

² Inside EVs. Jul. 2013. Disponível em: <<http://insideevs.com/wp-content/uploads/2013/08/Monthly-Plug-In-Sales-July-2013-v8.png>>. Acesso em: 5 Ago. 2013

³ COLE, J. Inside EVs. Plug-In Electric Vehicle Sales Report Card. Jul 2013. Disponível em: <<http://insideevs.com/july-2013-plug-in-electric-vehicle-sales-report-card/>>. Acesso em: 5 Ago. 2013

⁴ Green Car Congress. Chevy Volt continua a liderar o plug-in de vendas nos EUA em julho. 3 Ago. 2012. Disponível em: <<http://www.greencarcongress.com/2012/08/volt-20120803.html>>. Acesso em: 5 Ago. 2013

⁵ Zhou, Y. U.S. Department of Energy. Light Duty Electric Drive Vehicles Monthly Sales Updates. Set. 2013. Disponível em: <http://www.transportation.anl.gov/technology_analysis/edrive_vehicle_monthly_sales.html>. Acesso em: 15 Out. 2013

⁶ CAIN, T. Mitsubishi i MiEV Sales Figures. 1 Jan. 2011, At. Out. 2013. Disponível em: <<http://www.goodcarbadcar.net/2011/01/mitsubishi-i-miev-sales-figures.html>>. Acesso em: 15 Out. 2013

⁷ Carty, S. S. Usa today. Obama pushes electric cars, battery power this week. 13 Jul. 2010. Disponível em: <<http://content.usatoday.com/communities/driveon/post/2010/07/obama-pushes-electric-cars-battery-power-this-week-/1#.UmfFtPmkr4S>>. Acesso em 10 Jul. 2013

⁸ *Internal Revenue Service* – IRS. New Qualified Plug-in Electric Drive Motor Vehicle Credit. 30 Nov. 2009. Disponível em: <http://www.irs.gov/irb/2009-48_IRB/ar09.html>. Acesso em: 10 Jul. 2013

3 CHINA

¹ China Auto Web. Chinese EV Sales Ranking for 2012. 25 Mar. 2013. Disponível em: <<http://chinaautoweb.com/2013/03/chinese-ev-sales-ranking-for-2012/>>. Acesso em: 20 Jul. 2013

² China Auto Web. China EV Sales Are Expected to Top 10,000 in 2012. 18 Dez. 2012. Disponível em: <<http://chinaautoweb.com/2012/12/china-ev-sales-are-expected-to-top-10000-in-2012/>>. Acesso em: 20 Jul. 2013

³ PONTES, J. Tracking down plug-in car sales all over the world, China All Time Top 5. 13 Jun. 2013. Disponível em: <<http://ev-sales.blogspot.com.br/2013/06/china-all-time-top-5.html>>. Acesso em: 20 Jul. 2013

4 FRANÇA

¹ Automobile. Chiffres de vente & immatriculations de voitures électriques en France. Set. 2013. Disponível em: <<http://www.automobile-propre.com/dossiers/voitures-electriques/chiffres-vente-immatriculations-france/>>. Acesso em 15 Out. 2013

² France mobilité électrique. Immatriculations vp et vul France à fin Oct. 2012 Vehicules Electriques. Disponível em: <http://www.france-mobilite-electrique.org/IMG/pdf/12_FRANCE.pdf>. Acesso em: 15 Out. 2013

³ ASCHARD, J. Comité des Constructeurs Français d'Automobiles. 7 Dez. 2012. Disponível em: <<http://www.france-mobilite-electrique.org/novembre-2012,4064.html?lang=fr>>. Acesso em: 15 Out. 2013

⁴ ASCHARD, J. BILAN DES IMMATRICULATIONS POUR L'ANNÉE 2012. 7 Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.france-mobilite-electrique.org/bilan-des-immatriculations-pour-l-annee-2012,4147.html?lang=fr>>. Acesso em: 15 Out. 2013

⁵ NUSSBAUMER, Y. França: bônus de consumo para carros elétricos e híbridos. 10 Ago. 2012. Disponível em: <<http://www.cleancarjournal.com/france-consumer-bonuses-for-electric-and-hybrid-cars/>>. Acesso em: 15 Out. 2013

⁶ AVERE France, Association Nationale pour le developpement de la mobilite electrique. Le marché français du véhicule hybride et électrique confirme sa progression en mai 2013, la renault zoé toujours en tête des ventes Paris 6 Jun. 2013.

⁷ AVERE France, Association Nationale pour le developpement de la mobilite electrique. Le marché français des véhicules électriques double. Paris 8 Abri. 2013.

5 NORUEGA

¹ BEKKER, H. Revista electronica Best selling cars. 2013 (Half Year) Norway: Best-Selling Electric Cars. 4 Jul. 2013. Disponível em: <<http://www.best-selling-cars.com/electric/2013-half-year-norway-best-selling-electric-cars/>>. Acesso em 23 Ago. 2013.

² Hannisdahl, O. H. Hordaland pa salgstoppen for elbil i juni. 2 Jul. 2013. Disponível em: <<http://www.gronnbil.no/nyheter/hordaland-paa-salgstoppen-for-elbil-i-juni-article341-239.html>>. Acesso em 23 Ago. 2013

³ KVISLE, H. H. Elbilsuksessen fortsetter. 5 Abr. 2013. Disponível em: <<http://www.elbil.no/elbiler/958-elbilsuksessen-fortsetter>>. Acesso em 23 Ago. 2013

⁴ BEKKER, H. 2012 (Full Year) Norway: Best-Selling Electric Car Models. 12 Mar. 2013. Disponível em: <<http://www.best-selling-cars.com/electric/2012-full-year-norway-best-selling-electric-car-models/>>. Acesso em 23 Ago. 2013.

⁵ BEKKER, H. 2013 (Q1) Norway: Best-Selling Electric Vehicles. 12 Abr. 2013. Disponível em: <<http://www.best-selling-cars.com/electric/2013-q1-norway-best-selling-electric-vehicles/>>. Acesso em 23 Ago. 2013

⁶ AVERE. Norwegian Parliament extends electric car initiatives until 2018. 3 Set. 2012. Disponível em: <<http://www.ave.org/www/newsMgr.php?action=view&frmNewsId=611§ion=&type=&SGLSESSID=tqiice0pmjdclt7l4q0s3s1o27>>. Acesso em: 23 Ago. 2013

⁷ Hannisdahl, O. H. Eventyrlig elbil salg I 2011. 9 Jan. 2012. Disponível em: <<http://www.gronnbil.no/nyheter/eventyrlig-elbilsalg-i-2011-article218-239.html>>. Acesso em 23 Ago. 2013

6 ALEMANHA

¹ BEKKER, H. 2011 Full Year Best-Selling Electric Cars in Germany in 2011. 12 Jan. 2012. Disponível em: <<http://www.best-selling-cars.com/germany/2011-full-year-best-selling-electric-cars-in-germany-in-2011/>>. Acesso em 23 Ago. 2013

² BEKKER, H. 2012 (Full Year) Germany: Best-Selling Electric Car Models. 12 Jan. 2012. Disponível em: <<http://www.best-selling-cars.com/germany/2012-full-year-germany-best-selling-electric-car-models/>>. Acesso em 23 Ago. 2013

³ KBA, Manufacturers. Germany Full Year 2012: Now available with model splits. 17 Jun. 2013. Disponível em: <<http://bestsellingcarsblog.com/2013/06/17/germany-full-year-2012-now-available-with-model-splits/>>. Acesso em 23 Ago. 2013

⁴ PONTES, J. KBA, Manufacturers. Tracking down plug-in car sales all over the world, Germany May 2013. 21 Jun. 2013. Disponível em: <<http://www.ev-sales.blogspot.ca/2013/06/germany-may-2013.html>>. Acesso em: 23 Ago. 2013

⁵ KRAFTFAHRT- BUNDESAMT. Neuzulassungen von Personenkraftwagen im Mai 2013 nach Marken und Modellreihen. Mai. 2013.

7 REINO UNIDO

¹ GASNIER, M. UK Full Year 2012: Now with Top 350 All-models ranking. 1 Fev. 2013. Disponível em: <<http://bestsellingcarsblog.com/2013/02/01/uk-full-year-2012-now-with-top-350-all-models-ranking/>>. Acesso em: 15 Jun. 2013

² Society of Motor Manufacturers and Traders – SMMT. 19 Out. 2011 – EV and AFV registrations. 6 Jan. 2012. Disponível em: <<http://www.smmt.co.uk/category/news-registration-evs-afvs/>>. Acesso em: 1 Nov. 2013

³ HUDSON, P. Jornal eletrônico The Telegraph. £5,000 grant to buy plug-in electric cars. 28 Fev. 2010. Disponível em: <<http://www.telegraph.co.uk/motoring/green-motoring/7316351/5000-grant-to-buy-plug-in-electric-cars.html>>. Acesso em: 15 Jun. 2013

⁴ JHA, A. Jornal eletrônico The Guardian. London mayor – 100,000 electric cars for capital. 8 Abr. 2009. Disponível em: <<http://www.theguardian.com/environment/2009/apr/08/electric-cars-boris-johnson-london>>. Acesso em: 15 Jun. 2013

8 HOLANDA

¹ Agentschap NL, Ministerie van Economische Zaken. Cijfers elektrisch vervoer. 30 Ago. 2013. Disponível em: <<http://www.agentschapnl.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-en-milieu-innovaties/elektrisch-rijden/stand-van-zaken-0>>. Acesso em: 2 Out. 2013

² ANWB. Best verkochte elektrische auto's 2012. 18 Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.anwb.nl/auto/nieuws/2013/januari/opel-ampera-verkooptopper-2012>>. Acesso em: 2 Out. 2013

³ BOVAG. Mobiliteit in Cijfers. Auto's 2010/ 2011.

9 CANADA

¹ PONTES, J. Tracking down plug-in car sales all over the world, Canada June 2013. 7 Jul. 2013. Disponível em: <<http://www.ev-sales.blogspot.ca/2013/07/canada-june-2013.html>>. Acesso em: 5 Set. 2013

² PONTES, J. Tracking down plug-in car sales all over the world, Canada Full Year 2012. 6 Jan. 2013. Disponível em: <<http://www.ev-sales.blogspot.ca/2013/01/canada-full-year-2012.html>>. Acesso em: 5 Set. 2013

³ CAIN, T. Chevrolet Volt Sales Figures. 1 Jan. 2011. Disponível em: <<http://www.goodcarbadcar.net/2011/01/chevrolet-volt-sales-figures.html>>. Acesso em: 15 Out. 2013

⁴ Ministry of Transportation. Ontario Paves The Way For Electric Vehicles. 18 Jun. 2010. Disponível em: <<http://news.ontario.ca/mto/en/2010/06/ontario-paves-the-way-for-electric-vehicles.html>>. Acesso em: 15 Out. 2013