

ANÁLISE DOS DESAFIOS PARA A DIFUSÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS NO BRASIL

Diego Moreno Bravo¹, Pablo Siqueira Meirelles¹ e Wallace Giallonardo¹

¹Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica

E-mails: dimobra@gmail.com, pablo@fem.unicamp.br, wgiallonardo@gmail.com

RESUMO

Em meio à crescente preocupação com emissões de gases poluentes em grandes centros urbanos e à busca por melhoria da eficiência energética no setor de transportes, surgem os veículos elétricos e híbridos (VEHs) como possíveis soluções para esses problemas. Tais tecnologias já são uma realidade no mercado automotivo mundial e têm aumentado, ano após ano, sua parcela de contribuição nas vendas das grandes montadoras. Um exemplo notório disso é a utilização de powertrains híbridos em carros de Fórmula 1 no campeonato de 2014, possibilitando a utilização de motores de combustão interna menores, mais leves e mais econômicos em termos de consumo de combustível, além de viabilizar a recuperação da energia de frenagem, antes dissipada na forma de calor. Contudo, no Brasil, são raríssimas as iniciativas que objetivam a aplicação de veículos elétricos e híbridos na área de mobilidade.

No presente trabalho, são apresentados alguns dos possíveis motivos pelos quais os veículos híbridos e elétricos são tão raros de se ver nas ruas do Brasil, bem como uma série de soluções adotadas em outros países para tornar esses veículos mais acessíveis. O objetivo é apresentar uma visão geral da problemática em questão, focando no mercado nacional. São abordados assuntos como tributações incidentes em VEHs, políticas de incentivo, limitações tecnológicas, segurança energética e uma série de vantagens que podem ser obtidas com o emprego de VEHs na frota circulante do país.

INTRODUÇÃO

O automóvel, há muito tempo, é utilizado por milhões de pessoas em todo o mundo como principal meio de transporte, passando por diversas transformações ao longo de seu desenvolvimento, de acordo com as tecnologias que estavam disponíveis em cada época, além de fatores políticos e econômicos. A indústria automobilística e as atividades relacionadas a ela como o setor petrolífero, por exemplo, são responsáveis por uma movimentação financeira bilionária em todo o mundo, mas nem por isso estão livres da pressão muitas vezes imposta por alguns setores da sociedade. A saúde pública, o meio ambiente e a segurança energética são exemplos de assuntos que frequentemente chamam a atenção dos governantes para os automóveis, já que estes são responsáveis pela emissão de uma grande quantidade de gases e pelo consumo de uma parcela significativa dos combustíveis produzidos e/ou importados pelo país, levando a medidas regulatórias que forcem as empresas a investir cada vez mais em projetos sustentáveis e energeticamente mais eficientes.

No Brasil, o etanol é apresentado como uma alternativa à utilização de combustíveis fósseis em veículos leves, com a justificativa de que é proveniente de fontes renováveis (cana de açúcar). Os veículos elétricos, de maneira semelhante, ressurgem como uma alternativa tecnologicamente viável, mas esbarram muitas vezes em questões como preço e autonomia limitada. Uma possível solução seria um sistema híbrido com um motor de combustão interna alimentado exclusivamente com etanol operando em conjunto com um ou mais motores elétricos. Tal configuração do powertrain possibilitaria um aumento da eficiência do motor de combustão interna, já que seria possível otimizá-lo para operar exclusivamente com etanol, utilizando taxas de compressão maiores do que a gasolina, além de requerer a utilização de uma quantidade menor de baterias [1]. Vale lembrar que nos primórdios da história automotiva existiram várias propostas de veículos elétricos, que se mostraram inviáveis com a tecnologia disponível no final do século XIX e não tiveram condições de competir com a autonomia dos veículos com MCI, que encontraram nos derivados do petróleo combustível abundante, barato e com alta densidade de energia. Uma exceção é encontrada no setor ferroviário, onde a propulsão híbrida e puramente elétrica dominam o mercado, sendo esta última mais recente.

Em diversos países, como França, Alemanha, Japão e Estados Unidos, por exemplo, existem políticas de incentivo fiscal e até mesmo subsídios para veículos elétricos e híbridos. A opinião de pesquisadores cujos estudos abrangem os veículos elétricos e híbridos é unânime: sem o apoio governamental através de políticas de incentivo para pesquisa, produção e comércio, e sem investimento público em infraestrutura específica demandada pelos usuários de VEHs, dificilmente serão vistos modelos elétricos e/ou híbridos circulando pelo país e mais difícil ainda será a aceitação desse tipo de automóvel pelos consumidores. Nos países supracitados, onde foram adotadas diversas medidas de incentivo aos VEHs, resultados expressivos já foram obtidos. Sem medidas semelhantes, corre-se o risco no Brasil, de se começar a investir em uma “nova” tecnologia quando a defasagem tecnológica com relação aos países desenvolvidos já estiver muito grande, tal como já aconteceu em outros domínios, perpetuando a dependência tecnológica e o sub-desenvolvimento do país.

Para se ter uma idéia em termos quantitativos, segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA), foram licenciados 491 veículos elétricos e híbridos no Brasil durante todo o ano de 2013, contra cerca de 3,6 milhões de veículos leves que utilizam gasolina, etanol ou gás natural veicular (GNV) como combustível [2]. Isso representa uma parcela de participação dos veículos elétricos e híbridos na frota brasileira de aproximadamente 0,014%. Já nos Estados Unidos da América (EUA), neste mesmo período, foram vendidos mais de 489 mil veículos híbridos contra pouco mais de 15 milhões de veículos convencionais, o que representa 3,2% do mercado norte-americano, de acordo com a Alliance of Automobile Manufacturers (AAM) [3]. De acordo com estudos divulgados pela International Energy Agency (IEA), a expectativa é de que mais de 20 milhões de veículos híbridos estejam rodando pelas ruas do mundo no ano de 2020 [4]. A situação atual indica que será pequena a parcela de participação do Brasil nesse número, o que pode trazer consequências negativas para a imagem de país responsável e comprometido com a preservação do meio ambiente, além das consequências econômicas.

1. REVISÃO DA LITERATURA

Inicialmente são apresentadas as principais características de cada sistema de propulsão, dividindo-os em convencional, elétrico e híbrido, de modo a facilitar o entendimento do leitor.

Em seguida, é mostrado um breve histórico dos veículos elétricos e híbridos no Brasil e no mundo, citando alguns modelos de sucesso, dados estatísticos relativos a consumo de combustíveis e emissões de gases, entre outras informações gerais. Para finalizar a revisão da literatura, é feita uma breve apresentação sobre alguns protocolos e programas, nacionais e internacionais, que buscam controlar o nível de poluição atmosférica causada por veículos. A revisão da literatura visa expor alguns conceitos e informações que facilitarão a compreensão da parte deste trabalho que trata dos desafios para a inserção e difusão de veículos elétricos e híbridos no Brasil.

1.1. Propulsão convencional

A propulsão convencional mais comumente adotada em veículos leves no Brasil é composta por um motor de combustão interna (MCI) acoplado a um sistema de transmissão, sendo este responsável por transmitir o movimento do motor às rodas buscando manter, sempre que possível, a operação do MCI próxima de sua região de máxima eficiência no mapa de consumo. Além desses componentes, há um tanque de combustível para o armazenamento da energia e um sistema de exaustão dos gases provenientes da câmara de combustão. O sistema de exaustão normalmente é composto por um coletor de exaustão, um conversor catalítico de gases e um abafador de ruídos. O abafador de ruídos, como o próprio nome diz, é responsável pela redução dos ruídos provenientes da queima do combustível e funciona como uma caixa de ressonância contribuindo significativamente para a redução da poluição sonora. Já o conversor catalítico, também conhecido como catalisador, um item obrigatório em todos os veículos vendidos no Brasil, tem a função de acelerar as reações químicas de hidrocarbonetos não queimados e poluentes regulados (gases tóxicos) como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado, aldeídos, entre outros, minimizando a liberação destes para a atmosfera. É importante salientar que esses gases não são produtos da combustão apenas da gasolina, mas também de combustíveis alternativos, como o etanol e o gás natural veicular [5].

No Brasil, os combustíveis mais utilizados nos veículos leves convencionais são a gasolina e o etanol, já que boa parte da frota nacional conta com a tecnologia flex, ou seja, os carros podem ser abastecidos com gasolina e etanol, em qualquer proporção, graças a um sistema inteligente que analisa a mistura instantânea do combustível presente no tanque e controla sua injeção e sincronização para se ajustar a diferentes composições, sem que haja perda de desempenho. Em 2013, 88,5% dos automóveis de passeio e veículos comerciais leves produzidos já eram flex, 5,3% eram movidos apenas a gasolina, e 6,2% utilizavam diesel como combustível [6]. Ainda em 2013, os veículos flex registraram um domínio de mais da metade da frota circulante total do país, enquanto os veículos a gasolina representaram 38%. Somados, chegam a 90% de todos os automóveis em circulação, sendo que os demais formam as frotas movidas exclusivamente a diesel e a etanol [7].

Veículos convencionais são bastante ineficientes energeticamente. Boa parte desta ineficiência vem da geração de calor causada principalmente pelo atrito entre as partes móveis do motor de combustão interna. Estima-se que apenas 15% da energia potencial de um combustível é usada efetivamente para movimentar um automóvel [8]. Além disso, durante as frenagens, toda a energia utilizada para desacelerar o veículo é perdida na forma de calor nos componentes de freio, não sendo possível sua reutilização futura para auxiliar na propulsão do automóvel.

1.2. Propulsão elétrica

Veículos elétricos recebem este nome por serem movidos única e exclusivamente por eletricidade, seja esta fornecida por baterias, por células combustíveis, por supercapacitores, por placas fotovoltaicas (energia solar) ou pela própria rede elétrica, como os trólebus, por exemplo. Embora haja tantas possibilidades, a solução que tem sido mais adotada pelas montadoras é a de armazenar a energia em baterias. Existem vários tipos de baterias com potencial de aplicação em veículos elétricos, mas ainda não existe um padrão. Há basicamente quatro tipos que disputam o estabelecimento de um padrão para a indústria automobilística: as de chumbo-ácido, as de níquel-metal hidreto (NiMH), as de sódio e as de íon-lítio [8].

Ao contrário dos carros a combustão, veículos elétricos podem ter mais de um motor, não precisam de tanque de combustível nem de um sistema para exaustão de gases e, na grande maioria dos casos, a transmissão é bem mais simples do que nos veículos convencionais. Há arquiteturas em que um motor é instalado em cada uma das quatro rodas do automóvel, viabilizando a eliminação da transmissão e de suas perdas intrínsecas, bem como possibilita uma maior capacidade de regeneração durante a frenagem. A frenagem regenerativa é a capacidade que os veículos elétricos têm de transformar sua energia cinética em energia elétrica que é usada para recarregar parcialmente as baterias. Por uma questão de segurança, a utilização deste recurso não elimina a necessidade do sistema de freio convencional, contudo diminui significativamente seu desgaste [9].

Além dos motores elétricos e dos armazenadores de energia, um veículo elétrico também possui um inversor de frequência, um carregador que pode ou não estar embarcado, além de uma série de itens que garantem a segurança dos ocupantes já que, na maioria dos casos, a tensão de trabalho pode ultrapassar 600 volts [10]. Atualmente há poucos modelos puramente elétricos no mercado em relação à grande quantidade de modelos híbridos [8].

1.3. Propulsão híbrida

Os veículos híbridos são assim chamados por combinarem características das duas propulsões já expostas anteriormente: a convencional (com MCI) e a elétrica. Há uma grande diversidade de configurações existentes, mas o objetivo principal de todas elas é sempre o mesmo: aumentar a eficiência do MCI e, conseqüentemente, melhorar a eficiência total do veículo. Os veículos híbridos podem ser classificados de acordo com a configuração de seus componentes, isto é, se o MCI está diretamente conectado às rodas, ou de acordo com o tipo de missão para o qual o sistema foi projetado.

A classificação pela configuração possui três definições: configuração série, configuração paralela e configuração split. Na configuração série, a força de tração que chega às rodas é obtida através de um ou mais motores elétricos, alimentados pelas fontes de energia do veículo que podem ser desde baterias até um gerador acoplado diretamente ao MCI. Neste caso, não há nenhuma conexão mecânica entre o MCI e as rodas, ou seja, a transmissão deixa de ser necessária na maioria dos casos [11]. Ainda na configuração série, é possível manter o MCI operando em regime estacionário, com um torque e uma rotação que estejam na região de máxima eficiência no mapa de consumo do motor em questão. Na configuração paralela, há uma conexão direta do MCI às rodas do veículo, permitindo a transferência de energia mecânica tanto do MCI quanto do(s) motor(es) elétrico(s) para as rodas [12]. Nessa configuração, os veículos não precisam de um gerador dedicado, pois o próprio motor elétrico

pode ser usado como gerador para recarregar as baterias. Na configuração split, cada um dos eixos do veículo é alimentado através de uma fonte de energia diferente e, por esse motivo, muitas vezes é considerado como uma derivação da configuração paralela [11].

A classificação por missão, divide os veículos híbridos em três classes: híbridos moderados (“mild hybrids”), híbridos de potência (“power hybrids”) e híbridos de energia (“energy hybrids”). A classe de veículos híbridos moderados apresenta o menor custo adicional ao sistema de propulsão, com efeitos moderados de economia de combustível. O motor elétrico é semelhante a um motor de partida/alternador integrado, podendo ser acionado por correia ou montado diretamente no virabrequim do MCI. As baterias usualmente possuem tensão inferior a 60V e o nível de potência elétrica é da ordem de 5kW. Já na classe dos veículos híbridos de potência, a propulsão elétrica passa a ser mais significativa, bem como os custos com o sistema. A potência total do(s) motor(es) elétrico(s) é de 20 a 40kW, o que possibilita uma recuperação mais agressiva da energia de frenagem. Embora o sistema de baterias seja projetado para uma pequena capacidade de armazenamento de energia, ele é dimensionado para maiores níveis de potência. Por sua vez, a classe de veículos híbridos de energia emprega um sistema de baterias com alta capacidade de armazenamento de energia que pode movimentar o carro por mais de 100km somente com os motores elétricos, com níveis de potência de até 70kW [12]. Em alguns casos, pode-se optar por veículos híbridos plug-in que permitem que suas baterias sejam carregadas diretamente por meio de uma tomada. No híbrido tradicional, as baterias são carregadas apenas por meio do MCI e/ou pela energia proveniente da frenagem regenerativa. A possibilidade dos híbridos plug-in serem alimentados diretamente pela rede elétrica faz com que eles possam operar com quantidades significativamente menores de combustíveis, sejam eles fósseis ou renováveis.

A maior parte das estratégias de controle objetivam manter o MCI operando na região de máxima eficiência de seu mapa de consumo de combustível, com os motores elétricos entrando em ação nas demais situações. Com isso, a eficiência média do MCI que antes era de 20% no veículo convencional, agora pode atingir valores de até 32% [1]. A eficiência total do veículo pode atingir valores ainda maiores, dependendo da arquitetura adotada. Desta forma, os veículos híbridos conseguem aliar a eficiência dos veículos elétricos com a elevada autonomia dos automóveis convencionais, conquistando bons resultados em ambos os quesitos.

Com relação aos sistemas de armazenamento de energia de um veículo híbrido, além do tanque de combustível que alimenta o MCI, normalmente são utilizadas baterias de íons de lítio ou de NiMH, já que estas aceitam altos níveis de picos de potência associados à frenagem regenerativa e apresentam maior energia específica quando comparadas às baterias de chumbo-ácido, significando pacotes menos volumosos e mais leves [5]. As baterias de íons de lítio apresentam desempenho geral melhor em veículos de hibridização moderada, enquanto baterias de NiMH são mais adequadas para veículos de hibridização média ou alta [13].

Graças à utilização do MCI, a autonomia de um veículo híbrido acaba sendo maior do que a de um veículo elétrico puro, mesmo utilizando-se conjuntos de baterias de menor capacidade e peso [8]. As principais desvantagens dos sistemas híbridos são a redução de espaço e da carga útil, quando comparados com sistemas convencionais, além do aumento da complexidade e dos custos envolvidos, já que ambos os sistemas (convencional e elétrico) estão presentes em um mesmo carro [12].

1.4. Breve histórico dos VEHs no Brasil e no mundo

Desde o início, a história dos veículos elétricos está diretamente ligada ao desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de energia, ou seja, às baterias [14]. A invenção da conhecida bateria de chumbo-ácido, em 1859, viabilizou o surgimento dos primeiros automóveis movidos a eletricidade, no período de 1873 a 1881, antecedendo até mesmo a história dos veículos movidos a gasolina que nasceram em 1886, através de um projeto do alemão Karl Benz [15], [16].

Contudo, na época, os carros movidos a gasolina começaram a se destacar dos elétricos já que forneciam maior potência, autonomia e manutenibilidade [17]. A manutenção dos primeiros automóveis a gasolina, dada sua simplicidade, era realizada por profissionais especializados no conserto de bicicletas, ao contrário do que acontecia com os veículos elétricos que demandavam mecânicos que conhecessem o funcionamento de motores elétricos e das baterias que os equipavam. Desta forma, a propaganda boca a boca também teve um papel importante na difusão do uso de automóveis a combustão interna [18]. Em 1905 foi lançado o último veículo elétrico que obteve vendas expressivas [17].

Nos anos 70 a preocupação com o meio ambiente estimulou a retomada de pesquisas com veículos elétricos, porém mesmo com avanços tecnológicos em baterias e na eletrônica, a autonomia e desempenho ainda eram obstáculos a serem vencidos [17]. Somente no início da década de 90 é que foram lançados modelos de veículos elétricos que apresentavam aspectos técnicos e econômicos aceitáveis, mas mesmo assim não conseguiram conquistar uma parcela significativa do mercado. Entre os principais fatores apontados para o declínio dos carros elétricos destacam-se: o sistema de produção em série de automóveis, desenvolvido por Henry Ford, reduzindo drasticamente o preço dos carros a combustão; a invenção da partida elétrica, em 1912; o surgimento de rodovias que demandavam veículos capazes de percorrer distâncias mais longas; e as descobertas de petróleo no Texas que geraram redução expressiva no preço da gasolina [18].

O primeiro veículo híbrido de que se tem notícia data de 1916. Possuía configuração paralela e era conhecido como *Woods Gasoline-Electric*, porém apresentava um custo superior ao dos veículos elétricos e a combustão, resultando na venda de pouquíssimas unidades [11]. Ao contrário do objetivo atual de se reduzir o consumo e as emissões de gases, esse veículo utilizava os motores elétricos para auxiliar os motores de combustão interna a fornecer um desempenho aceitável [19]. No fim da década de 90, a indústria automobilística retomou o interesse em veículos híbridos que, após alguns anos, atingiram uma posição avançada em relação à produção em massa se comparado a qualquer veículo elétrico até a época [20]. Os avanços mais significativos de desenvolvimento e comercialização de veículos híbridos partiram dos fabricantes japoneses. A Toyota lançou o Prius no Japão em 1997 e, em 2000, levou-o para o mercado dos EUA, onde obteve um sucesso de vendas muito maior do que o esperado. Desde então, os veículos híbridos têm conquistado parcelas do mercado cada vez maiores [18].

No Brasil, a história dos veículos elétricos e híbridos é bem mais recente, merecendo destaque a iniciativa da Gurgel Motores que, em 1974, apresentou o projeto do Gurgel Itaipu. Este era um carro pequeno de uso exclusivamente urbano, fácil de dirigir e manobrar devido às suas dimensões reduzidas, usava baterias de chumbo-ácido que podiam ser recarregadas em qualquer tomada residencial de eletricidade e levava até dois passageiros. Com problemas de

durabilidade, baixa capacidade de armazenamento das baterias e elevado peso, o carro não conquistou seu mercado. Novamente, em 1980, a Gurgel lança mais um veículo elétrico: o Gurgel Itaipu E-400. Contudo a autonomia ainda era baixa, e o peso das baterias elevado, o que contribuiu mais uma vez para que o projeto não seguisse adiante. Desde então, foram poucas e tímidas as iniciativas para desenvolvimento de veículos híbridos e/ou elétricos no Brasil, predominando os projetos universitários de pesquisa, até 2004, quando foi celebrado um contrato de desenvolvimento de tecnologia entre a Itaipu Binacional e outras empresas (FIAT e Kraftwerke Oberhash – KWO). Nesse projeto, até 2013, já haviam sido produzidas quarenta unidades de Palio Weekend Elétrico que ainda são veículos conceito e, por custarem cinco vezes o preço da versão a combustão, é inviável comercialmente. A maior parte desses automóveis compõe a frota da usina atualmente [21], [22].

1.5. Programas governamentais para controle de emissões

Desde 1980, a legislação ambiental brasileira, através da Política Nacional do Meio Ambiente, atribui ao estado a tarefa de desenvolvimento sustentável através da promoção de políticas para melhorias na qualidade do ar, por exemplo, e normas de regulamentação [23]. A emissão de gases é comumente dividida em duas classes: gases de efeito estufa (principalmente CO_2 e CH_4) e poluentes regulados (CO , NO_x , hidrocarbonetos não-queimados, aldeídos e material particulado).

Para controlar a emissão de gases poluentes regulados na atmosfera, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) deu início ao Programas de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, que se divide entre o PROCONVE (automóveis) e o PROMOT (motocicletas), fixando prazos, limites máximos de emissão e estabelecendo exigências tecnológicas para veículos automotores, tanto nacionais quanto importados. Tais programas foram criados com base nas diretrizes das legislações vigentes na Europa [24]. Os resultados obtidos são expressivos. Em 2000, uma moto emitia 12 gramas de monóxido de carbono (CO) a cada quilômetro rodado enquanto um automóvel emitia 0,73 gramas para a mesma distância percorrida. Em 2006, esses resultados caíram para 2,3g CO/km no caso das motos e 0,33g CO/km no caso dos automóveis. Com a implementação do programa atingiu-se uma redução de 80% na emissão de monóxido de carbono e de 70% na emissão de hidrocarbonetos [25].

Podem-se citar ainda outros programas que visam, entre outras metas, a redução da emissão de gases, como o programa de incentivo Inovar-Auto que oferece incentivos fiscais às empresas que cumprirem as metas estabelecidas no período 2013-2017 [26]. É expressiva também a participação nacional no Projeto BEST (Bioetanol para o Transporte Sustentável), iniciativa da União Européia coordenada pela prefeitura de Estocolmo, na Suécia, que visa incentivar o uso do etanol em substituição à gasolina e ao diesel no transporte público do Brasil e do mundo [27]. A substituição de combustíveis fósseis por etanol pode gerar uma redução de cerca de 80% nas emissões de gases de efeito estufa, em especial de CO_2 .

Um outro processo que incentiva a redução de emissões de gases de efeito estufa é a comercialização de créditos de carbono, que são certificados emitidos por empresas que reduziram sua emissão dos gases de efeito estufa. Esse termo teve suas raízes com o Protocolo de Quioto, um tratado internacional com compromissos em prol da redução de gases agravantes do efeito estufa. No Protocolo de Quioto definiram-se as metas de redução das emissões que cada país deve apresentar. Alguns países conseguem reduzir suas emissões além do que lhes foi imposto, podendo assim comercializar essa cota na forma de créditos de

carbono. Outros países, contudo, não conseguem atingir as metas e acabam comprando esses créditos como forma de obter uma “permissão de emissão extra”. Para que uma empresa possa vender créditos de carbono, é necessário que um projeto para reduzir suas emissões seja desenvolvido e submetido à avaliação de órgãos internacionais. Caso o projeto seja aprovado, a cada tonelada de dióxido de carbono que deixe de ser emitido, a empresa ganha um crédito que pode ser negociado diretamente com outras instituições ou por meio da bolsa de valores, nacional ou internacionalmente. Na prática, isso corresponde a uma multa mais branda para poder emitir os gases de efeito estufa. O processo é considerado coerente por muitos especialistas, já que concede um benefício ao agente economizador e pune o agente que não atingiu a meta [28], [29]. Outros gases podem ser convertidos em créditos de carbono utilizando o conceito de carbono equivalente onde, por exemplo, uma tonelada de metano (CH₄) equivale a 21 toneladas de dióxido de carbono [30].

2. DESAFIOS PARA A INSERÇÃO E DIFUSÃO DE VEHS NO BRASIL

Na frota brasileira atual prevalecem os automóveis bicomustíveis, ou flex, e aqueles que são movidos exclusivamente a gasolina. A introdução de VEHs, especialmente de veículos puramente elétricos, requer investimentos em infraestrutura, tecnologia e é altamente dependente de incentivos governamentais. Durante este processo será preciso cobrar o empenho das montadoras e despertar o interesse dos consumidores, além de vencer as outras barreiras que são apresentadas abaixo.

2.1. Tributação

Automóveis que são energeticamente mais eficientes e menos poluidores tendem a obter redução ou isenção de impostos com o passar dos anos, fato que já ocorre na Europa em larga escala e no Brasil, de maneira tímida. Todas as forças em prol da criação de veículos elétricos e híbridos nacionais dos últimos anos acabaram sendo dificultadas pela atual tributação, elaborada quando esse tipo de tecnologia ainda era inexistente.

Hoje, de acordo com a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), os veículos elétricos se enquadram na categoria definida pelo código 8703.90.00 (Veículos automóveis, tratores, ciclos e outros veículos terrestres, suas partes e acessórios => Automóveis de passageiros e outros veículos automóveis principalmente concebidos para transporte de pessoas, incluídos os veículos de uso misto (“station wagons”) e os automóveis de corrida => Outros) [32]. Isso demonstra que não há uma classificação tributária específica que enquadre os veículos elétricos fazendo com que a alíquota do IPI aplicada sobre eles seja de 25% do seu valor total (alíquota máxima que pode ser aplicada a automóveis), percentual bem maior do que a alíquota média de 12% incidente sobre automóveis convencionais, com motor a combustão [23]. A alíquota do IPI para veículos convencionais com MCIs de até 1000cc já chegou a ser zero e hoje é de 7% [33].

Os impostos incidentes sobre VEHs acabam tornando seu valor final proibitivo já que além dos 25% de IPI citados, há incidência do ICMS (entre 18% e 19%), de tributações sobre contribuições sociais como PIS/COFINS (11,6% sobre o faturamento bruto) e, por final, é aplicado anualmente um imposto estadual sobre veículos automotores, o IPVA, que pode atingir uma taxa de até 4%, embora alguns estados brasileiros já tenham aprovado a isenção do IPVA para VEHs como forma de incentivo à sua utilização [23]. No caso de veículos

importados, há diversas outras despesas adicionais como a taxa de importação, taxas portuárias, honorários de despachantes, taxas de anuências junto a órgãos públicos e seguros.

Em vista disso, uma solução paliativa a curto prazo para viabilizar a inclusão desse tipo de veículo no mercado brasileiro seria a isenção ou redução significativa de todas as alíquotas citadas anteriormente, enquanto a indústria nacional não é capaz de suprir o mercado interno. Embora o atual estágio não seja favorável para a produção e tampouco para a importação de VEHs, essas tecnologias têm tomado novas proporções no Brasil, já que um grande grupo de incentivadores dos carros elétricos e híbridos vêm se organizando para defender sua utilização.

A redução ou isenção de impostos deve ser analisada com muita cautela, já que isso pode ter uma influência significativa no estímulo do mercado nacional e na balança comercial. A isenção dos impostos a longo prazo pode significar a importação de muitas unidades de VEHs, prejudicando a balança comercial do Brasil. Além disso, a isenção de impostos pode inviabilizar a produção nacional de VEHs, já que compensaria mais importar os modelos do que fabricá-los aqui. O que se faz necessário atualmente é a promoção da igualdade de competição de mercado entre VEHs e veículos convencionais, aplicando impostos que sejam justos para ambos. Hoje em dia os VEHs são prejudicados com as taxas que incidem sobre eles.

Uma solução plausível é proposta pelo Gruve (Grupo de Estudos sobre o veículo elétrico) e consiste na criação de uma tributação que seja diretamente proporcional ao consumo energético (MJ/km) e à emissão de dióxido carbono não renovável (gCO₂/km), com base num ciclo de teste veicular típico. Desta forma, os carros mais eficientes e menos poluidores pagariam menos impostos [23].

2.2. Ausência de políticas públicas de incentivo aos VEHs

Há, basicamente, cinco tipos de ações governamentais de incentivo aos VEHs, sendo elas: oferecimento de isenção ou descontos em tributos, bônus ou subsídio aos compradores de VEHs, adoção de restrições à utilização de veículos convencionais, auxílio na pesquisa e desenvolvimento e aportes financeiros para o desenvolvimento de infraestrutura. Contudo, até o momento, muito pouco se fez com relação a essas políticas públicas no Brasil [8]. Nos últimos anos, alguns políticos e representantes de montadoras que já produzem VEHs em outros países têm feito pressão para que sejam criados projetos de políticas públicas com o objetivo de inserir e difundir veículos elétricos e híbridos no Brasil. O corte gradual de tributos para VEHs e a criação de um centro de estudos que viabilize a produção local desses automóveis estão frequentemente em pauta e podem se tornar uma realidade nos próximos anos.

Países como Estados Unidos, Canadá, Reino Unido e China já têm programas avançados de incentivo no que tange a tributação, as pesquisas e infraestrutura. Para exemplificar, nos Estados Unidos há um bônus de US\$7.500,00 para o consumidor que comprar um VEH, podendo ser ampliado dependendo do estado. Os bônus de França e Alemanha são similares. Enquanto isso no Japão há subsídios da ordem de US\$10.000,00, na China podem atingir US\$8.800,00 e no Reino Unido £5.000,00. No âmbito da pesquisa, os Estados Unidos usaram recursos que atingiram mais de US\$2,4 bilhões para pesquisa e desenvolvimento de veículos e

baterias. Para a infraestrutura, países de menor extensão territorial como Israel e Japão já têm postos de recarga instalados por praticamente todo o território [8].

No Brasil, como auxílio às pesquisas, foi anunciado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), em março de 2010, a formação de uma rede temática de pesquisas para veículos elétricos nos moldes do Sistema Brasileiro de Tecnologia (Sibratec). Os investimentos para esse plano estão orçados em R\$10 milhões e seus objetivos são: desenvolver e aperfeiçoar as matérias-primas e processos de fabricação de componentes, modernizar o abastecimento, desenvolver sistemas embarcados para conversão de energia, aperfeiçoar motores elétricos e periféricos, e também o desenvolvimento dos demais sistemas do veículo como freios, transmissão e suspensão, mas com foco em VEHs desta vez [8]. Além disso, como benefício que já pode ser usufruído por proprietários de veículos elétricos, pode-se citar a isenção destes veículos no rodízio da Grande São Paulo:

“As proibições e limitações instituídas pelo Programa de Restrição à Circulação de Veículos Automotores na Região Metropolitana da Grande São Paulo (rodízio de veículos) não se aplicam a veículos elétricos - [inciso X do Art. 2 da Lei Estadual nº 9.690 de 02/Jun/1997 e inciso I do Art. 4 do Decreto Estadual 41.858 de 12/Jun/1997]”.

Na área de políticas públicas voltadas para incentivos fiscais, tem-se a isenção de IPVA sobre veículos elétricos em sete estados brasileiros (Ceará, Maranhão, Pernambuco, Piauí, Rio Grande Norte, Rio Grande do Sul e Sergipe) e alíquota diferenciada em outros três estados (Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo) [34].

Com relação à redução do IPI para VEHs, fez-se uma primeira tentativa em 2010, quando o Ministério da Fazenda elaborou um projeto para redução dessa alíquota, beneficiando veículos elétricos e híbridos. Contudo, minutos antes da apresentação desse projeto para a imprensa, o então presidente da república Luiz Inácio Lula da Silva cancelou o evento alegando que precisava de mais tempo para analisar a proposta [34]. Depois disso, nenhum progresso foi feito com relação à redução do IPI para VEHs e a comissão do governo federal para o programa do carro elétrico, ligada ao Ministério da Fazenda, não está mais ativa [35].

Desde então, diversos Projetos de Lei já foram colocados em pauta e alguns estão em tramitação, mas até o presente momento não foi tomada nenhuma decisão prática por parte do governo. Tomando como base os outros países onde a introdução de VEHs obteve sucesso no mercado, verifica-se que no início, quando o fator de escala produtivo é pequeno, é imprescindível o apoio governamental por meio de políticas públicas de incentivo para que essa nova tecnologia possa se desenvolver e atingir um preço competitivo de mercado. Ainda verificou-se que, mesmo depois da introdução desses veículos e o aumento de sua produção, os incentivos e apoios continuaram de modo a propiciar uma difusão ainda maior, além de estimular as montadoras a continuar investindo em pesquisa e desenvolvimento. Para viabilizar os VEHs no Brasil, portanto, é imprescindível que haja intervenção governamental no sentido de elaboração de políticas públicas, principalmente durante os primeiros anos até que a tecnologia amadureça e ganhe maior solidez.

2.3. Ausência de infraestrutura

Para atrair o interesse dos consumidores para os VEHs, em especial para os veículos puramente elétricos, será necessário um grande investimento em infraestrutura. O principal

receio dos consumidores para adquirir um veículo puramente elétrico reside no fato de este apresentar uma autonomia inferior aos veículos convencionais e híbridos, embora a autonomia encontrada nos veículos elétricos atualmente já atenda às necessidades de deslocamento da imensa maioria da população. Nos EUA, por exemplo, 80% da população satisfaz suas necessidades básicas deslocando-se por no máximo 50 milhas diariamente, distância esta facilmente atingida por um elétrico puro. Contudo, quando surge a necessidade de uma viagem mais longa, a autonomia passa a ser um fator de extrema desvantagem que se agrava ainda mais se postos de recarga não estiverem presentes ao longo do caminho [8].

Para se ter uma idéia em termos quantitativos da defasagem do Brasil em relação a outros países, há apenas 50 postos de recarga instalados em território nacional contra quase 5 mil carregadores que já foram instalados no Japão [36]. Além disso, um fato que agrava a atual situação do Brasil é o tamanho de sua malha viária, muito superior à encontrada em países europeus e no Japão, o que demandaria um número ainda maior de postos de recarga. Além disso, os brasileiros contam com um sistema de transporte público deficiente (metrô e ônibus, por exemplo), que os leva a optar, cada vez mais, pelos meios de transporte individuais.

O problema de falta de postos de recarga elétrica para atender as necessidades de locomoção dos proprietários de veículos elétricos não é um problema exclusivo do Brasil, já que também ocorre em menor escala em outros países que já contam com uma frota de VEHs (EUA e alguns países da Europa, por exemplo). Este é um dos fatores que justificam o maior sucesso dos veículos híbridos, já que estes podem usar a infraestrutura já existente para os veículos convencionais: postos de abastecimento de combustível, por exemplo. Muitos especialistas na área defendem que os veículos híbridos sejam uma tecnologia de transição entre os automóveis convencionais e os puramente elétricos, até que se tenha uma infraestrutura satisfatória de recarga em todo o território nacional.

Outro ponto que deve ser levado em conta ao se planejar a produção e comercialização de VEHs no Brasil é a formação de mão-de-obra qualificada. Desde engenheiros que trabalham na fase de concepção e projeto até profissionais em manutenção de automóveis devem estar aptos a trabalhar com os sistemas elétricos e mecânicos presentes nos VEHs, já que estes apresentam algumas características exclusivas que diferem totalmente dos veículos convencionais. Além disso, a indústria de autopeças e até mesmo as montadoras instaladas no Brasil teriam que investir no setor tecnológico e produtivo para se adequar às demandas específicas geradas pelos VEHs. Ressalta-se o fato de o país ainda não produzir baterias de lítio, cuja produção é dominada pelos asiáticos [37].

No que tange à capacidade da rede elétrica atual, caso 20% da frota fosse elétrica, o consumo de energia no Brasil cresceria 3%, o que não demandaria aumentos de capacidade na rede de distribuição. Neste caso, a infraestrutura já existente no Brasil seria suficiente para suprir as demandas energéticas dos VEHs [38].

2.4. Concorrência do etanol

As decisões tomadas pelos agentes públicos costumam influenciar de forma decisiva no sucesso ou fracasso de um negócio. O etanol, ao longo de seu desenvolvimento, foi amplamente beneficiado por políticas de incentivo do governo que alavancaram sua produção e comercialização. A criação do Proálcool em 1975, a garantia de paridade de preço do etanol

hidratado e da gasolina durante a segunda fase do Proálcool e a obrigatoriedade de se misturar etanol anidro à gasolina são alguns exemplos do protecionismo adotado pelo governo brasileiro neste caso [40].

Há no Brasil um grupo denominado Frente Parlamentar da Agropecuária (FPA), composto por 166 deputados e 11 senadores, que atuam em favor dos interesses dos proprietários rurais. A bancada ruralista, nome pelo qual a FPA também é conhecida, tem demonstrado uma expressiva articulação em prol das negociações que acham relevantes. Um dos setores que mais atraem a atenção da FPA é o sucroalcooleiro que, por sua vez, não quer enfrentar a concorrência de outras fontes de energia alternativa no Brasil [41]. Os interesses deste setor não se restringem apenas ao Brasil, já que em 2011 o setor se mobilizou e conseguiu derrubar os incentivos de mais de US\$ 6 bilhões do governo norte-americano para a produção de etanol a partir do milho, beneficiando as usinas brasileiras que tinham os produtores norte-americanos como seus principais concorrentes. No caso dos VEHs no Brasil, o temor do setor sucroalcooleiro é de que haja suspensão de investimentos no etanol, demissões em grande quantidade e a entrada de capital estrangeiro, que enfraqueceria os grupos nacionais [40]. A resistência imposta por este setor é apontada por especialistas como o principal fator que impede a implementação de políticas de incentivo para os veículos elétricos, em especial, já que no caso dos veículos híbridos há a possibilidade de se utilizar o etanol no MCI.

Contudo, esse desejo de manter o etanol como única fonte de energia renovável utilizada no setor de transportes não é exclusivo do setor sucroalcooleiro. Grandes montadoras já consolidadas no país, como forma de impedir que a abertura do mercado para veículos elétricos e híbridos possa viabilizar a vinda de empresas concorrentes para o Brasil, alegam que o etanol como combustível já garante vantagem do Brasil em relação aos demais países que investem em energia alternativa [40]. De fato, quando a discussão diz respeito às emissões de CO₂, o principal gás causador do efeito estufa, as montadoras não estão de todo erradas já que a simples substituição de combustíveis fósseis por etanol gera uma redução média de 80% nas emissões desse gás. Contudo, veículos movidos a etanol continuam emitindo outros gases de efeito estufa (CH₄, por exemplo) e poluentes regulados em quantidades significativas, ainda que sejam menores do que em veículos a gasolina [44].

Um dos argumentos dos defensores de carros movidos a etanol é de que a produção de etanol, considerando-se as emissões de todo o processo para produzir o combustível ou gerar eletricidade, traz maior redução nas emissões de CO₂ do que veículos elétricos a bateria ou híbridos e, com isso, carros a etanol teriam menor impacto ambiental do que carros puramente elétricos [45]. O erro desta afirmação reside no fato de as matrizes energéticas dos países serem extremamente diferentes. No caso do Brasil, conforme detalhado mais adiante, a matriz energética é altamente renovável já que a maior parte da energia elétrica consumida no país é gerada em usinas hidroelétricas, enquanto nos EUA e em países europeus, por exemplo, a eletricidade é gerada predominantemente a partir de carvão e gás natural. Desta forma, no Brasil, os carros elétricos emitem muito menos CO₂ do que veículos a etanol e não emitem poluentes regulados que são prejudiciais à saúde.

3. VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DE VEHS NO BRASIL

São apresentadas a seguir algumas das principais vantagens que podem ser obtidas através da utilização de VEHs no Brasil.

3.1. Matriz energética

A matriz energética de um país representa o total de energia disponível para ser empregada nas mais diversas atividades da sociedade, podendo ser proveniente de diferentes fontes, como usinas hidrelétricas ou combustíveis, por exemplo. Embora o Brasil seja o 7º maior consumidor de energia elétrica no mundo, o país encontra-se em situação favorável em relação a sua matriz energética, já que grande parte da energia consumida no país é proveniente de fontes renováveis [42]. No mundo, 86% da matriz energética primária é não renovável, apresentando uma grande dependência do petróleo. No Brasil, apenas 54% das fontes de energia primária não é renovável [34]. A Tabela 1 mostra a produção brasileira de energia primária em 2012, expondo todas as fontes que foram utilizadas para geração de energia. As unidades estão em tep (tonelada equivalente de petróleo), onde uma unidade de tep representa uma energia de 42GJ. Da Tabela 1, conclui-se que 46% da energia total brasileira é de fontes renováveis, sendo que 77% do total de fontes não renováveis é proveniente do petróleo.

Tabela 1 – Fontes produtivas de energia primária no Brasil [43].

| Não Renováveis** | | | | | Renováveis** | | | |
|------------------|-------------|--------------|--------------------|---|--------------------|--------|----------------------------|-------------------|
| Total: 138.989 | | | | | Total: 118.310 | | | |
| Petróleo | Gás Natural | Carvão Vapor | Carvão Metalúrgico | Urânio (U ₃ O ₈) | Energia Hidráulica | Lenha | Produtos de Cana-de-Açúcar | Outras Renováveis |
| 107.017 | 25.574 | 2.517 | 0 | 3.881 | 35.719 | 25.735 | 45.132 | 11.723 |

*Total de produção de energia primária brasileira em 2012: 257.299 x 10³ tep

**Unidade - 10³ tep

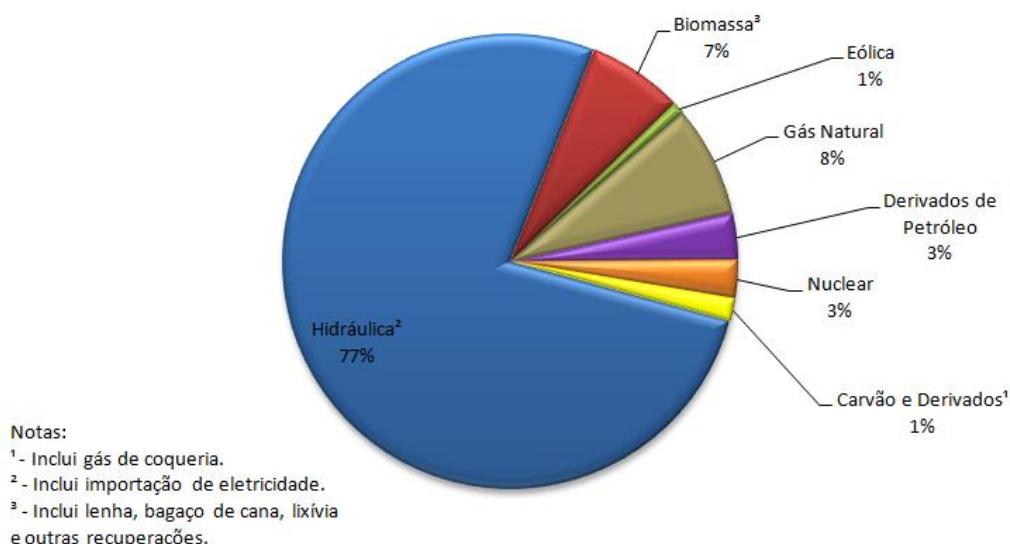


Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte no Brasil, em 2012 [43].

É importante salientar que as fontes primárias de energia não devem ser confundidas com as fontes de produção de energia elétrica, sendo esta responsável pela subtração de apenas uma parcela de toda a energia no país. Quando o assunto é geração de energia elétrica, o Brasil destaca-se ainda mais no cenário internacional, já que apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável onde a geração hidrúlica responde por 70,1% da oferta interna. Somando as importações de energia elétrica, que também têm como

predominância fontes renováveis, pode-se afirmar que, no Brasil, 85% da eletricidade é originada de fontes renováveis [43]. Na Figura 1, é mostrada a oferta interna de energia elétrica no Brasil, por fonte, em 2012, já considerando as importações de energia de países vizinhos.

De todo o consumo final brasileiro, o setor de transportes é responsável por uma parcela de 31,3%. O segmento rodoviário é o maior consumidor (28,7% do consumo total), sendo que aproximadamente metade (49,4%) dos veículos deste segmento utilizam gás natural, gasolina automotiva e/ou álcool etílico como combustível. Considerando que a frota de veículos elétricos, numa situação hipotética, substitua inteiramente os 49,4% dessa frota, deixando de fora a parcela que utiliza óleo diesel, seria possível atingir uma redução significativa sobre 14,2% do consumo final energético brasileiro, conforme ilustrado na Figura 2. Obviamente, esse é um cenário utópico. Contudo, mostra o potencial de redução no consumo de combustíveis fósseis e nas emissões de gases de efeito estufa e poluentes regulados do país, caso uma parcela da frota seja substituída por VEHs.

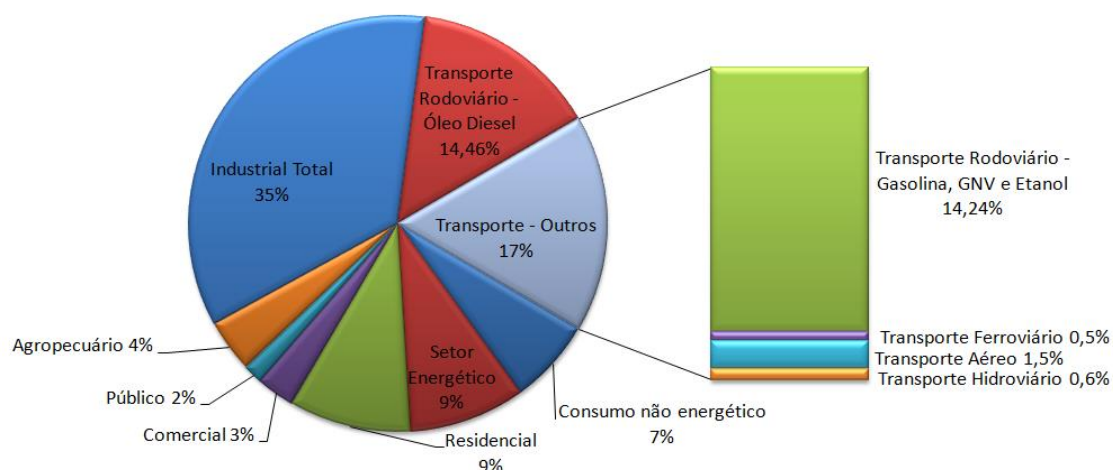


Figura 2 – Consumo final energético brasileiro por setor [43].

Essa parcela significativa deve ser alvo das ações que visam rebalancear a matriz energética de uma economia. Uma vantagem na utilização de VEHs é que estes proporcionam uma maior flexibilidade das fontes geradoras de energia elétrica, ou seja, eles permitem que haja mais liberdade na elaboração de estratégias para se definir as fontes primárias para a geração de energia elétrica, constituindo assim uma matriz mais vantajosa economicamente, mais eficiente e que causa menos impactos ao meio ambiente [8].

Como melhor aproveitamento das fontes primárias não renováveis, destaca-se a utilização de combustíveis na geração de energia elétrica em usinas termoeletricas (diesel e gás natural), já que estas podem utilizar a energia proveniente de combustíveis fósseis em geradores que operam em regime estacionário, no ponto de operação ótimo em termos de eficiência energética. Desta forma, é mais eficiente gerar energia elétrica com combustíveis fósseis para posteriormente carregar veículos elétricos do que simplesmente utilizar tais combustíveis diretamente em MCIs, que operam em regime transiente na maior parte do tempo, mostrando-se muito ineficientes [23]. Para quantificar, pode-se dizer que a eficiência de um motor elétrico é da ordem de 80% contra 15% de um MCI convencional [1]. Há possibilidade de queima dos produtos gerados durante o processo de obtenção do etanol (biomassa), aumentando assim a eficiência do ciclo da cana-de-açúcar [46].

Outro recurso que pode ser explorado com a utilização de veículos elétricos é a criação smart grids: redes inteligentes de distribuição de energia elétrica que fazem a comunicação em tempo real entre consumidores e produtores, permitindo dessa maneira o acompanhamento das taxas de consumo de energia da rede. Essa tecnologia permitiria que os automóveis elétricos funcionassem como buffers ou no-breaks da rede de distribuição, carregando suas baterias nas horas de baixa demanda e descarregando-as nos horários de pico [18]. Esse descarregamento poderia ser feito de duas maneiras: alimentando a própria residência do usuário ou devolvendo energia para a rede, de acordo com a demanda de energia. O uso de baterias como armazenamento ainda viabiliza a geração de energia elétrica em escala reduzida, com base em células fotovoltaicas, por exemplo, reduzindo também as perdas por transmissão [8].

Contudo, deve-se planejar muito bem como será feito esse controle de fluxo de energia elétrica, já que o smart grid pode gerar uma série de efeitos indesejáveis. Por exemplo, dependendo do valor da energia elétrica, deixar um MCI funcionando acoplado a um gerador enviando energia para a rede pode se tornar uma atividade rentável e isso estimularia alguns usuários de VEHS a “vender” energia para a rede, indo contra a idéia de utilizá-los para diminuir as emissões de gases e o consumo de combustíveis. Garantir que os carros elétricos não serão recarregados, em sua grande maioria, em horários de pico de demanda de energia elétrica é importante também, caso contrário, em vez de ajudar, os VEHS acabariam sobrecarregando a rede de fornecimento de energia elétrica.

3.2. Balança comercial

Entre todos os setores que consomem combustíveis fósseis, o setor de transportes, principalmente o rodoviário, é um dos mais importantes em todo o mundo. O consumo mundial de derivados de petróleo pelos diversos setores encontra-se na Figura 3 [47]. Por ser um dos principais consumidores de petróleo e representar uma das principais fontes geradoras de gases causadores do efeito estufa e de gases prejudiciais à saúde, o setor automotivo é um dos principais alvos das políticas energéticas e ambientais [8].

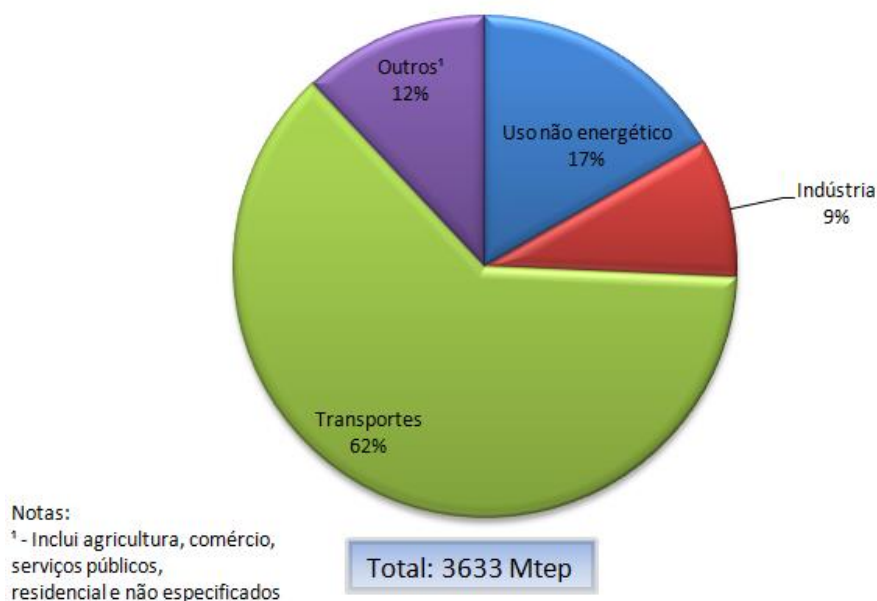


Figura 3 – Consumo mundial de derivados de petróleo por setor [47].

Os EUA, por exemplo, são os maiores consumidores de petróleo e derivados do mundo, ultrapassando 20 milhões de barris por dia (21,7% do consumo mundial). Apenas 33% deste consumo é produzido internamente, enquanto a maior parte é importada de nações politicamente instáveis como Iraque, Argélia e Angola. Em 2007, a importação de petróleo pelos EUA custou cerca de US\$300 bilhões e representou 40% do valor do déficit na balança comercial norte-americana. Visando diminuir a dependência externa deste recurso e o déficit de sua balança comercial, o governo norte-americano tem estimulado cada vez mais a produção de VEHs, já que uma frota repleta destes veículos demandará menores volumes de combustível [18].

Se o Brasil adotasse uma política similar à norte-americana e começasse a fazer investimentos objetivando a substituição parcial de sua frota atual por VEHs, seria possível diminuir o consumo interno de petróleo e de seus derivados. O volume excedente de petróleo produzido poderia facilmente ser exportado para outras nações, contribuindo para reduzir o déficit da balança comercial brasileira.

O Brasil é um dos maiores exportadores de veículos e o 4º maior produtor do mundo. Em 2013, foram exportados mais de 566 mil unidades de veículos leves que, traduzidos em termos monetários, representaram a entrada de US\$16,6 bilhões na economia brasileira (cerca de 6% do total de todas as exportações) [48], [49]. Nos EUA, Japão e em alguns países da Europa, a indústria automobilística é responsável por aproximadamente 20% das exportações de suas indústrias centrais, que constituem a base das suas inovações e de sua competitividade no mercado mundial. Não é à toa que esses países são responsáveis por quase 70% dos gastos globais em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e detêm mais de dois terços das patentes industriais [50]. Seguindo este pensamento, o Brasil poderia investir no desenvolvimento e produção de VEHs em território nacional para não apenas suprir a demanda interna, mas também para ampliar seu mercado externo e aumentar suas exportações no setor automobilístico.

Além dessas duas opções (exportação de petróleo e seus derivados e exportação de VEHs), há ainda a possibilidade de se vender os créditos de carbono advindos da substituição de parte da frota por veículos que emitem menos gases de efeito estufa. Se a fonte de energia que recarrega as baterias de um veículo puramente elétrico ou de um híbrido plug-in é renovável, a substituição da gasolina pode ser contabilizada como créditos de carbono. Para se ter uma idéia de valores, na cidade de São Paulo, se 6% da frota atual fosse substituída por veículos elétricos, se evitaria a emissão de aproximadamente 490 mil toneladas de CO₂ e a venda dos créditos de carbono representaria um ganho de mais de 6 milhões de reais, dependendo da cotação na bolsa de valores na data da transação [46].

3.3. Atenuação da poluição

A poluição do ar é um produto inerente de grandes centros urbanos e afeta diretamente a saúde e qualidade de vida dos habitantes dessas regiões. A emissão de gases nocivos está diretamente ligada ao transporte quando se fala em fontes móveis (carros, navios, aviões e trens), e à indústria e queimadas quando se fala em fontes fixas [23], [34]. Os principais agentes poluentes emitidos por essas fontes, que representam risco à saúde, são o monóxido de carbono (CO), os hidrocarbonetos (HC), os óxidos de nitrogênio (NO_x), os óxidos de enxofre SO_x), e as partículas inaláveis (MP10) [46]. Para se ter uma idéia, em termos

quantitativos, os veículos são responsáveis por 97% das emissões de CO, 77% de HC, 82% de NO_x, 36% de SO_x e 40% de material particulado. Os automóveis convencionais a gasolina são os maiores emissores de CO (47%) [51].

Os efeitos causados pelos poluentes podem estar associados a mudanças bioquímicas e fisiológicas do corpo humano, assim como episódios de alteração do sistema endócrino, sinusite, hipertensão, ardência nos olhos, estresse, escamação da pele, perda dos sentidos, dificuldade de respirar, bronquite e agravamento de doenças respiratórias e cardíacas. [52]. Além de problemas de saúde, existem os impactos ambientais como a chuva ácida, por exemplo, que surge da associação de moléculas de água com moléculas de dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre. O dióxido de carbono, por sua vez, é o principal gás causador do efeito estufa [34].

Além dos prejuízos já citados para a população, a poluição gera uma série de gastos públicos que visam remediar alguns dos danos causados por ela. Estudos realizados pelo Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental da USP levantaram quanto algumas das maiores regiões metropolitanas do país gastam em tratamentos de doenças associadas à má qualidade do ar. São Paulo lidera com US\$300 milhões, seguido pelo Rio de Janeiro com US\$250 milhões, Porto Alegre com US\$180 milhões, Belo Horizonte com US\$150 milhões, Curitiba com US\$140 milhões e Recife com US\$10 milhões. Juntas, essas cidades são responsáveis por um gasto anual de aproximadamente 1 bilhão de dólares, mostrando que além de ser um problema ambiental, a poluição atmosférica deve ser considerada como um problema de saúde pública que afeta milhares de pessoas por ano [23].

A introdução de VEHs na frota circulante atual afetaria direta e positivamente os problemas ocasionados pela poluição, pois estes têm emissões significativamente menores do que os veículos convencionais e podendo chegar a zero, no caso dos veículos puramente elétricos. Sendo assim, os VEHs não só trariam benefícios ao meio ambiente, à saúde e ao bem-estar da população, como também reduziriam os gastos públicos.

3.4. Crescimento da frota

Em 2013, a frota nacional circulante de veículos leves era de 37,9 milhões de unidades. Esses veículos estão concentrados, predominantemente, em cinco estados brasileiros que juntos somam 72% de todos os veículos leves que transitam no país. São Paulo possui uma participação de 37% do total, Minas Gerais, 10%, Rio de Janeiro, 9%, Rio Grande do Sul e Paraná representam juntos 16% da frota brasileira, sendo que cada um possui uma parcela de 8% [7].

De acordo com uma projeção realizada para o Brasil, em 2030, a frota nacional seria a quinta maior do mundo, atingindo 83,7 milhões de automóveis, e ficando atrás apenas de China (390 milhões), EUA (314 milhões), Índia (156 milhões) e Japão (86,6 milhões). Isso representaria um crescimento da ordem de 120% em 16 anos [18]. Com esse aumento expressivo no número de automóveis em território brasileiro, crescerá muito a demanda de energia (combustíveis) e o nível de emissões de gases poluentes e de efeito estufa pode atingir um nível insustentável. Desta forma, o uso da eletricidade no setor de transportes torna-se uma alternativa interessante aos combustíveis utilizados atualmente, tanto sob o ponto de vista estratégico quanto ambiental.

CONCLUSÃO

No presente trabalho, foram apresentados alguns dos principais desafios para a difusão dos VEHs no Brasil, bem como diversas vantagens que podem ser obtidas através de sua utilização. Em um cenário em que a frota de automóveis tende a atingir números cada vez maiores, faz-se necessário o emprego de novas tecnologias que permitam a utilização da energia de forma mais eficiente e menos poluente, possibilitando uma menor dependência dos combustíveis líquidos, já que corre-se o risco de a produção destes não acompanhar o crescimento da frota. Para tanto, a elaboração de políticas de incentivo aos VEHs e a incidência de cargas tributárias mais justas são essenciais.

O Brasil apresenta uma característica única em relação a diversos países que já apoiam o uso de VEHs, já que 85% de toda a energia elétrica consumida no país é proveniente de fontes renováveis. Além disso, o Brasil é um dos maiores produtores de etanol do mundo e detém o domínio da tecnologia de MCIs alimentados por este combustível. Contudo, a infraestrutura voltada para veículos puramente elétricos é muito pequena ou inexistente, o que pode indicar uma maior probabilidade de sucesso dos veículos híbridos. Essa tendência também pode ser observada mundialmente, onde estima-se que 90% dos VEHs em circulação são híbridos. Desta forma, um veículo híbrido plug-in que utilize um MCI otimizado para o etanol mostra-se como a melhor alternativa para o mercado brasileiro, no cenário atual. A escolha do veículo híbrido é justificada pelo fato destes combinarem as melhores características dos veículos convencionais e dos puramente elétricos (elevada eficiência energética, grande autonomia e um custo intermediário entre veículos convencionais e elétricos). A utilização do etanol causa uma redução expressiva nos níveis de emissões reguladas e, principalmente, de gases de efeito estufa (CO_2). A escolha da configuração plug-in permite uma maior exploração das fontes de energia elétrica brasileiras, altamente renováveis, além de possibilitar reduções expressivas de emissões nos centros de grandes cidades, já que sua autonomia elétrica seria suficiente para locomoção em trechos urbanos.

Caso uma solução deste tipo não seja adotada, há uma grande chance de se atingir uma situação insustentável em termos de poluição atmosférica e consumo de combustíveis, já que segundo estimativas, até 2030, a frota circulante brasileira de veículos leves crescerá cerca de 120%. Como nossa frota ainda não atingiu um nível de saturação e ainda apresenta um grande potencial de crescimento, o incentivo para utilização de VEHs no Brasil, em detrimento dos carros convencionais, traria benefícios estratégicos e ambientais efetivos mais rapidamente do que em países como os EUA, onde o número de carros da frota já atingiu um nível de estagnação. Portanto, em vez de ter que substituir a frota parcialmente por VEHs (processo longo e demorado que tem ocorrido nos EUA e que pode levar décadas), o Brasil já teria um crescimento de sua frota baseado nessa tecnologia, possibilitando a obtenção de resultados mais expressivos para a balança energética em um intervalo de tempo menor.

Embora os veículos híbridos se mostrem a solução atual mais viável para uma mobilidade individual mais sustentável, não podemos esquecer que esta solução não resolverá problemas de trânsito em grandes cidades, já que não terá influência no número total de carros em circulação. Além disso, o transporte individual não é uma forma tão eficaz de utilização de recursos energéticos quanto os meios de transporte coletivos. Portanto, o governo também não pode deixar de investir em meios eficientes de transporte coletivo.

Este trabalho abordou apenas a classe dos veículos leves, contudo a utilização de combustíveis fósseis e emissões de gases por veículos pesados (caminhões e ônibus, por exemplo) também devem ser alvos de políticas governamentais. A substituição de transporte rodoviário, sempre que possível, por modais mais eficientes (hidrovias e ferrovias, principalmente), com certeza, terão um papel tão importante para a balança energética e poluição quanto a utilização de VEHs.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Pesquisas Eldorado pelo apoio financeiro e por compreender as necessidades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GALLO, Waldyr. **Motores de combustão interna para os veículos elétricos híbridos**. Disponível em <http://www.abve.org.br/downloads/Waldyr-GalloVE-2013.pdf> Acesso em: 15/04/2014.
- [2] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA)l. **Carta nº 332**. Disponível em http://www.anfavea.com.br/cartas/Cart_a332.pdf Acesso em: 20/04/2014.
- [3] Alliance of Automobile Manufacturers; Marketplace Fuel Efficient Production; **450 unique models that achieve 30 MPG or higher highway fuel economy on sale today**. Disponível em <http://www.autoalliance.org/auto-marketplace/fuel-efficient-production> Acesso em: 20/04/2014.
- [4] International Energy Agency; **Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020**. 04/2013. Disponível em <http://www.iea.org/publications/globalevoutlook2013.pdf> Acesso em: 20/04/2014.
- [5] FERRAZ, Clayton; DONHA, Decio. **Sistemas Controlados de Propulsão de Veículos Automotores**. Volume 621 de Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.
- [6] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – (ANFAVEA). **Carta nº 334**. Disponível em http://www.anfavea.com.br/cartas/Cart_a334.pdf Acesso em: 10/05/2014.
- [7] Sindipeças – Sindicato Nacional da Indústria de Componentes para Veículos Automotores; **Relatório da Frota Circulante de 2013**. Disponível em <http://www.sindipecas.org.br/arquivos/RFCB2013.pdf> Acesso em: 15/05/2014.
- [8] CASTRO, Bernardo; FERREIRA, Tiago. **Veículos Elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades**. BNDES Setorial 32, p. 267-310, 2010.
- [9] Associação Brasileira de Veículos Elétricos - ABVE. **O que é frenagem regenerativa?** Disponível em <http://www.abve.org.br/PF/ExibePF.asp?codigo=0009> Acesso em: 10/05/2014.
- [10] STOFFELS, Bob. **Electric Vehicles**. OSP Magazine, July 2012. Disponível em <http://www.ospmag.com/issue/article/072012-Stoffels> Acesso em: 20/05/2014.
- [11] CORRÊA, Fernanda. **Desenvolvimento e Análise de Estratégias de Gerenciamento de Potência em Veículo Elétrico Híbrido de Configuração Paralela**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

- [12] FERRAZ, Clayton; DONHA, Decio. **Sistemas Controlados de Propulsão de Veículos Automotores**. Volume 621 de Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2006.
- [13] BALCH, R. C.; BURKE, A.; FRANK, A. A. **The affect of battery pack technology and size choices on hybrid electric vehicle performance and fuel economy**. IEEE, 2001. 7p. IEEE 0-7803-6545-3/01.
- [14] HOYER, K. G. **The history of Alternative Fuel in Transportation: The case of electric and Hybrid Cars**. Utilities Policy. Elsevier, 2008
- [15] SOUZA, Reynaldo Barros de. **Uma visão sobre o balanço de energia e desempenho em veículos híbridos**. Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- [16] ECKERMANN, Erik. **World History of the Automobile**. SAE – Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, EUA, 2010.
- [17] EHSANI, Mehrdad; GAO, Yimin; EMADI, Ali. **Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory and Design**. CRC Press, 2005.
- [18] BARAN, Renato; LEGEY, Luiz F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no Brasil**. BNDES Setorial 33, p. 207-224, 2010.
- [19] WAKEFIELD, E. H. **History of the Electric Automobile**. SAE - Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, EUA, 1994.
- [20] LARMINIE, James; LOWRY, John. **Electric vehicle technology explained**. Wiley Online Library, 2003.
- [21] COSTA, Washington da. **Metodologia para conversão de veículos equipados com motores a combustão interna para tração elétrica: aplicação de motor síncrono de ímã permanente com fluxo magnético radial a um furgão**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2009
- [22] GAZZONI, Marina. Itaipu vira celeiro de pesquisa de carros elétricos. Disponível em <http://economia.estadao.com.br/noticias/economia-geral,itaipu-vira-celeiro-de-pesquisa-de-carros-eletricos,173749,0.htm> Acesso em 20/05/2014.
- [23] DOMINGUES, José Marcos et al. **Tributação, políticas públicas e eficiência energética: caso do veículo elétrico**. Revista Tributária e de Finanças Públicas v.20 n.107, Revista dos Tribunais, São Paulo, 2012.
- [24] Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA. **Programas de controle de emissões veiculares**. Disponível em <http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/programa-proconve> Acesso em 20/05/2014.
- [25] Ministério do Meio Ambiente - MMA. **PROMOT – Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares**. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_arquivos/promot_163.pdf Acesso em 20/05/2014.
- [26] _____. **O Programa Inovar-Auto**. Disponível em: <http://inovarauto.com.br/o-inovar-auto/> Acesso em 20/05/2014.
- [27] MOREIRA, José Roberto et al. **Veículos elétricos híbridos e a emissão de poluentes**. XVII Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva, São Paulo, SP, 2009.

- [28] _____. **Protocolo de Kyoto**. Disponível em: <http://protocolo-de-kyoto.info/> Acesso em: 20/05/2014.
- [29] SATO, Paula. **Como funcionam os créditos de carbono**. Disponível em: <http://revistaescola.abril.com.br/ciencias/fundamentos/como-funcionam-creditos-carbono-471948.shtml> Acesso em: 20/05/2014.
- [30] Portal Brasil. **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/credito-carbono> Acesso em: 20/05/2014,
- [31] _____. **CO₂ equivalents**. Disponível em: http://www.climatechangeconnection.org/emissions/CO2_equivalents.htm Acesso em: 20/05/2014.
- [32] Receita Federal. **Nomenclatura Comum do Mercosul - NCM**. Disponível em <http://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/PesquisarNCM.jsp> Acesso em: 22/05/2014
- [33] Receita Federal. **Governo altera alíquota de IPI**. Disponível em http://www.receita.fazenda.gov.br/AutomaticoSRFsinot/2013/12/26/2013_12_26_10_46_58_388143782.html Acesso em: 22/05/2014
- [34] ROCHA, Luiz. **Carro Elétrico – Desafios para sua Inserção no Mercado Brasileiro de Automóveis**. Dissertação para obtenção do título de Especialista em Gestão e Tecnologias Ambientais. Escola Politécnica da USP, 2013.
- [35] OLMOS, Marina. **Carro elétrico avança no país mesmo sem ajuda oficial(12/09/2011)**. Disponível em <http://www.valor.com.br/empresas/1003312/carro-eletrico-avanca-no-pais-mesmo-sem-ajuda-oficial> Acesso em 22/05/2014.
- [36] Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE). **Estatísticas**. Disponível em <http://www.abve.org.br/estatisticas.asp> Acesso em 22/05/2014.
- [37] VELLOSO, João. **Brasil, novas oportunidades: economia verde, pré-sal, carro elétrico, Copa e Olimpíadas**. Rio de Janeiro: Editora José olympio, 2010
- [38] FILHO, Marcelo. **Análise de Viabilidade Mercadológica de Automóveis Elétricos Híbridos Plug-In no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso; Escola Politécnica da USP; 2009.
- [39] FARHART, Said. **Lobby – O que é. Como se faz: ética e transparência na representação junto a governos**. São Paulo; ABERJE; 2007.
- [40] ROCHA, Luiz. **Carro Elétrico – Desafios para sua Inserção no Mercado Brasileiro de Automóveis**. Dissertação para obtenção do título de Especialista em Gestão e Tecnologias Ambientais. Escola Politécnica da USP, 2013.
- [41] Câmara dos Deputados. **Frente Parlamentar da Agropecuária** . Disponível em: http://www.camara.gov.br/internet/deputado/Frente_Parlamentar/356.asp Acesso em: 22/05/2014
- [42] Nações Unidas no Brasil (ONU-BR). **Brasil é o sétimo maior consumidor de energia do mundo, diz Banco Mundial**. Disponível em: <http://www.onu.org.br/brasil-e-o-setimo-maior-consumidor-de-energia-do-mundo-diz-banco-mundial/> Acesso em: 22/05/2014
- [43] Balanço Energético Nacional (BEN). **Relatório Final - 2013**. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf Acesso em: 22/05/2014.

- [44] ALVIM, D. S. et al. **Determinação dos fatores de emissão de gases traços poluentes e a contribuição relativa de cada tipo de veículo/combustível na formação de ozônio na RMSP.** 51º Congresso Brasileiro de Química, 2011.
- [45] TOMANIK, Eduardo; UEHARA, Samantha. **O Futuro do Motor Flex no Brasil.** Engenharia Automotiva e Aeroespacial, Revista ano 14, nº 58, mar/abr de 2014.
- [46] PACCA, Sergio. **Veículos Elétricos: Uma Esperança Renovada de Ganhos Ambientais e Econômicos para Novos Investidores em Energias no Brasil.** 5º Seminário e Exposição de Veículos Elétricos, 2007.
- [47] International Energy Agency (IEA). **Key World Energy Statistics 2013.** Disponível em: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf> Acesso em 22/05/2014.
- [48] Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA). **Carta nº 335.** Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/cartas/Carta335.pdf> Acesso em 22/05/2014.
- [49] Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Balança Comercial Brasileira 2013.** Disponível em http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1388692200.pdf Acesso em 22/05/2014.
- [50] SANTOS, Gustavo; SANTOS, Bruno; MEDEIROS, Rodrigo; D'ARAUJO, Roberto. **Carro elétrico, a revolução geopolítica e econômica do século XXI e o desenvolvimento do Brasil.** Revista Oikos, Volume 8, nº2, Rio de Janeiro, 2009.
- [51] Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. **Emissões veiculares no estado de São Paulo em 2011.** Série Relatórios, CETESB, São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/documentos/Relatorio_de_Emissoes_Veiculares_no_Estado_de_Sao_Paulo_2011.pdf Acesso em: 20/05/2014.
- [52] GIODA, A.; GIODA, F. R. **A influência da qualidade do ar nas doenças respiratórias.** Revista Saúde e Ambiente, Joinville, SC, 2006.