

## RESUMO

Com a votação pelo conselho federal alemão da proibição dos motores de combustão interna a partir de 2030, a utilização de veículos elétricos toma novo peso na matriz de fabricação das montadoras assim como nos fabricantes de autopeças pelo elevado número de componentes que serão substituídos nestes veículos. O objetivo de tal determinação envolve a redução da emissão de dióxido de carbono por combustíveis limpos. Neste contexto a disponibilidade de energia nas condições de quantidade e qualidade adequadas, a custos competitivos, tem-se constituído em um dos mais importantes pré-requisitos para o desenvolvimento econômico das nações. Como a própria eletricidade advém de outras fontes de energia, o estudo da simples substituição do combustível, não garante que as metas de redução de poluentes possam ser atingidas nas quantidades estabelecidas. Em vista disso, o tipo de energia deve ser analisado de maneira global e estratégica.

**Palavras-chave:** Energia. Motor. Potencial. Fontes. Impactos ambientais.

## ABSTRACT

With the vote by the German Federal Council by the prohibition of internal combustion engines from 2030, the use of electric vehicles takes new weight in the manufacturing array of manufacturers as well as changes in the auto parts manufacturers by the high number of components to be replaced in these vehicles. The purpose of this determination involves the reduction of carbon dioxide emissions for cleaner fuels. In this context the availability of energy in adequate quantity and quality conditions, at competitive costs, has made one of the most important prerequisites for the economic development of nations. As the own electricity comes from other energy sources, the study of simple replacement of fuel does not guarantee that pollutant reduction targets can be achieved these quantities. In view of this, the type of energy should be analyzed in a comprehensive and strategic manner.

**Key words:** Energy. Motor. Sources. Environmental impacts.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

TEP	Toneladas Equivalentes de Petróleo
IEA	International Energy Agency
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ICEV	Veículo De Motor De Combustão Interna
FC	Célula de Combustível
MCI	Motores À Combustão Interna
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
HC	Gases Hidrocarbonetos
NO <sub>x</sub>	Óxidos De Nitrogênio
MCI	Motores De Combustão Interna
VHE	Veículos Híbridos Elétricos
VHEP	Veículos Híbridos Elétricos Plug-In
VEB	Veículos Elétricos A Bateria
M.I.T	Massachusetts Institute of Technology
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Balanço energético nacional 2016   ano base 2015.....	10
Gráfico 2: Oferta interna de energia elétrica por fonte .....	12
Gráfico 3: Comparativo de armazenamento de Energia Específica (wh/kg).....	12
Gráfico 4: Comparativo de curva de potência de um motor elétrico x combustão interna.....	21
Gráfico 5: Ciclo de descarga típico de bateria (Nível de Carga x Distância Percorrida) .....	22
Gráfico 6: Emissão de Dióxido de Carbono por tipo de veículo e localização (g/km).....	25

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cadeia de valor dos veículos elétricos.....	14
Figura 2: Mapa de consumo esquemático de um motor de combustão interna.....	16
Figura 3: Consumo energético médio de um veículo leve a gasolina.....	19
Figura 4: Fluxogramas de quatro configurações de automóveis.....	20

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geração de energia por fonte térmica. Brasil 2007.....	24
--	----

## SUMÁRIO

### Sumário

	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
	<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....</b>	<b>3</b>
	<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS .</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, SETOR DE TRANSPORTES TERRESTRES DE PASSAGEIROS .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: UMA PROSPECTIVA.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>ABASTECIMENTO E ACUMULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. ....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>TRANSFORMAÇÕES NO MERCADO GLOBAL DE BATERIAS AUTOMOTIVAS.....</b>	<b>13</b>
<b>8</b>	<b>VEÍCULO ELÉTRICO DE BATERIAS.....</b>	<b>14</b>
<b>9</b>	<b>VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO .....</b>	<b>14</b>
<b>10</b>	<b>VEÍCULO ELÉTRICO DE CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL .....</b>	<b>15</b>
<b>11</b>	<b>MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA.....</b>	<b>15</b>
<b>12</b>	<b>EFICIÊNCIA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA .....</b>	<b>16</b>
<b>13</b>	<b>DESEMPENHO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>14</b>	<b>OS VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS (VEH) .....</b>	<b>19</b>
<b>15</b>	<b>OS VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS PLUG-IN (VHEP).....</b>	<b>21</b>
<b>16</b>	<b>IMPACTOS DA INSERÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO NO BRASIL.....</b>	<b>23</b>
<b>17</b>	<b>IMPACTO DA FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.....</b>	<b>25</b>
<b>18</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>25</b>
<b>19</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>26</b>
<b>20</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>30</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O setor da economia que mais consome petróleo em todo o mundo, é o de transportes. Responsável em 2009 por 61,7% do consumo de petróleo e 23% das emissões de CO<sub>2</sub> (IEA, 2011) no mundo. Este setor foi também o maior responsável pelo crescimento do consumo de petróleo nas últimas décadas.

Nos países em desenvolvimento, a energia consumida no setor de transportes tem apresentado forte tendência de crescimento nos últimos anos, e a expectativa é de que esta tendência se repita caso não ocorram mudanças radicais no padrão de consumo de energia (WBCSD, 2004).

Além da Alemanha, outros países ou cidades, também adotaram mudanças em suas normas de controle da poluição, como por exemplo a cidade de Paris, onde os veículos fabricados antes de 1997 serão proibidos de circular na cidade nos dias úteis e faz parte de uma série de medidas anunciadas pela prefeitura para reduzir o índice de poluição na capital francesa. Segundo as informações do jornal Le Monde, as motocicletas licenciadas antes de 1999 também não poderão circular, sendo que a restrição não valerá nas ruas parisienses aos finais de semana. A intensão das autoridades francesas é que, a partir de 2020, a proibição atingirá veículos licenciados antes de 2010.

Estocolmo (Suécia) foi a pioneira no estabelecimento de uma zona de tráfego limitada em 1996. Desde agosto de 2007, depois de um referendo com sua população, todas as entradas e as saídas da área de tráfego limitado estão equipadas com pontos de controle automáticos que funcionam com um sistema de reconhecimento do número da placa. Todos os veículos que entram ou saem da área de pagamento, com poucas exceções, têm que pagar entre 1 e 2 euros (3 a 6 reais) sobre o horário de acesso, entre 6h30 e 18h29. O pagamento máximo diário por veículo é de 6 euros (18,45 reais). O pagamento pode ser efetuado de vários modos, mas rigorosamente dentro de 14 dias, e não é possível pagar nos pontos de controle. É o Imposto de congestionamento de Estocolmo (Ou Trängselskatt i Stockholm, em sueco), um sistema de pedágios urbanos que busca reduzir o congestionamento do trânsito e diminuir a poluição ambiental (atmosférica e acústica) no centro da cidade. Os fundos arrecadados são utilizados para a construção de novas vias. (EL PAÍS 22 SET 2014).

## 2 DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Segundo Barreto (1986), em 1837, na Inglaterra, foi construída a primeira carruagem elétrica. Portanto, quase 40 anos antes do primeiro automóvel a motor de combustão interna (ICEV), o Patentmotorwagen, de Karl Benz, em 1886. De acordo com Hoyer (2008), a história dos carros elétricos está intimamente relacionada com a história das baterias. Em 1859, o belga Gaston Planté realizou a demonstração da primeira bateria utilizando chumbo e ácido. Este equipamento veio a ser utilizado por diversos veículos elétricos que foram desenvolvidos a partir do início da década de 1880 na França, E.U.A. e Reino Unido.

Em 1885, Benz demonstrou o primeiro motor a combustão interna, mas foi a partir dos anos 1890 que a indústria automobilística começou a se desenvolver mais rapidamente (e inicialmente mais rápido na Europa do que nos E.U.A.). Na virada do século, o automóvel mais popular nos E.U.A. era o “Locomobile”, movido a vapor. Naquela época, o mercado norte americano se dividia principalmente entre os elétricos e os a vapor. Em 1899, foram vendidos 1.575 automóveis elétricos, 1.681 a vapor e 936 a gasolina (Cowan e Hultén, 1996).

Em 1901, Thomas Edison, interessado no potencial dos veículos elétricos, desenvolveu a bateria níquel-ferro, com capacidade de armazenamento 40% maior que a bateria de chumbo, mas com custo de produção muito mais elevado. As baterias níquel-zinco e zinco-ar foram também criadas no final do século XIX. A falta de capacidade de armazenamento das baterias já era considerada o ponto fraco do automóvel elétrico.

Duas tecnologias desenvolvidas naquela época, além das baterias, ajudaram a melhorar a performance dos carros elétricos: a frenagem regenerativa, que consiste em transformar a energia cinética do automóvel em energia elétrica durante a frenagem e o sistema híbrido a gasolina e eletricidade.

De acordo com Hoyer (2008), há registro da produção, já em 1903, de um automóvel que apresentava as características de um híbrido em série: equipado com um pequeno motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico e uma bateria, alimentava dois pequenos motores elétricos acoplados junto às rodas dianteiras. Outro modelo, produzido entre 1901 e 1906, podia ser caracterizado como um híbrido em paralelo: o motor de combustão interna era utilizado tanto para fornecer tração quanto para carregar uma bateria e o motor elétrico fornecia potência extra ao motor a combustão, ou funcionava sozinho quando

o veículo enfrentava trânsito lento. O objetivo dos primeiros automóveis híbridos era o de compensar a baixa eficiência das baterias utilizadas nos veículos puramente elétricos e a precária estrutura de distribuição de energia elétrica das cidades no início do século XX.

Entre 1899 e 1909, nos E.U.A., enquanto as vendas de automóveis a gasolina cresceram mais de 120 vezes, as de elétricos somente dobraram (Cowan e Hultén, 1996).

O declínio dos carros elétricos a partir de então se deveu principalmente aos seguintes fatores (EIA DOE, 2009):

i) Nos anos 1920, as rodovias dos E.U.A. já interconectavam diversas cidades, o que demandava veículos capazes de percorrer longas distâncias;

ii) As descobertas de petróleo no Texas permitiram a redução do preço da gasolina;

iii) Em 1912, foi criado um dispositivo que eliminou a manivela, até então utilizada para dar a partida nos veículos a gasolina;

iv) O sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre USD \$500 e \$1.000, a metade do preço dos elétricos.

Os veículos movidos a eletricidade, veículos a vapor e a gasolina, disputavam a preferência dos consumidores, mas, estas tecnologias apresentavam sérios problemas técnicos. No entanto, os fabricantes dos automóveis a gasolina foram os mais rápidos em solucioná-los. Para os veículos de combustão interna, os maiores problemas técnicos eram o barulho excessivo, resolvido através de abafadores acústicos, a dificuldade para dar a partida com a manivela, resolvida com o motor de arranque. Para os veículos a vapor o maior problema era o consumo excessivo de água e em consequência a baixa autonomia, necessidade de aquecimento 20 minutos antes de qualquer viagem e a baixa velocidade. Já os elétricos tinham os seguintes problemas: dificuldade em subir ladeiras muito íngremes; baixa autonomia; e baixa velocidade. Todos estes problemas estavam relacionados à falta de capacidade de armazenamento das baterias, e persistiam devido à lentidão com que a tecnologia das baterias se desenvolvia.

Desta forma, a partir de 1902, os automóveis a gasolina passaram a dominar as provas de velocidade.

Após os anos 1920, o motor de combustão interna (MCI) passou a ser

nitidamente a tecnologia dominante. Em 1924, foram produzidos nos E.U.A. 381 veículos elétricos e 3.185.490 a gasolina (Cowan e Hultén, 1996). Os veículos elétricos passaram a ser produzidos em escala muito pequena, neste período a tração elétrica ficou quase que reservada aos meios de transporte em massa como ônibus, bondes e trens, e à movimentação de cargas industriais (empilhadeiras e máquinas de tração industriais utilizadas em minas), sendo utilizados basicamente para coleta municipal de lixo e serviço de entregas em algumas cidades dos E.U.A e Reino Unido.

### **3 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, SETOR DE TRANSPORTES TERRESTRES DE PASSAGEIROS**

No Brasil, pode-se inferir o consumo de combustível dos automóveis e veículos leves (motos, triciclos e afins) utilizando-se do consumo dos combustíveis disponíveis para estes veículos, uma vez que a legislação brasileira permite a utilização de apenas três tipos, a saber:

- Gasolina,
- Etanol combustível e
- Gás natural veicular.

O óleo diesel é proibido para aplicações em veículos com menos de uma tonelada de carga, sendo permitido apenas em casos especiais como para os jipes, que representam uma parcela desprezível da frota circulante. Sendo assim, a utilização do óleo diesel fica restrita, principalmente, aos ônibus, caminhões e camionetas e não será, portanto, considerada para o estudo. Em todo o mundo — nos vizinhos do Mercosul, inclusive — os motoristas que precisam de um carro mais econômico têm nos modelos movidos a diesel uma excelente opção. Na Argentina, 35% da frota é movida a diesel, e na Europa, mais de 50% da frota de veículos de passeio queima o óleo combustível.

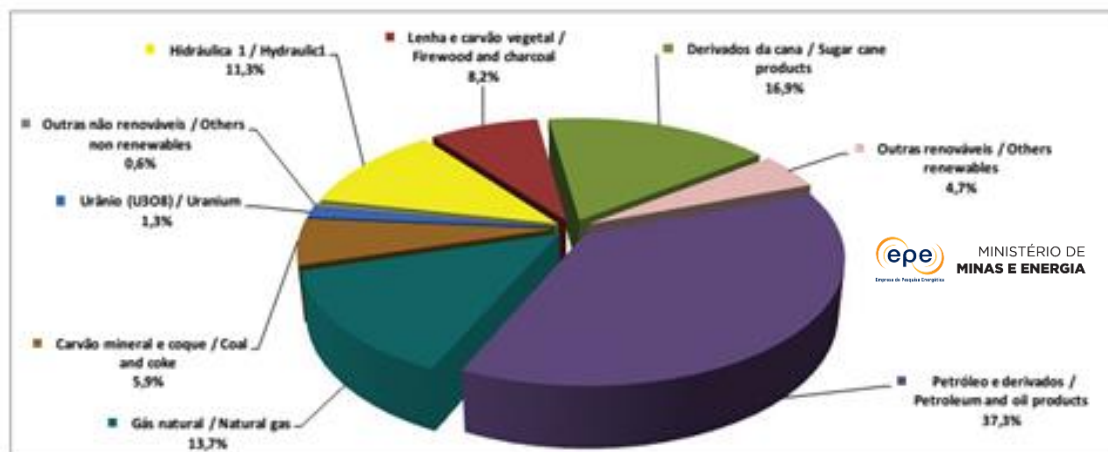
A escolha dos europeus por esse tipo de motor geralmente se deve ao fato de a gasolina ser relativamente cara por lá — de € 1,20 a € 1,75 por litro (R\$ 4,15 a R\$ 6), enquanto o diesel sai, em média € 0,20 mais barato — e pela vantagem em termos de eficiência: os motores diesel são até 30% mais econômicos que os motores a gasolina. Os modelos de passeio a diesel vendidos na Europa raramente gastam mais do que 8 l/100 km, ou 12,5 km/l, podendo chegar a 3,5 l/100, ou 28,5 km/l em percurso urbano.

Do mesmo modo, o querosene, que é utilizado principalmente na aviação, não será abordado para a análise de transportes terrestres de passageiros.



A energia elétrica, por sua vez, tem utilização bastante restrita no setor de transportes, visto que é utilizada apenas para o transporte de passageiros em trólebus, trens de superfície e de metrô, estes presentes em apenas algumas regiões metropolitanas do país.

GRÁFICO1 BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016 | ANO BASE 2015



<sup>1</sup> Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica. 1 kWh = 860 kcal [equivalente térmico teórico - primeiro princípio da termodinâmica]. Ver Anexo VI.6 - Tratamento das informações. / <sup>1</sup> Includes electricity imports originated from hydraulic sources. 1 kWh = 860 kcal [physical equivalent - First Principle of Thermodynamics]. Look Appendix VI.6.

Um dos principais problemas do mundo atual é o aquecimento global causado pela emissão de gases de efeito estufa em atividades geralmente ligadas ao consumo de derivados de petróleo. Este problema tem ganhado mais atenção da comunidade internacional nos últimos anos, apesar da postura dos EUA em não assinar o protocolo de Kyoto e da China, em forte expansão industrial sem dar muita atenção para a questão ambiental.

O fato relevante aqui é que tem ocorrido um movimento de substituição do petróleo por outros produtos em algumas áreas. Como combustível automotivo, cada vez mais alternativo menos poluidoras, como álcool e gás natural, são usadas no lugar da gasolina. Na geração de energia elétrica, observa-se crescentemente a participação de energias limpas como solar, eólica e hidráulica.

Porém, o petróleo continuará sendo, ainda por muitos anos, um recurso estratégico para as nações e esta indústria uma das maiores do mundo, movimentando bilhões e envolvendo condições geopolíticas explosivas no mundo.

#### **4 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: UMA PROSPECTIVA**

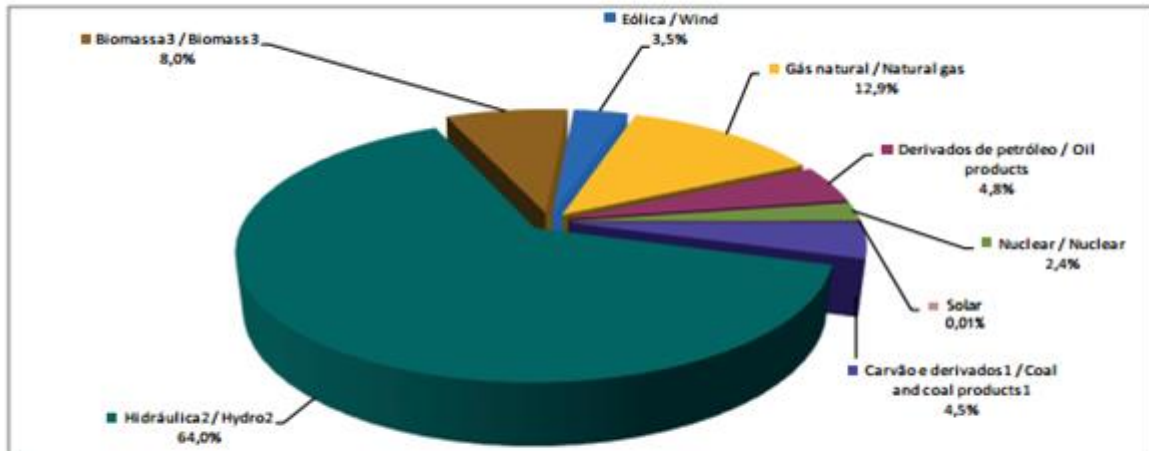
Desde a Revolução Industrial, a competitividade econômica dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia. Em um mercado global e em face das crescentes preocupações com o meio ambiente, essa influência se mostra cada vez mais decisiva. Nesse contexto, as economias que melhor se posicionam quanto ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obtêm importantes vantagens comparativas. Nas próximas décadas, essa questão se apresenta para o Brasil a um só tempo como um desafio e uma oportunidade. Desafio, porque o desenvolvimento econômico e social demandará uma expressiva quantidade de energia e com isso um alto grau de segurança e de sustentabilidade energéticas. Oportunidade, porque o Brasil dispõe de condições especialíssimas de recursos energéticos renováveis e de tecnologia para transformar suas riquezas naturais em energia e dessa forma agregar valor à sua produção de riqueza.

Para enfrentar esse desafio e aproveitar essa oportunidade, é necessário orientar e catalisar esforços de investidores, empreendedores e consumidores do setor energético, visando uma adequada interação entre esses atores. Nesse sentido, é fundamental a contribuição das instituições e equipes responsáveis pelo planejamento energético nacional, antecipando as situações, mapeando as alternativas, sugerindo estratégias, enfim, norteando as decisões. As necessárias transformações no setor energético nacional nos próximos 25 anos compreendem capacitação tecnológica, capacidade de gestão e inovação, viabilização de recursos para os investimentos e capacidade de articulação institucional, entre outras ações. O presente artigo apresenta uma prospectiva do setor para esse período a partir de estudos desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

#### **5 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO**

Pode-se considerar o sistema elétrico brasileiro como sendo único em âmbito mundial, em função de seu porte e da forte predominância de usinas hidrelétricas de múltiplos proprietários.

**Gráfico 2 Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte**



Notas/ Notes:

<sup>1</sup> Inclui gás de coqueria/ Includes coke oven gas

<sup>2</sup> Inclui importação de eletricidade/ Includes electricity imports

<sup>3</sup> Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia e outras recuperações/ Includes firewood, sugarcane bagasse, black-liquor and other primary sources

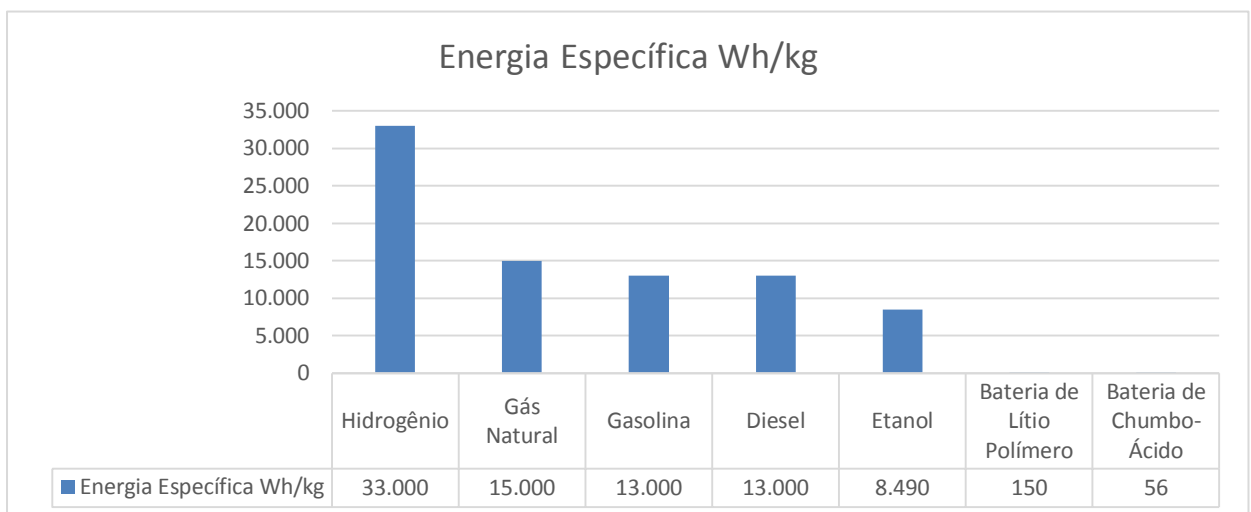
## ABASTECIMENTO E ACUMULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.

Neste capítulo serão abordadas as técnicas de abastecimento e de acumulação de energia, de uma maneira geral, e as especificidades deste tema para os veículos elétricos.

### Energia Específica

Mesmo com todo este desenvolvimento através dos anos, segundo Husain (2003), a bateria ainda possui uma energia específica baixa se comparada a outras formas de armazenamento de energia conhecidas, conforme o gráfico 3 a seguir:

**GRÁFICO 3: COMPARATIVO DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ESPECÍFICA (WH/KG)**



Fonte: Prof. Antonio Guilherme Garcia Lima da Faculdade de Engenharia da UERJ

Baseado no gráfico acima se pode definir, de uma maneira geral, que a bateria de tecnologia mais avançada comercialmente (lítio polímero) possui uma energia específica da

ordem de 87 vezes menos do que a gasolina, que é o combustível mais utilizado atualmente para a propulsão automotiva mundialmente. Observa-se, entretanto, que no estudo é contemplada a gasolina sem etanol. Isto implica que, para se ter a mesma energia contida em um litro de gasolina (gasolina sem etanol com densidade em torno de 0,75kg/l), deve se prever em torno de 47kg de bateria de lítio-polímero ou, ainda, 350kg de bateria de chumbo-ácido.

Isto é, em parte, compensado pelo alto rendimento do veículo elétrico (da ordem de 80%) em comparação ao veículo a motor de combustão (limitado pelo ciclo termodinâmico de Carnot, atualmente em torno de 20% para os veículos de produção).

#### **Bateria de Lítio Polímero**

Segundo Husain (2003), as baterias de lítio-polímero são consideradas baterias de estado sólido, pois o eletrólito não se apresenta mais como líquido. O mais promissor eletrólito para este tipo de bateria é o óxido de vanádio, V6O13.

Ainda segundo Husain (2003), as baterias de lítio-polímero apresentam potencial para alcançar a mais alta energia e potência específicas, pois os polímeros sólidos, substituindo os eletrólitos de líquidos inflamáveis presentes em outros tipos de baterias, podem conduzir os íons a temperaturas acima de 60°C. O uso do polímero sólido apresenta também uma grande vantagem de segurança no caso de acidentes envolvendo veículos elétricos e híbridos. Devido à apresentação do lítio na forma iônica ao invés da forma metálica, seu poder de reatividade fica reduzido. A bateria de lítio-polímero também tem a vantagem de ser fabricada em vários formatos e tamanhos, de maneira a ocupar mais eficientemente os espaços disponíveis no veículo, além de possuir uma boa vida útil. A maior desvantagem das baterias de lítio polímero é sua sensibilidade à temperatura pois, conforme Husain (2003), estas operam até a faixa de 80 a 120°C.

#### **Energia Armazenada na Bateria**

Segundo Husain (2003), a energia teórica ( $E_t$ ) de uma bateria é medida em termos de sua capacidade  $Q$ , em Amperes-hora (Ah), e de sua tensão de descarga, em Volts, ( $V_{bat}$ ).

$$E_t = V_{bat} \times Q_{total}$$

O resultado deste produto é expresso em Wh. Assim, uma bateria de automóvel tradicional de, por exemplo, 12V e 100Ah possui uma energia teórica ( $E_t$ ) de:

$$E_t = 12V_{bat} \times 100Ah = 1200 \text{ Wh}$$

Estes valores, porém, são meramente indicativos, uma vez que são baseados na tensão nominal da bateria, que é definida como a tensão média entre o início e o fim do procedimento de descarga, e também na capacidade determinada segundo um ensaio, onde a corrente da bateria é mantida constante.

#### **Recarga das Baterias**

Os sistemas de reposição da energia das baterias ou conjunto de baterias podem ser divididos em cinco tipos, a saber:

##### **a) Recarga Lenta**

Segundo Buchmann. (2001), a recarga lenta, também conhecida como recarga noturna, aplica uma taxa de recarga da ordem de 0,1C (ou um décimo da capacidade nominal da bateria) durante todo o período em que a bateria permanece conectada ao carregador. É o tipo de recarga mais econômico, uma vez que a potência empregada é baixa, visto que para a recarga de uma bateria de um veículo elétrico tradicional, é suficiente a potência de uma tomada doméstica.

### b) Recarga Rápida

Ainda segundo Buchmann. (2001), durante a recarga rápida os valores de corrente de recarga estão próximos aos da capacidade de descarga da bateria, ou seja, 1C. Entretanto, têm sido observadas algumas experiências bem sucedidas até 10C. O fabricante Thundersky (2009) recomenda em seu manual uma corrente de recarga rápida de até 3C. Nestes casos, o tempo de recarga típico para um veículo elétrico é entre uma e duas horas. Cabe lembrar que o aumento da taxa de recarga C implica um aumento da corrente de recarga, o que implica, ainda, cabos de maior seção e maior potência do ponto de abastecimento, muitas vezes não condizentes com os de uma residência.

### c) Troca Rápida da Bateria

Na troca rápida, a bateria descarregada é substituída por outra carregada mediante um dispositivo automático ou com a intervenção de um operador ou do próprio motorista. Embora não exista uma solução comercial em utilização, a empresa Betterplace (2009) divulga em seu site que o tempo de troca típico será inferior ao de um abastecimento com gasolina, estimado em torno de 5 minutos.

### d) Recarga em Movimento

A recarga em movimento, prevista para estradas automatizadas, é feita sem a necessidade de se parar o veículo ou de se trocar a bateria. Assim, em uma viagem sobre uma rodovia com a infraestrutura adequada, o veículo deve ser dirigido em uma faixa de rolagem específica, onde um barramento transfere energia ao veículo, por indução ou por contato, em uma taxa maior do que aquela gasta pelo veículo.

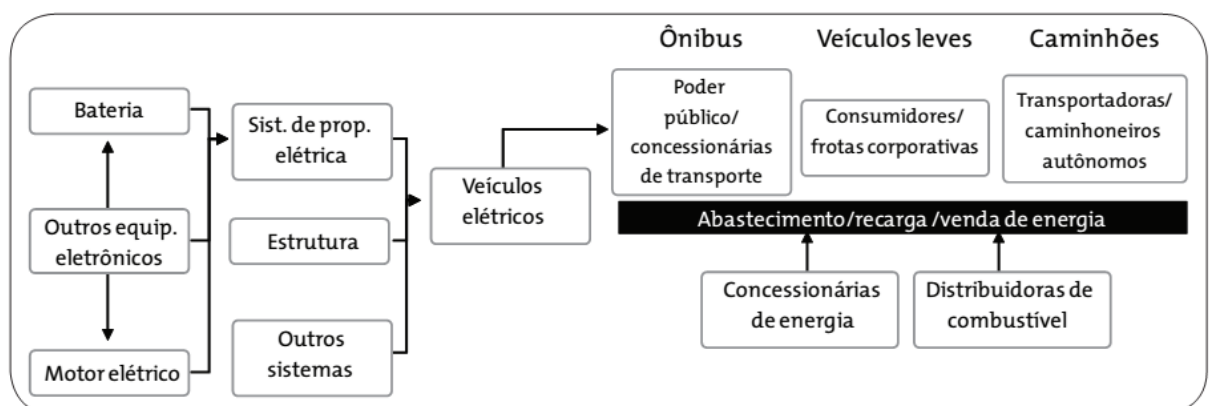
## 6 TRANSFORMAÇÕES NO MERCADO GLOBAL DE BATERIAS AUTOMOTIVAS

A difusão dos veículos elétricos e híbridos e seus desdobramentos trazem questões que permitem vislumbrar profundas transformações na indústria.

Nos veículos elétricos, o sistema de armazenamento de energia, assim como o de tração, faz parte do sistema de propulsão elétrica. A incorporação de um motor elétrico ao automóvel abre um novo mercado para fornecedores não tradicionais da indústria automotiva. Da mesma forma, os produtores de baterias de íon-lítio, frequentemente voltados à indústria eletroeletrônica, vêm estruturando braços de negócio para essa indústria.

A Figura 1 é um esquema resumido da cadeia de valor dos veículos elétricos, desde a produção dos sistemas principais até o consumidor, incluindo a operação de abastecimento e/ou recarga do veículo.

FIGURA1 CADEIA DE VALOR DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS



Fonte: Bernardo Hauch Ribeiro de Castro, Daniel Chiari Barros e Suzana Gonzaga da Veiga: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>; Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global.

## **7 VEÍCULO ELÉTRICO DE BATERIAS**

O fluxo de energia nos veículos elétricos de baterias ocorre principalmente em cabos elétricos flexíveis, em detrimento das ligações mecânicas verificadas nos veículos de combustão interna, adotando uma configuração de subsistemas distribuídos. A utilização de diferentes sistemas de propulsão implica diferenças na configuração do sistema, assim como a utilização de diferentes fontes de armazenamento de energia implica diferentes formas de reabastecimento.

Através das entradas de controle dos pedais de travão e acelerador do veículo, o controlador eletrônico disponibiliza sinais de controle adequados à ligação e corte dos dispositivos de eletrônica de potência, cuja função incide na regulação do fluxo de energia entre a fonte de armazenamento de energia e o motor elétrico. O sentido inverso de fluxo de energia deve-se à energia regenerativa originada pelo processo de travagem num veículo elétrico, sendo está armazenada na fonte de armazenamento de energia.

A unidade de gestão de energia colabora com o controlador eletrônico de modo a controlar a recuperação de energia regenerativa de travagem, cooperando igualmente com a unidade de reabastecimento de energia, de modo a controlar o respetivo reabastecimento.

A fonte auxiliar de energia disponibiliza a potência necessária com diferentes níveis de tensão para todos os módulos auxiliares, como o controle de temperatura e unidade de controle de direção.

## **8 VEÍCULO ELÉTRICO HÍBRIDO**

Um veículo elétrico híbrido caracteriza-se por possuir mais do que uma fonte de energia de propulsão, sendo a energia elétrica, no mínimo, uma destas fontes. Verificam-se principalmente as seguintes combinações, no entanto formalizou-se o conceito de veículo híbrido como sendo a combinação do motor elétrico e motor de combustão interna.

- Motor a gasolina de combustão interna – Bateria
- Motor diesel de combustão interna – Bateria
- Bateria – Célula de Combustível
- Bateria – Condensadores

A nível de funcionamento, os veículos elétricos híbridos utilizam apenas o motor elétrico, sempre que a potência deste é suficiente para satisfazer as condições de condução e do terreno. Quando a potência do motor elétrico for insuficiente, recorre-se então ao motor de combustão interna.

No que respeita ao peso, as baterias deverão ser as mais leves possíveis, com o intuito de reduzir a energia utilizada apenas para o transporte destas. O período de tempo de funcionamento em modo elétrico deverá ser o mais longo possível, de modo a reduzir as emissões poluentes provenientes do motor de combustão interna. Deste modo, o desafio na concepção de um veículo elétrico híbrido é a gestão de múltiplas fontes de energia, adotando diferentes configurações.

## 9 VEÍCULO ELÉTRICO DE CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL

A célula de combustível (FC) é um dispositivo eletroquímico que converte energia química de uma substância hidrogenada, em energia elétrica. Contrariamente às baterias, produz energia elétrica em vez de armazenar, sendo alimentada por um combustível e um oxidante. Este método tem como vantagens uma eficiente e fiável conversão de energia elétrica, ruído de funcionamento e emissões muito reduzidas, a recuperação do calor perdido, e rápido abastecimento de combustível.

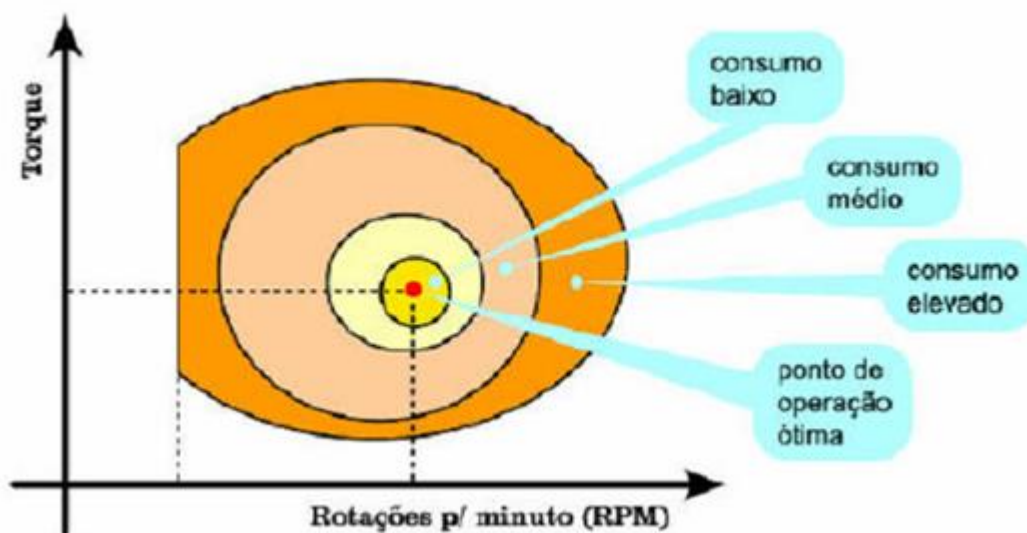
Entre os diversos combustíveis não poluentes utilizados nas células de combustível, o hidrogénio devido ao seu alto conteúdo energético por unidade de peso, aparenta ser o ideal.

Apesar de se encontrar em abundância no universo, o hidrogénio não existe livre na Terra e por isso não é um recurso primário, derivando de recursos primários como hidrocarbonetos, metanol e carvão.

## 10 MOTORES À COMBUSTÃO INTERNA

Os motores de combustão interna são baseados na conversão de energia química, presente no combustível (gasolina, etanol, gás natural, diesel etc.), em energia mecânica, que é utilizada para acionar as rodas do veículo. Segundo Oliveira (2005), o MCI pode operar em diversas condições. Porém, existe um ponto ótimo de operação em que o MCI apresenta a maior eficiência e emite menos gases poluentes, conforme a figura 2 a seguir:

FIGURA 2 MAPA DE CONSUMO ESQUEMÁTICO DE UM MCI



Fonte: OLIVEIRA, Eude

Máquinas térmicas cumprem bem a função de servir como propulsoras dos mais diversos tipos de veículos, onde são aplicadas desde em pequenas motocicletas até em grandes navios e aeronaves. Porém sua limitada eficiência mostra que ainda existe um potencial de energia não aproveitada como trabalho e que é transformada em outras formas de energia, principalmente na forma de calor nos gases de exaustão e nas trocas térmicas com o meio.

No caso dos Motores de Combustão Interna (MCI) muitos são os fatores que

contribuem para aumentar a diferença entre a eficiência real e o valor da máxima eficiência teórica, ou, eficiência segundo o Ciclo de Carnot. De acordo com Gallo (1990), entre os principais fatores que contribuem para a diminuição da eficiência dos MCI estão os atritos entre os diversos componentes do motor, trocas térmicas entre componentes e fluidos, geração de entropia no sistema de escapamento devido a pressão e temperaturas elevadas e expansões não resistidas nos gases de exaustão.

Em estudos dos fatores que influenciam no rendimento de MCI, deve-se não somente utilizar as análises de Primeira Lei da Termodinâmica, mas também aplicar as análises de Segunda Lei da Termodinâmica, onde aparecem os conceitos de entropia, irreversibilidades e da análise exergética (é o trabalho máximo que pode ser obtido através do processo mais adequado de um sistema que se encontre em um estado inicial até que atinja o estado final, caracterizado pelo equilíbrio termodinâmico com o ambiente), tornando-se possível uma verificação minuciosa dos pontos críticos ao rendimento do sistema e às oportunidades de melhorias dos projetos (GALLO, 1990).

O desenvolvimento de tecnologias aplicadas em MCI propiciou resultados como aumento de potência específica, durabilidade do motor, redução de consumo específico de combustível, aplicação de novos materiais, diminuição das emissões de poluentes, melhoria de dirigibilidade e aumento da eficiência de conversão de combustível.

Nesse mesmo contexto as tecnologias aplicadas tornaram os motores capazes de trabalhar com mais de um tipo de combustível, propiciando aos usuários as possibilidades de utilizar um combustível de acordo com uma finalidade específica, seja por menor custo, maior autonomia, melhor desempenho ou por ser um combustível menos agressivo ao meio ambiente.

Entre todos esses benefícios trazidos de inovações tecnológicas, os que mais merecem destaque são aqueles que contribuíram de alguma forma para a sustentabilidade do meio ambiente. Com relação às emissões provenientes dos gases de escapamento de motor, as tecnologias de controle do motor e de pós-tratamento de gases conseguiram minimizar severamente as emissões de gases como CO, HC e NOx.

Porém todas essas medidas ainda não são suficientes. O gás carbônico, por exemplo, é apontado como um dos causadores do efeito estufa e aquecimento global, sendo lançado ao meio ambiente proporcionalmente ao consumo de combustíveis em MCI.

Essa demanda pelo melhor aproveitamento do combustível tem levado à tendência de veículos com MCI cada vez menores, que consumam menos combustíveis e, logo, emitam menos poluentes.

Os programas que regulamentam as emissões veiculares têm servido como medida para certificar que os fabricantes de veículos trabalhem no sentido de diminuir as emissões de poluentes e cumpram os limites regulamentados. Diante dessa necessidade, os esforços têm reunido empresas fabricantes de veículos e motores, em conjunto com empresas do ramo de combustíveis, lubrificantes e componentes na busca de tecnologias para melhorar os níveis de emissões de novos projetos de motores veiculares.

## **11 EFICIÊNCIA EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**

A eficiência, também conhecida por rendimento, representa o grau de sucesso com que um processo de transferência ou conversão de energia é realizado. De um



modo geral a expressão da eficiência pode ser apresentada através da relação entre os termos de um resultado desejado e de um fornecimento necessário (ÇENGEL e BOLES, 2006):

$$\eta = \frac{\text{resultado desejado}}{\text{Fornecimento necessário}}$$

Onde,

- $\eta$  representa a eficiência;
- Resultado desejado representa a potência de saída do motor;
- Fornecimento necessário é o recurso que foi disponibilizado para a realização do objetivo proposto. No caso dos MCI é a própria energia do combustível.

A definição de eficiência pode ser aplicada na avaliação de inúmeros processos e em diferentes formas de conversão de energia. Um tradicional exemplo é aplicado em um equipamento que envolve a queima de um combustível, onde a eficiência é baseada no poder calorífico do combustível. Dessa forma, o desempenho do equipamento de combustão pode ser caracterizado pela eficiência da combustão (ÇENGEL e BOLES, 2006):

$$n_c = \frac{Q}{PC}$$

Onde,

$\eta_c$ , representa a eficiência da combustão,

- $Q$  é a quantidade de calor liberada durante a combustão,
- $PC$  é o poder calorífico do combustível.

De acordo com Heywood (1988), em motores de combustão interna a eficiência térmica pode ser definida pela relação entre a potência de saída do motor pela energia de entrada do combustível. Essa medida de eficiência do motor, também chamada de eficiência de conversão do combustível, é dada por:

$$n_t = \frac{W}{\dot{m} \cdot PC}$$

Onde,

$\eta_t$  representa a eficiência térmica;

$\dot{m}$  é a vazão mássica de combustível;

- $PC$  é o poder calorífico do combustível;
- $W$  é a potência de saída do motor obtida em dinamômetro.

De acordo com Çengel e Boles (2006), as eficiências globais típicas de MCI são da ordem de 26% a 30% para motores automotivos a gasolina, de 34% a 40% para motores a Diesel, e de 40% a 60% para motores de grandes usinas geradoras de energia elétrica.

Outro fator importante para a caracterização da eficiência de um motor de combustão é o tipo de combustível utilizado. Cada combustível possui propriedades e constituição química diferentes que, de acordo com sua energia e característica de sua

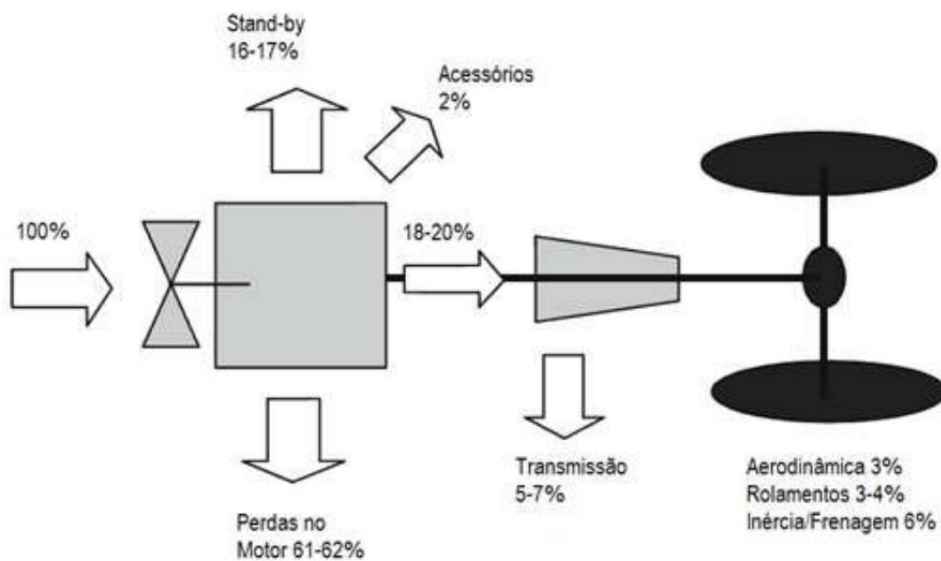
combustão, resultam em diferentes parâmetros de desempenho, emissões e eficiência.

Outro ponto para a melhoria da eficiência em MCI é a diminuição dos atritos do sistema. Segundo Heywood (1988), as perdas devidas aos atritos afetam diretamente a máxima potência do motor e o consumo de combustível. O autor afirma que o que diferencia um bom projeto de motor de um projeto “razoável” é a diferença entre as perdas por atritos.

Podem ser considerados como trabalho de atrito toda a diferença entre o trabalho do fluido motor nos cilindros (compressão e expansão) e o trabalho entregue no virabrequim. Como exemplos, estão os atritos devidos a efeitos de bombeamento, atritos entre os diversos componentes do sistema e atritos devidos aos acessórios que são acoplados no motor.

O MCI apresenta como característica de funcionamento, intrínseca ao seu ciclo termodinâmico, um limite inferior de velocidade angular (ou rotação) que o impede de funcionar abaixo deste limite (sempre um pouco abaixo da rotação de marcha-lenta especificada pelo manual do veículo). Essa limitação faz com que o motor consuma energia para manter o limite mínimo de rotação de funcionamento mesmo quando não é solicitada uma demanda de energia para a movimentação do veículo como, por exemplo, quando o veículo encontra-se parado por ocasião de um semáforo fechado. Algumas soluções como sistemas de desligamento do MCI nestas condições já estão em produção na Europa, principalmente para motores pequenos, de até quatro cilindros. Estes sistemas são conhecidos como micro híbridos ou stop&start. Para motores maiores, de seis e oito cilindros, já existem sistemas que desligam automaticamente alguns dos cilindros nas condições acima mencionadas, dentre outras.

FIGURA 3 CONSUMO ENERGÉTICO MÉDIO DE UM VEÍCULO LEVE A GASOLINA



Fonte: Kobayashi et al.(2009)

## 12 DESEMPENHO DE UM VEÍCULO ELÉTRICO

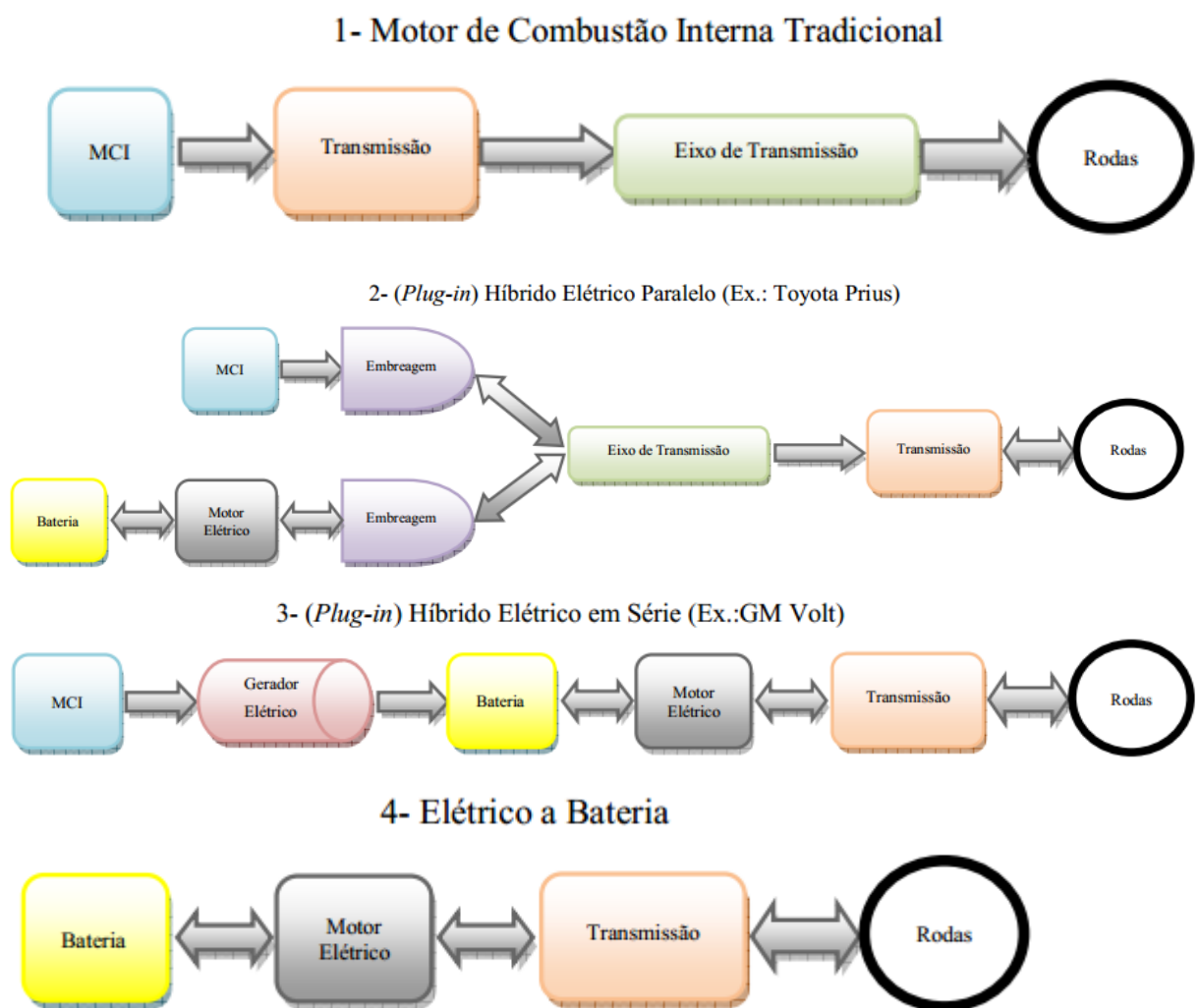
Para os veículos elétricos devemos considerar todas as variantes envolvendo estes

veículos:

- Veículos híbridos elétricos (VHE);
- Veículos híbridos elétricos plug-in (VHEP);
- Veículos elétricos a bateria (VEB)

A figura abaixo mostra o fluxo de potência dos diferentes tipos de veículos: MCI tradicional; híbrido elétrico paralelo (plug-in ou não); híbrido elétrico em série (plug-in ou não); e elétrico a bateria.

FIGURA 4 FLUXOGRAMAS DAS 4 CONFIGURAÇÕES PRINCIPAIS DE AUTOMÓVEIS



Fonte: Adaptado de Ralston e Nigro (2011)

### 13 OS VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS (VEH)

O princípio de funcionamento dos automóveis híbridos é bem diferente dos automóveis convencionais. Os híbridos utilizam um motor elétrico movido pela energia armazenada em baterias, além do motor de combustão interna. Há basicamente três tipos de sistemas nos automóveis híbridos comercializados atualmente:

- i) O sistema híbrido em série, em que um motor de combustão interna aciona um gerador que alimenta o motor elétrico;
- ii) O sistema híbrido em paralelo, em que o motor de combustão interna é auxiliado pelo motor elétrico nas situações que exijam mais potência;
- iii) E o sistema misto, em que dois motores elétricos atuam um em série e outro em paralelo ao MCI.

Nos três sistemas supracitados, as baterias são recarregadas também por um sistema de frenagem regenerativa, e o MCI é desligado quando o veículo fica parado no trânsito por muito tempo.

O Honda Insight é um exemplo de híbrido com tração em paralelo. Ele possui um motor elétrico que auxilia na tração do automóvel ao se acoplar diretamente no eixo de saída do MCI.

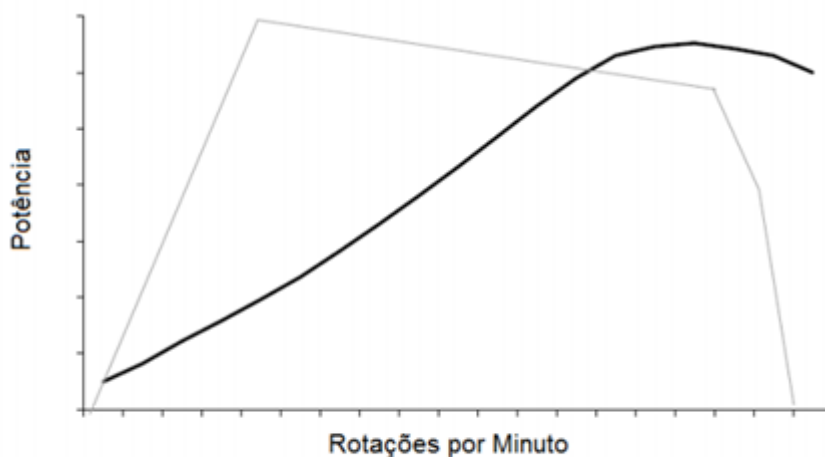
O Toyota Prius, por sua vez, é um exemplo de híbrido com tração em série. Neste sistema, uma engrenagem planetária permite que o MCI e o motor elétrico atuem em paralelo na tração das rodas, ou que apenas um dos motores atue. As baterias podem ser carregadas tanto pelo sistema de frenagem regenerativa quanto pelo MCI.

Os VEs são de 30% a 40% mais eficientes do que os de combustão interna tanto do ponto de vista energético quanto ambiental (MacLean e Lave, 2003; MPCA, 2007; Sovacool e Hirsh, 2008; Fontaras et al., 2008), mas por outro lado são também mais caros e de mecânica mais complexa do que seus equivalentes convencionais (MacLean e Lave, 2003; Sovacool e Hirsh, 2008).

A maior parte da eficiência energética dos híbridos vem da combinação entre o MCI e o motor elétrico. O motor de combustão convencional (ciclo Otto) a gasolina é relativamente ineficiente (de 5% a 10%) em baixa rotação, e relativamente mais eficiente (até 28%) em alta rotação, sendo a eficiência média em torno de 15%. A questão é que, no meio urbano, automóveis raramente trabalham em alta rotação.

O motor elétrico, por outro lado, produz torque máximo na partida, e sua curva de eficiência permanece quase constante até atingir alta rotação. A vantagem dos híbridos está em combinar os dois motores, utilizando o motor elétrico em baixa rotação e o MCI quando conveniente. O gráfico a seguir mostra as curvas de eficiência do motor elétrico versus o MCI a gasolina.

GRÁFICO 4 COMPARATIVO DE CURVA DE POTÊNCIA DE UM MOTOR ELÉTRICO X COMBUSTÃO INTERNA

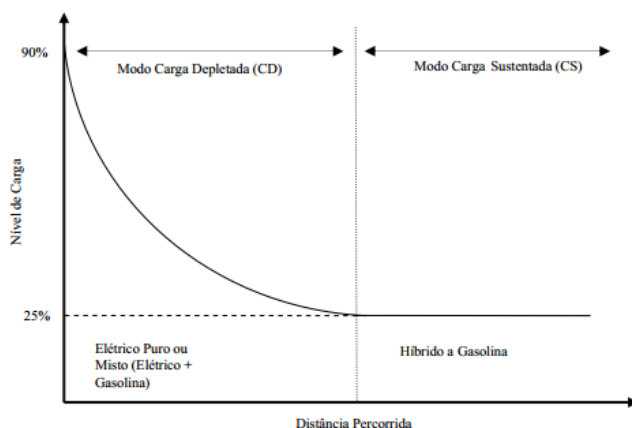


## 14 OS VEÍCULOS ELÉTRICOS HÍBRIDOS PLUG-IN (VHEP)

Assim como o híbrido elétrico, o VHEP utiliza uma bateria, um MCI e um motor elétrico, sendo que a bateria possui maior capacidade de armazenamento que a de um VHE não plug-in, podendo ser recarregada quando conectada à rede de distribuição de energia elétrica.

A bateria do VHEP armazena energia suficiente para deslocar o veículo por longas distâncias sem assistência do MCI. Quando a bateria descarrega, o MCI é utilizado como um gerador de energia para o motor elétrico. O VHEP pode ter configuração em série ou em paralelo, e pode operar em dois diferentes modos: o modo de carga sustentada (charge sustaining– CS) ou o modo de carga depletada (charge depleting– CD), ambos ilustrados no gráfico a seguir.

GRÁFICO 5: CICLOS DE DESCARGA TÍPICOS



Fonte: Adaptado de Electrification Coalition (2009)

O eixo vertical da Figura 8 representa o nível de carga da bateria de um VHEP convencional que, para prolongar a vida útil da bateria, nunca está em 100% nem zero. No exemplo acima, a bateria trabalha na faixa de 25%-90%, o que significa dizer que 35% da capacidade total da bateria não é utilizada, ou que o grau de descarga (depth of discharge– DOD) é de 65%. O eixo vertical é o nível da carga (ou state of charge SOC), e o eixo horizontal representa a distância percorrida.

Na Figura 8, a bateria inicia o ciclo com carga máxima (obtida da rede elétrica) de 90%. No modo CD, a energia armazenada na bateria é utilizada para percorrer determinada distância – a bateria é “depletada”. Quando a bateria é depletada até um nível mínimo (no exemplo, SOC de 25%), o veículo entra no modo CS, no qual a carga da bateria é “sustentada” pelo MCI. O automóvel permanece no modo CS até ser novamente conectado na rede elétrica, e a bateria ser recarregada.

Um segundo ponto conceitual importante a respeito do VHEP é que ele pode funcionar no modo CD como elétrico puro ou misto, utilizando eletricidade e gasolina. Como elétrico puro, o VHEP utiliza apenas a energia da bateria, e o MCI não é acionado. Como misto, o VHEP utiliza tanto a energia da bateria quanto o MCI, simultaneamente. Desta forma, um VHEP rodando no modo CD como elétrico puro precisa de uma bateria com mais capacidade de fornecer energia do que um VHEP rodando no modo CD como misto gasolina e elétrico.

Em terceiro lugar, para indicar a distância no modo CD é comumente utilizada a notação VHEP-X, onde X representa a distância, geralmente em milhas. Por exemplo, um VHEP-10 percorre 10 milhas (ou 16 km) no modo CD até entrar no modo CS. No entanto, esta notação não indica se o VHEP funciona no modo elétrico puro ou no modo misto, nem especifica as condições de direção. Portanto, quando comparamos dois ou mais VHEP, devemos levar em conta o tipo de operação no modo CD e o ciclo de direção.

O ciclo de direção é um padrão de acelerações, velocidades e frenagens num determinado intervalo de tempo, e é normalmente utilizado para avaliar o consumo de combustível e a performance de baterias.

Além da bateria, outro dispositivo utilizado para armazenamento de energia nos VEs são os super capacitores, que serão descritos a seguir.

Super capacitores, ou ultra capacitores, são equipamentos capazes de armazenar energia sobre uma superfície de placas paralelas. Quando comparados às baterias, eles possuem alta densidade de potência e baixa densidade energética, o que significa uma alta capacidade de carga e descarga e uma baixa capacidade de armazenamento. Suas características variam conforme o material utilizado na sua construção, sendo que sua densidade energética se situa entre 4-8 Wh/kg, enquanto a potência disponível fica entre 800-1400 W/kg. O ciclo de vida dos super capacitores é de centenas de milhares de ciclos de descarga profunda.

O desenvolvimento de super capacitores para aplicações automotivas ocorre desde os anos 1990. A maior parte da pesquisa tem sido focada no carbono micro poroso, mas atualmente a P&D tem se concentrado em outras formas de carbono e em óxidos metálicos, bem como no desenvolvimento de equipamentos híbridos, isto é, que conjugam características tanto de super capacitores quanto de baterias.

As baterias são caras, em parte, pelo fato de se degradarem com o uso e com o tempo.

Como compensação, os fabricantes de automóveis projetam veículos com baterias maiores que o necessário, o que aumenta sua vida útil e impacta consideravelmente no preço do automóvel.

Super capacitores, quando utilizados em paralelo com as baterias, reduzem a necessidade de grandes baterias (M.I.T., 2009). Os super capacitores não se degradam significativamente com o tempo, mesmo quando carregados e descarregados pesadamente sucessivas vezes. Desta forma, super capacitores podem proteger as baterias de sobrecargas de potência, que ocorrem nos momentos de aceleração, por exemplo.

Com a utilização de super capacitores, as baterias podem ser projetadas para armazenar mais energia.

Existe um trade off entre a velocidade de carga e descarga (potência) da bateria e a quantidade de energia que ela é capaz de armazenar.

Se conjugadas com super capacitores, pode-se reduzir o tamanho da bateria e, ao mesmo tempo, permitir maior capacidade de armazenamento do sistema (M.I.T., 2009).

De acordo com Borba (2012), estudos indicam que o desempenho médio de um veículo puramente elétrico oscila entre 5,0 km/kWh e 6,7 km/kWh. Já para os elétricos plug-in, o desempenho energético no modo CD oscila entre 6,8 km/kWh para a configuração em série e 14,3 km/kWh para a configuração em paralelo. Deve-se levar em conta, entretanto, que a forma de direção (se conservadora ou esportiva) exerce forte influência no seu desempenho energético.

## 15 IMPACTOS DA INSERÇÃO DO VEÍCULO ELÉTRICO NO BRASIL

### Viabilidade Energética

Os veículos automotores, quer sejam à combustão interna, híbridos ou elétricos não podem ser analisados quanto ao seu impacto no meio ambiente sem se considerar a origem da(s) energia(s) necessária(s) ao seu funcionamento. É necessário conhecer o caminho percorrido pela energia a ser utilizada para a movimentação destes veículos, desde a sua geração até à sua chegada ao consumidor final. Do mesmo modo, a frota de veículos deve ser adequada à oferta de energia, para não se correr o risco de sobrecarregar o sistema elétrico nacional e também poder utilizar a energia residual das baterias para se reduzir os impactos dos picos de consumo nos horários de ponta. Propõe-se, desta forma, um estudo sobre a matriz energética brasileira sob a ótica da utilização do veículo elétrico como meio de transporte individual, analisando-se o impacto da implantação de uma frota regular de veículos elétricos no sistema energético nacional.

### Emissões de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) por kWh de Energia Elétrica Gerada no Brasil

Segundo o balanço energético nacional, da geração total de energia elétrica do ano de 2007 (444,6TWh), o quantitativo proveniente de geração térmica fóssil, ou seja, geração termelétrica a partir de derivados líquidos de petróleo, gás e carvão mineral totalizaram 54,6TWh, distribuídos conforme a tabela 1 a seguir:

TABELA 1 GERAÇÃO DE ENERGIA POR FONTE TÉRMICA, BRASIL, 2007

Carvão Mineral	5,8TWh
Derivados de Petróleo	838,2TWh
Gás Natural	10,6TWh

Fonte BEM 2008

Pode-se dizer que para o total de energia elétrica gerada em 2007, houve uma contribuição de  $4,6 \times 10^9$  toneladas de CO<sub>2</sub>. Dividindo-se pela energia total consumida em 2007, tem-se um valor de 103,5g de CO<sub>2</sub> por kWh de energia total consumida no Brasil, em média.

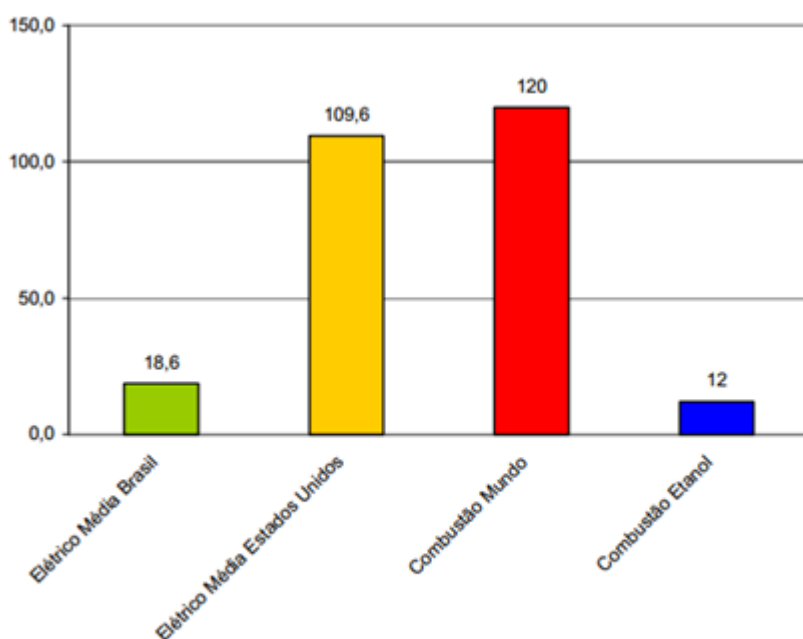
Comparando-se estes dados, pode se dizer que a média norte americana de emissão de gás carbônico na atmosfera foi de 608,8g de CO<sub>2</sub> por kWh de energia elétrica gerada ou, no

mínimo, 5 vezes mais emissora de CO<sub>2</sub> por kWh de energia elétrica gerada que a matriz elétrica brasileira.

Considerando-se a utilização de um veículo elétrico, esta proporção influencia diretamente na quantidade de emissões por quilômetro rodado, uma vez que a energia elétrica teve parte de sua geração por fonte térmica, que gerou emissão de dióxido de carbono.

Levando-se em conta estes dados, pode-se dizer que um veículo elétrico abastecido nos Estados Unidos apresenta um nível de emissões de dióxido de carbono semelhante a um veículo à combustão, para a mesma distância percorrida. Ao passo que um veículo elétrico abastecido no Brasil, apresenta um nível de emissões bastante reduzido, conforme mostra o gráfico a seguir:

GRÁFICO 6 EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO POR TIPO DE VEÍCULO E LOCALIZAÇÃO (G/KM)



Emissões médias de veículos pequenos em gramas de dióxido de carbono por km, considerando-se a origem da energia

Nota-se que a emissão de dióxido de carbono do veículo elétrico abastecido no Brasil é, em média, bem menos poluente que o mesmo veículo abastecido nos Estados Unidos, aproximando-se do veículo a etanol, quando considerado o ciclo completo deste combustível como redutor de até 90% de emissões de dióxido de carbono, segundo a ÚNICA (2009). Este fato é explicável porque a energia utilizada no Brasil tem uma baixa participação de energia de origem termelétrica, geradora de emissões de dióxido de carbono. Um potencial de redução ao nível zero das emissões do veículo elétrico no Brasil é o seu abastecimento durante o período de carga leve do sistema elétrico (madrugada), que utilizaria somente a energia da parcela hidrelétrica gerada, sem a necessidade da geração termelétrica e a conseqüente emissão de dióxido de carbono. Salienta-se ainda que a emissão de outros tipos de poluentes está presente quando da utilização do motor de combustão à gasolina e também a etanol, que causam danos à saúde.



## **16 IMPACTO DA FROTA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO**

Conforme Toshizaemom Noce, partindo-se da hipótese de uma frota de veículos elétricos da ordem de 110 mil veículos, temos um consumo destinado ao abastecimento da frota de veículos elétricos em torno de 352 GWh/ano ou 29,3GWh/mês.

Com base na oferta interna de energia elétrica de 2007, de 483TWh naquele ano, o impacto de uma frota de 110 mil veículos elétricos representaria um consumo de 0,073% de toda a oferta nacional de energia.

Com base nos dados da ONS o menor valor de energia vertida turbinável anual, desde 2002, foi de 46TWh, temos que o impacto de uma frota de 110 mil veículos elétricos é de 0,76% sobre aquele valor.

Nota-se que a parcela de energia necessária para o abastecimento dos veículos elétricos, em torno de 0,073% da geração total de energia hidrelétrica do SIN, não altera de forma significativa o nível dos reservatórios no tocante à energia armazenada e não sobrecarrega o sistema, caso as condições de abastecimento durante a carga leve forem respeitadas, o que pode ser conseguido com o estímulo ao consumo desta energia com tarifas mais baixas e restringindo-se o consumo na carga de ponta com tarifas elevadas.

## **17 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

De fato, o Brasil é uma nação com nível de desenvolvimento ainda insuficiente, ao qual se associam um baixo consumo específico de energia, carência de infraestrutura energética e concentração do uso das riquezas naturais. O posicionamento do país no cenário internacional é um fator essencial para o esforço de reverter esse quadro. Historicamente, o Brasil apresenta uma importante vantagem comparativa no setor energético, relacionada à abundância de recursos naturais a baixos custos em termos relativos.

Mais recentemente, a preocupação com os impactos ambientais da produção e do uso da energia, em especial as emissões de gases e seus efeitos sobre o clima do planeta, tem reforçado a necessidade de regulação e da definição de políticas especificamente orientadas para assegurar a sustentabilidade do desenvolvimento econômico, o que decerto exige planejamento e ação governamental.

O Brasil é altamente dependente do transporte rodoviário, modal que entre os anos 1990 e 2000 respondeu por mais de 60% da carga transportada. Para efeito de comparação, nos E.U.A. esta relação é de 26%, na Austrália 24%, e na China 8% (Neto et al., 2011). A falta de recursos destinados à manutenção e recuperação das estradas brasileiras, somadas à sua intensa utilização, contribuiu para a deterioração das vias, que atualmente representam um gargalo na infraestrutura de transporte de carga.

No Brasil, o tamanho do mercado do VE e a sua dinâmica de difusão entre os consumidores não são dados conhecidos. No entanto, a análise de casos passados, mais especificamente os casos dos carros a álcool e bicombustível (flex-fuel), nos permite inferir quais medidas podem ser efetivas caso se deseje difundir o carro elétrico no Brasil.

O carro a etanol foi uma tecnologia automotiva alternativa que teve forte estímulo do governo por meio do Programa Nacional do Álcool (Proálcool), logo após o

primeiro choque do petróleo (1973). Foi lançado no mercado em 1979, e em 1983 representava 84% dos carros registrados no Brasil.

A produção de carros flex-fuel tem sido estimulada com a redução de impostos desde 2002 (ANFAVEA, 2011). Como resultado do incentivo, em 2006, três anos após sua introdução no mercado, compreendiam 78% dos automóveis registrados no Brasil.

Atualmente, 86% dos automóveis fabricados no Brasil possuem esta tecnologia.

Observando-se a dinâmica da difusão do automóvel a etanol e do carro flex-fuel, pode-se supor que uma tecnologia automotiva alternativa à convencional, tal como os híbridos e elétricos, tem potencial para se difundir em poucos anos e, sendo devidamente estimulada pelo governo, obter parcela significativa do mercado brasileiro.

## 18 ANEXOS

Abaixo artigos publicados em revistas, websites e publicações recentes sobre o tema deste artigo.

<https://tecnoblog.net>

### **Alemanha quer banir carros a gasolina e diesel até 2030**

Motores de combustão interna podem ser proibidos em toda a União Europeia

O Bundesrat, conselho federal alemão, votou pela proibição dos motores de combustão interna até 2030. A partir desse ano, todos os carros vendidos na Alemanha deveriam ter motores alimentados a eletricidade, hidrogênio ou outras fontes de energia limpa. Mas a medida pode não ficar restrita ao país: os legisladores querem levar a resolução para toda a União Europeia.

De acordo com a revista alemã Der Spiegel, o incentivo aos veículos elétricos é uma das medidas tomadas para reduzir as emissões de dióxido de carbono na Alemanha em 95% até 2050. Uma possibilidade para acelerar o fim dos carros movidos a gasolina e diesel é aumentar os impostos para os motores de combustão interna (que, olha só, foram inventados por Nikolaus Otto, um alemão).

A resolução do Bundesrat, que representa os 16 estados alemães, não tem efeito legislativo: a medida precisa ser aprovada pela União Europeia para valer. No entanto, como lembra a Forbes, “as regulações alemãs tradicionalmente têm moldado as regulações da União Europeia e da UNECE [Comissão Econômica das Nações Unidas para a Europa]”.

Metade dos carros que circulam na Europa são movidos a diesel, já que o combustível é mais barato e rende mais por quilômetro rodado (o Brasil é o único país do mundo onde o diesel é proibido para veículos de passeio). Desde o escândalo da Volkswagen, que implementou um software para distorcer resultados de testes de emissão de poluentes, as vendas de diesel caíram 5% na Alemanha e 12,9% nos Países Baixos.

<https://pplware.sapo.pt/informacao/alemanha-eliminar-combustao-interna-2030/>

### **Alemanha quer eliminar motores de combustão interna até 2030**

Os esforços para massificar os carros elétricos estão gradualmente a aumentar em

todo o planeta. Apesar de serem ainda muito pouco usados, cada vez mais se vêm a circular nas ruas.

A Alemanha pode agora ter dado um passo muito firme neste sentido ao aprovar uma resolução que prevê o fim dos motores de combustão interna até ao ano 2030.

A resolução aprovada no final da passada semana pelo Bundesrat, o Conselho Federal alemão, quer obrigar a que seja decretado um boicote completo aos motores de combustão interna no país até 2030. A partir desse ano, todo e qualquer carro que for vendido na Alemanha terá obrigatoriamente de ter motores eléctricos ou alimentados por células combustível de hidrogénio.

Mas os legisladores alemães não se querem ficar apenas pelo seu território e querem que essa medida seja alargada a toda a União Europeia, tornado assim a sua lei universal no espaço europeu.

Não tendo a capacidade de fazer passar essa lei no espaço comunitário, vão tentar convencer a Comissão Europeia a aceitar esta medida. Dada a posição da Alemanha na Europa, existem fortes possibilidades desta ser aprovada e alargada aos restantes países europeus.

Como quer a Alemanha ajudar nesta decisão

Para conseguirem incentivar a utilização destes veículos amigos do ambiente, o Bundesrat aprovou a criação de incentivos para a compra destes carros. Não se sabe ao certo de que forma estes incentivos vão ser aplicados, mas poderão passar por benefícios fiscais ou o fim de outros já aplicados a carros que se sabe serem mais poluentes.

A forte indústria automóvel alemã tem-se estado a preparar nos últimos anos para este tipo de medida e são já várias as propostas dos fabricantes. A maioria tem já veículos eléctricos a serem comercializados e a investigação nestas novas tecnologias é cada vez maior.

A Europa pode assim, fruto desta medida, ter finalmente uma data para acabar com os motores de combustão interna, abrindo as portas aos veículos alimentados por energias limpas e amigas do ambiente.

<http://quatorrodas.abril.com.br/noticias/alemanha-quer-proibir-carros-a-combustao-ate-2030/>

### **Alemanha quer proibir carros a combustão até 2030**

Plano faz parte da meta de reduzir em pelo menos 80% as emissões de gás carbono no país até 2050

A Europa está disposta mesmo a reduzir o índice de emissões de dióxido de carbono. Prova disso é o recente anúncio de que Paris (França) banirá de suas ruas carros com mais de 19 anos. Agora, segundo a publicação Autocar, a Alemanha é outra a tomar medidas efetivas para reduzir as emissões produzidas pelos veículos automotores, pois quer proibir carros a combustão no país até 2030.

O precursor dessa iniciativa é o Vice-Ministro da Economia Rainer Baake, que disse que os carros novos terão de ser livre de emissões para o país atingir a meta de redução de gás carbono de pelo menos 80% até 2050. Ainda segundo Baake, não houve na Alemanha

redução de emissões de CO2 na área de transportes desde 1990.

A quantidade de carros “verdes” na Alemanha ainda é relativamente baixa, apenas 130.000 híbridos e 25.000 elétricos, contra 14,5 milhões de veículos a diesel no país. Casos como o do “dieselgate”, que revelou inconsistências em grande escala no aspecto de emissões, mostram que a poluição liberada por modelos diesel pode ser maior do que os números oficialmente estimados.

Para tentar reverter esse quadro, o governo alemão dará incentivo para compra de veículos elétricos através de subsídios. Com isso, o governo espera ter meio milhão de veículos livre de emissões até 2020, enquanto que, para 2030, é esperado que o número de elétricos e híbridos suba para 6 milhões no país.

Com as regras cada vez mais exigentes, as montadoras alemãs já estão se mexendo para atender as medidas impostas. Como exemplo há a BMW, com o elétrico i3 e o esportivo híbrido i8, sendo que a marca bávara está desenvolvendo uma versão totalmente elétrica do último. Já a Mercedes-Benz anunciou um carro movido a hidrogênio com autonomia de até 498 quilômetros que será produzido no ano que vem. A Volkswagen, após o escândalo do “dieselgate”, passará a investir cada vez mais em veículos verdes e projeta vender entre dois e três milhões de carros 100% elétricos em 2025.

<http://quatorrodas.abril.com.br/noticias/carro-eletrico-heroi-ou-vilao/>

### **Carro elétrico: herói ou vilão?**

Apesar de não queimar combustível, carros elétricos podem poluir mais que os a gasolina. Tudo depende da matriz energética.

Os veículos 100% elétricos são limpos, mas, dependendo da matéria-prima usada para gerar eletricidade, o mocinho pode virar bandido. Um estudo realizado pela Universidade de Oxford, na Inglaterra, mostra que o carro a gasolina pode ser até mais limpo, caso o país onde ele rode recorra a combustíveis fósseis para gerar energia. “Nesse caso, a vantagem dos elétricos se resume a evitar a concentração de gases tóxicos nos centros urbanos”, diz Roberto Brandão, pesquisador do grupo de estudos do setor elétrico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Na China e na Índia, que usam carvão mineral para gerar quase 70% da energia, o desempenho do veículo elétrico foi desanimador, chegando a poluir mais do que um a combustão. Nos países em que a fonte energética é menos poluente, o carro ecológico vale a pena. Na França, que usa energia nuclear, considerada limpa na geração de CO2, o carro a bateria se saiu bem. O mesmo vale para o Brasil. “Mais de 80% da energia nacional vem de hidrelétricas. Portanto, os elétricos aqui são limpos de verdade”, diz Margaret Groff, coordenadora do projeto de veículo elétrico da usina de Itaipu.

### **NEM TÃO ECOLÓGICOS**

Na China, os automóveis elétricos poluem mais que a versão a gasolina, porque sua produção de energia elétrica é baseada na queima de carvão. Nos EUA, onde impera a termoelétrica, os movidos a bateria emitem só um pouco menos de CO2 que os a gasolina. Já

na França, rica em usinas nucleares, os elétricos são bem mais ecológicos.

### **Matriz energética predominante em cada país**

EUA Termoelétrica com petróleo  
Brasil Hidrelétrica  
França Energia nuclear  
China Termoelétrica com carvão mineral

### **Geração sustentável**

#### **Gramas de CO<sub>2</sub> por km rodado**

Carro a gasolina 90 g  
Carro elétrico no Brasil 9 g  
Carro elétrico na França 10 g  
Carro elétrico nos EUA 68 g  
Carro elétrico na China 96 g

Se mais de 90% da frota brasileira fosse de elétricos, o consumo energético do país aumentaria em 40%.

### **O efeito na tomada**

#### **Consumo de eletricidade (em bilhões de kWh)**

Consumo médio anual de energia elétrica no Brasil 430  
Consumo com 3,4 milhões de carros elétricos (7,5% da frota) 444  
Consumo com 41 milhões de carros elétricos (91% da frota) 602

<https://www.cemig.com.br/>

CEMIG Centrais Elétricas de Minas Gerais

### **VEÍCULO ELÉTRICO**

Redução do uso de combustíveis fósseis, melhoria da qualidade do ar em centros urbanos, melhor aproveitamento da infraestrutura do setor elétrico, um novo nicho de mercado. Esses são alguns fatores que justificam o empenho da Cemig no desenvolvimento de veículos movidos a energia elétrica.

Uma promessa de ruptura tecnológica sinaliza uma forte mudança na matriz energética, especialmente no setor elétrico: a disseminação de veículos elétricos e híbridos. De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), em 2030 a maioria dos carros de passeio comercializados no mundo será desse tipo. Desse modo, a Cemig faz parte do grupo de empresas que estão desenvolvendo o Veículo Elétrico (VE) no Brasil. O projeto do VE envolve o trabalho integrado de diversas empresas para introduzir, aperfeiçoar e ampliar o uso dos veículos elétricos no mercado brasileiro.

Tendo como principais apelos a melhoria da eficiência energética global e a possibilidade de aproveitamento de energia renovável, tais veículos, integrados ao sistema elétrico via Smart Grid, podem contribuir como carga e geração despachável, suporte a contingências e melhoria de qualidade da energia.

Além disso, pode fomentar, como demandantes de infraestrutura Smart Grid, outras funcionalidades dessa concepção, como o gerenciamento pelo lado da demanda, a geração

distribuída, a comunicação em banda larga via rede elétrica, dentre outras.

Os veículos elétricos são silenciosos e não emitem poluentes. Utilizam energia elétrica a custo inferior ao do combustível fóssil tradicionalmente utilizado no transporte veicular. O motor elétrico demanda menos manutenção, é mais econômico e possui maior rendimento em relação ao motor a combustão interna.

Em 2009, a Cemig incorporou à sua frota e testou quatro automóveis Palio Weekend, obtidos por meio de parceria com a Itaipu Binacional e com a Fiat Automóveis, que construiu os protótipos. A Empresa avalia o desenvolvimento, aquisição e testes de outros veículos, tais como ônibus e caminhões, e outros automóveis.

Características técnicas do VE:

- autonomia: 120 km
- velocidade máxima: 110 km/h
- aceleração: 0 - 50 km/h em 7 seg e 0 - 100 km/h em 28 seg
- tempo de recarga: 8 horas
- consumo com carga completa: 20 kWh
- consumo a cada 100 km: 15 kWh

## 19 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERMANN, Célio. Energia no Brasil, para que? Para quem? Crise e alternativa para um país sustentável. São Paulo: Livraria da Física, 2002.

ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. Incentivos para veículos elétricos no Brasil. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/incentivos.asp>>.

BATISTA, B. Introdução da história da bateria automotiva do Brasil.

Revista Chumbo Brasil, n. 4, Ed. Especial, dez. 2012.

CASTRO, B. H. R.; FERREIRA, T. T. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades, n. 32, p. 267-310. Rio de Janeiro, BNDES, set. 2010.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; IEMA – INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE.

ROSOLEM, M. F. N. C. et al. Bateria de íon-lítio: conceitos básicos e potencialidades, Campinas, v. 8, n. 2, p. 59-72, jul.-dez. 2012.

PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016: Ano base 2015 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2016

Borba, B. S. M. C., 2008, Metodologia de Regionalização do Mercado de Combustíveis Automotivos no Brasil. Dissertação de M.Sc, PPE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Carvalho, M. A. S., 2011. Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia – Bahia.

MELO, T.C.C. Modelagem Termodinâmica de um Motor Ciclo Otto do Tipo Flexfuel, funcionando com Gasolina, Álcool e Gás Natural. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MARTINS, J. Motores de Combustão Interna. 2ª edição. 2006.

GALLO, W.L.R. Análise Exergética de Motores a Gasolina e a Álcool. 1990. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Departamento de Energia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.