



Mobilidade Elétrica

Relatório Técnico

Fevereiro de 2014

Índice

Introdução	1
1 – Perspectivas do Setor de Transportes	7
1.1 - Status Atual e Tendências do Setor de Transportes	7
1.2 – Mobilidade Elétrica: conceitos, obstáculos e políticas de incentivos	14
2 – Infraestruturas de Recarga de Veículos Elétricos	28
2.1 – Níveis de Recarga e as Necessidades Energéticas dos Veículos Elétricos	28
2.2 – Os Custos das Infraestruturas de Recarga	38
2.3 – Os Locais de Recarga	41
3 – Modelos de Negócios para a Mobilidade Elétrica.....	46
3.1 – Redes Nacionais de Recargas Elétricas.....	53
3.1.1 – O Caso Português.....	54
3.1.2 – O Modelo dos EUA.....	57
3.2 – Mobilidade Elétrica como um Serviço	61
3.2.1 – O Modelo Car-sharing da AutoLib na França.....	62
3.2.2 – O Sistema Quick-drop da Better Place.....	65
4 – Impactos sobre o Setor Elétrico	67
5 – Mobilidade Elétrica no Brasil	77
5.1 – Cenários para a mobilidade elétrica no Brasil.....	78
5.2 – Cenários regulatórios.....	83
Considerações Finais.....	87
Referências	91

Introdução

A mobilidade de pessoas e mercadorias de forma eficiente é um dos grandes desafios do mundo contemporâneo. Trata-se de um pré-requisito para a promoção do bem estar social e da competitividade econômica, com forte dependência do complexo setor energético e da existência de uma infraestrutura de qualidade para a circulação de veículos, assim como, de reabastecimento dos mesmos.

Na esfera energética, destaca-se que o setor de transportes responde por aproximadamente 20% da demanda por recursos primários de energia. Considerando que o consumo energético deste setor é, em escala mundial, quase inteiramente atendido a partir de derivados de petróleo, o resultado é que o setor de transporte é responsável por 25% das emissões de gases do efeito estufa do setor energético (IEA, 2012a). Em paralelo, o uso intensivo de combustíveis fósseis ocasiona uma expressiva quantidade de emissões de poluentes locais. Observa-se assim que a adoção de políticas que visem à mitigação das alterações climáticas e melhoria da qualidade do ar está diretamente associada a uma mudança do paradigma tecnológico vigente.

Concomitantemente, é possível constatar que a infraestrutura de transportes não vem crescendo em um ritmo compatível com o aumento do deslocamento de pessoas e mercadorias, sobretudo nos países em vias desenvolvimento, que concentram a maior parte deste aumento. A situação é agravada por se constatar que existe uma relação inequívoca entre crescimento da renda e venda de veículos leves em detrimento à promoção de transportes públicos e que em muitos casos existem equívocos das políticas públicas na escolha do modal de transporte a ser priorizado. Por exemplo, no Brasil o desenvolvimento da rede de transporte historicamente priorizou o modal rodoviário em vez do ferroviário. Desta forma, os congestionamentos de veículos, especialmente nos perímetros urbanos, são

crescentes e tendem a serem maiores nos países não pertencentes a OCDE. O resultado é que estes problemas acabam impactando negativamente a evolução do bem estar social e comprometem a produtividade econômica destes países.

A mudança do paradigma tecnológico e organizacional do setor de transportes é urgente, especialmente ao se considerar o aumento da demanda por mobilidade prospectado para as próximas décadas. É possível a identificação de uma tendência de eletrificação da frota de veículos associada à busca por veículos compactos com vistas a incitar um uso mais eficiente dos recursos energéticos e melhorias nas condições de mobilidade, sobretudo no perímetro urbano. Esta mudança tende a ocorrer em um contexto onde haverá uma crescente importância do conceito de mobilidade contínua que irá requerer uma maior conectividade entre diferentes tecnologias e infraestruturas.

Atualmente a alternativa por motores elétricos está concentrada essencialmente na frota de veículos leves, pois existem restrições a sua adoção em modais de transporte caracterizados por maiores distâncias percorridas e/ou com maiores consumos energéticos por km percorrido¹. Contudo, dado que o modal de veículos leves responde por quase metade do consumo de energia do setor de transportes, a disseminação de veículos elétricos neste modal é extremamente relevante para que haja uma redução da intensidade energética do setor de transportes e de suas emissões de gases do efeito estufa.

No caso específico do Brasil, a redução do crescimento da demanda por transportes e a adoção de políticas que incitem a maior utilização de modais mais eficientes são fundamentais para que o sistema de transporte seja minimamente sustentável nos próximos anos e décadas. Em paralelo, é importante enfatizar que a peculiaridade brasileira de ter uma frota de veículos leves com elevado consumo de etanol, devido ao grande número de veículos *flex fuel* em circulação e a política

¹ Apesar disso, já existem modelos de ônibus 100% elétricos em operação com autônias da ordem de 250 km. (BYD – www.byd.com/na/auto/electricbus.html).

energética de mistura de etanol à gasolina em proporção relativamente elevada, não torna a inserção de veículos com sistemas de propulsão alternativos no Brasil menos importante.

Esta assertiva tem como base o fato de que a redução da demanda por combustíveis líquidos é sempre uma medida promotora de eficiência energética e que não necessariamente prejudicará o consumo de etanol. Neste sentido, poderiam ser adotadas medidas que garantam a oferta de um volume de etanol capaz de fazer com que toda a redução do consumo de combustíveis líquidos se materialize através da redução do consumo de gasolina. Considerando que a matriz elétrica brasileira permanecerá tendo ampla participação de fontes renováveis, a conjugação de veículos elétricos com utilização em larga escala de etanol, permitirá que a frota brasileira de veículos leves tenha uma das menores emissões de gases do efeito estufa por quilômetro percorrido do mundo.

A disseminação de veículos elétricos irá causar impactos no setor elétrico, os quais representam novos desafios para a operação do sistema, mas também consistem em oportunidades para novos negócios. Tanto o consumo como a carga de energia elétrica irão ser influenciadas pela demanda destes veículos. Porém, a dimensão destes impactos, assim como as oportunidades de negócios que podem vir a se apresentar, será função do marco regulatório e das estratégias empresariais vigentes.

Por exemplo, na ausência de incentivos regulatórios, existiria uma tendência de abastecimento dos veículos a partir das 18 horas, que poderia resultar em um relevante aumento da demanda de ponta do sistema. Logo, haveria a necessidade de investimentos adicionais com vistas a garantir a segurança do suprimento do atendimento da ponta. Em contrapartida, a adoção de incentivos tarifários que incitem a recarga ao longo da noite e de infraestrutura inteligente (*smart grids*) que controlem o momento e a intensidade da carga, poderá contribuir para a redução

da capacidade ociosa do parque gerador atenuando a curva de carga e, por consequência, iria reduzir os custos do sistema.

Observa-se assim o caráter central da tipologia da infraestrutura da rede de abastecimento e do momento da recarga dos veículos elétricos na determinação dos impactos sobre o setor elétrico, especialmente no que se refere ao comportamento da carga do sistema.

O tipo de infraestrutura de abastecimento em conjunto com o modelo de negócios e o arcabouço regulatório adotados também é determinante dos custos indiretos da inserção de veículos elétricos e da atratividade deste nicho de negócios para as empresas do setor elétrico. A escolha desta infraestrutura deve considerar o tipo de veículos que estão sendo inseridos na frota e o comportamento típico dos usuários com vistas a garantir a segurança do abastecimento ao menor custo possível. Porém, também é preciso que exista atratividade econômica para as empresas do setor elétrico realizarem os investimentos requeridos.

De acordo com BORBA (2012), as tomadas residenciais estão aptas a realizar o carregamento de veículos híbridos elétricos *plug in*, considerando a autonomia tipicamente demandada pelos usuários para este tipo de veículo. Contudo, no caso dos veículos elétricos a bateria, é imperativa a construção de uma infraestrutura pública de carregamento que garanta maior autonomia a estes veículos e postos de recarga rápida que possibilitem viagens de longa distância².

Além da possível construção de estações de carregamento ou a adaptação de estacionamentos públicos para o recarregamento dos veículos, existem outras possibilidades de recarga dos veículos como a utilização de postes públicos e a implementação de postos de troca de baterias. É importante enfatizar que não se

² Como ilustração, o desenvolvimento da infraestrutura de recarga rápida vem recebendo uma atenção maior no Japão do que nos EUA. Isto é justificado pelo fato de existir no Japão uma prioridade aos veículos elétricos puros enquanto que nos EUA a frota de veículos elétricos está se expandindo essencialmente com base nos veículos híbridos elétricos *plug in*.

trata apenas da coexistência de diferentes alternativas de estruturas recarga como também de modelo de negócios. Desta forma, desde a venda do veículo sem bateria até soluções de mobilidade integrada, são diversas as possibilidades de modelos de negócios.

Cabe ressaltar, que não é meramente uma discussão acerca da construção de uma infraestrutura de carregamento de veículos elétricos. Em realidade, o conceito relevante é o de infraestrutura de integração de veículos elétricos com o objetivo de promover um sistema de transporte inteligente (HE *et al.*, 2012). Desta forma, a interface com a tecnologia da informação tornará possível o monitoramento dos veículos e do tráfego como um todo de forma a permitir a otimização da mobilidade de pessoas e mercadorias. Nestes termos, além de favorecer uma mudança tecnológica da indústria automobilística, essas iniciativas pretendem monitorar o comportamento de recarga dos consumidores, a fim de otimizar a futura integração das estruturas de recarga e sua conexão à rede elétrica.

No longo prazo, a inserção em larga escala de veículos elétricos, associada à difusão de redes inteligentes, cria possibilidade para que os veículos possam deixar de ser meros consumidores de energia e passem a também ser ofertantes. Este sistema é denominado *vehicle to grid* (V2G) e pode contribuir de forma relevante para a inserção em larga escala de fontes renováveis e intermitentes na matriz elétrica. Explica-se: estes veículos podem assumir a função de geradores distribuídos. Como tendem a permanecer a maior parte do tempo parados, suas baterias podem ser utilizadas para armazenar energia gerada a partir de fontes intermitentes e serem utilizadas posteriormente. Porém, a emergência do sistema V2G está condicionada ao desenvolvimento em paralelo das redes inteligentes, pois a oportunidade e possibilidade de trocas bidirecionais de energia entre as empresas de distribuição de energia elétrica e o consumidor final só será possível com a introdução dessas novas tecnologias.

Portanto, dadas as incertezas em relação à velocidade da penetração de veículos elétricos no Brasil e os reais impactos sobre a infraestrutura das concessionárias de distribuição e dos modelos de negócio possíveis e mais eficientes, o objetivo deste relatório é fazer um estudo prospectivo dos tipos de infraestrutura de abastecimento de veículos elétricos e de modelos de negócios mais apropriados a serem implementados no Brasil com vistas a possibilitar que as tecnologias de mobilidade elétrica se realizem no Brasil.

O relatório está dividido em 5 seções. A primeira seção examina a situação geral do setor de transportes e apresenta as tendências de mudanças tecnológicas e organizacionais do setor. Esta seção reúne argumentos suficientes para concluir-se que a mobilidade elétrica será algo extremamente relevante nas próximas décadas e apresenta as principais características dos veículos elétricos. Em seguida, a Seção 2 examina os diferentes tipos de infraestrutura de recarga disponíveis enquanto a Seção 3 analisa os modelos de negócios. Já a Seção 4 discorre acerca dos impactos sobre o setor elétrico da disseminação de veículos elétricos com especial atenção nas consequências para o sistema elétrico da introdução do *vehicle to grid* (V2G) e como este novo paradigma tecnológico pode contribuir para a inserção de fontes renováveis e intermitentes na matriz em larga escala. Por fim, a Seção 5 é dedicada a uma análise das perspectivas de inserção de veículos elétricos na frota de veículos leves brasileira e os possíveis cenários regulatórios a serem adotados.

1 – Perspectivas do Setor de Transportes

Vislumbra-se que no horizonte dos próximos 20 anos, mudanças nos sistemas de propulsão dos veículos com vistas a tornar os mesmos mais eficientes estarão diretamente associadas à adoção de motores elétricos a serem alimentados por energia da rede elétrica. Verifica-se que diversos países vêm adotando medidas de incentivos a este tipo de veículo. Neste sentido, é preciso o exame das tecnologias de veículos elétricos existentes, dos nichos de mercados mais promissores e das políticas de incentivos que vêm sendo implementadas para incitar o desenvolvimento da mobilidade elétrica.

1.1 - Status Atual e Tendências do Setor de Transportes

O setor de transportes mundial é caracterizado pela predominância do modal rodoviário. No âmbito da mobilidade de pessoas, esta predominância ainda está associada a uma excessiva participação de veículos individuais. Em paralelo, o transporte de cargas é em grande parte realizado por meio de rodovias em detrimento a utilização de modais mais eficientes, como é o caso do uso de ferrovias e de hidrovias.

Um relevante corolário das características organizacionais vigentes no setor de transporte é a crescente deterioração nas condições de mobilidade de pessoas e mercadorias, sobretudo nos grandes perímetros urbanos, que resulta em perda de bem estar social com as pessoas passando parte do dia presas em congestionamentos e compromete a produtividade da economia. Tal situação é especialmente crítica nos países em vias de desenvolvimento, onde a infraestrutura viária de circulação de veículos não vem se expandindo em um ritmo condizente o crescimento da frota de veículos.

Conforme BARAN (2012), os meios de transportes possuem um caráter de essencialidade, na medida em que possibilitam a expansão dos mercados e

integram áreas rurais. Logo, a existência de um sistema de transportes eficientes é extremamente relevante para a melhoria das condições sócio-econômicas de um país em vias de desenvolvimento.

No caso brasileiro, é bastante expressiva a predominância do modal rodoviário, sendo restrita a extensão da malha ferroviária, a qual possui qualidade precária. Isso ajuda a compreender porque menos de um terço do transporte de mercadorias ocorre através do modal ferroviário. Porém, também se verifica precariedade nas condições de grande parte das rodovias brasileiras. Esta má qualidade da infraestrutura rodoviária conjugada com um sistema de transporte público deficiente³ acaba por contribuir para aumentar o tempo médio gasto em engarrafamentos nas grandes cidades⁴. Em síntese, é possível afirmar que o modelo de transportes brasileiros é um fator que dificulta o desenvolvimento sócio econômico do país e reduz o bem estar social.

Concomitantemente, é preciso reter especial atenção ao fato que o setor de transportes atende mais de 90% de suas demandas energéticas a partir de derivados do petróleo, tendo sido consumidos 46 milhões de barris de petróleo por dia em 2011⁵. Considerando que o setor de transportes responde por um quinto da demanda total por recursos primários de energia e mais de metade do consumo mundial de petróleo, é compreensível porque o mesmo responde por um quarto das emissões de gases do efeito estufa (IEA, 20012a; IEA 2012b). Este uso em larga escala de combustíveis fósseis também resulta em uma deterioração da qualidade do ar resultante da emissão de poluentes locais⁶. Logo, é perceptível que a matriz energética atual do setor de transportes é incompatível com a

³ A ineficiência dos transportes públicos acaba por incitar um maior uso de veículos individuais.

⁴ Estimativas indicam que 25% da população do Rio de Janeiro e de São Paulo passam mais de 1 hora por dia no trânsito.

⁵ A preponderância do petróleo é função de sua elevada densidade energética e sua competitividade em custos quando comparado a combustíveis alternativos na grande maioria dos casos.

⁶ Veículos a diesel emitem NO_x, S e material particulado enquanto que veículos a gasolina emitem compostos orgânicos voláteis e CO.

necessidade de se mitigar os impactos ambientais oriundos da produção e do consumo de energia.

Além disso, este uso intensivo de petróleo é uma fonte de insegurança energética para países e regiões que possuem forte dependência da importação de petróleo. Explica-se: a garantia da oferta de derivados de petróleo requer a estruturação de toda uma logística de importação, a qual em muitos casos está sujeita a instabilidades geopolíticas de regiões produtoras. Por sua vez, volatilidade do preço internacional do petróleo apresenta impactos sobre a estrutura de custos da oferta energética.

O exame prospectivo do setor de transportes indica um aumento de 50 e 80%, respectivamente, para a mobilidade de pessoas⁷ e de carga até 2050 em função da conjugação do crescimento da população (especialmente da urbana) com expansão da atividade.

Com base nos padrões atuais, a demanda por energia do setor de transportes crescerá a uma taxa anual média de 1,3% até 2035 em função do crescimento da demanda por energia nos países não pertencentes a OCDE, a qual deverá dobrar no período. Observa-se assim que todo o aumento da demanda por petróleo projetada para o período seria oriunda do setor de transportes⁸. Este aumento do consumo de derivados de petróleo seria derivado essencialmente da duplicação da frota de veículos leves entre 2010 e 2035⁹ e do elevado crescimento do

⁷ Crescimento baseado em valores per-capita que apontam para um crescimento da mobilidade de pessoas de 6.000 km por ano por pessoa para 9.000 km entre 2005 e 2050. Em valores absolutos, isto significa que a mobilidade total de pessoas irá aumentar de 40 trilhões de km anuais para 80 trilhões de km anuais no período.

⁸ De acordo com IEA (2012b), a demanda total por petróleo aumentaria de 84 milhões de barris por dia para 97 milhões de barris diários em 2035, sendo que o consumo de petróleo do setor de transportes aumentaria de 46 milhões barris diários verificados em 2010 para 60 milhões em 2035. Logo, a participação do setor de transportes no consumo total aumentaria dos aproximadamente 50% atuais para 60% em 2035.

⁹ A frota de veículos leves totalizaria 1,7 bilhões de veículos em 2035.

transporte de cargas rodoviário¹⁰. Embora o modal rodoviário permaneça com uma participação de aproximadamente 70%, também é preciso reter atenção ao crescimento do consumo de energia no transporte aéreo e marítimo¹¹ (IEA, 2012b).

Um relevante corolário da expansão do sistema de transporte mantendo uma oferta de energia quase que inteiramente composta por derivados do petróleo é que o setor passaria a responder por metade das emissões de gases do efeito estufa em 2030, podendo chegar a 80% em 2050 (IEA, 2009).

Em um contexto onde a mitigação das alterações climática se apresenta como imperativa, esta tendência não parece pertinente, muito menos desejável. Soma-se a isso a questão da mobilidade propriamente dita, na qual o modelo de transportes atual, que prioriza veículos individuais, pode ser considerado inadequado e é possível concluir que é preciso uma grande reformulação nos padrões do sistema de transportes. Portanto, a mudança do paradigma tecnológico do setor de transportes é urgente.

Cabe enfatizar que a mudança do paradigma tecnológico do setor de transportes é uma condição necessária para que haja uma redução do consumo de derivados de petróleo e, por consequência, de emissão de gases do efeito estufa. Porém, não é uma condição suficiente. Além disso, esta mudança tecnológica não é capaz de promover uma melhoria das condições de mobilidade, sobretudo de pessoas no perímetro urbano. Desta forma, será preciso a adoção de medidas com vistas a priorização de modais de transporte mais eficientes e de práticas de “mobilidade virtual” que reduzam a necessidade de deslocamentos físicos.

¹⁰ Com um consumo de aproximadamente 18 milhões de barris de petróleo por dia, a demanda do transporte de cargas rodoviário em 2035 seria equivalente ao atual consumo da frota de veículos leves.

¹¹ No caso da aviação, projeta-se que seu consumo energético irá triplicar nos próximos 40 anos. Desta forma, a participação do modal de aviação no total de energia consumido pelo setor de transportes aumentaria dos 11% registrados em 2011 para 19% em 2050. Já o transporte marítimo registraria um crescimento no consumo de energia de 60% entre 2005 e 2050 (IEA, 2009).

No âmbito do transporte de pessoas, práticas como *home working*, teleconferências, e o desenvolvimento de ciclovias que incentivem a mobilidade a bicicleta e a pé deverão ser intensificadas nas próximas décadas objetivando a redução do tráfego motorizado de pessoas. Em paralelo, a adoção de medidas que incitem iniciativas como o *car sharing* e o *car pooling* associada a investimentos na melhoria do transporte público, incluindo o desenvolvimento de sistemas do tipo *bus rapid transit* (BRT) e trens de alta velocidade, são vitais para que o sistema de transportes seja mais eficiente e apresente uma menor intensidade energética. Como ilustração, IEA (2014) relata que os sistemas de BRT estão ganhando cada vez mais espaço. Este tipo de transporte público já está presente em mais de 200 cidades localizadas em 48 países, ocupando o Brasil posição de destaque por ser o país com o maior número de cidades utilizando este serviço.

Segundo IEA (2009), a adoção de políticas que incitem uma maior utilização de modais mais eficientes é essencial porque a tendência natural de atendimento da demanda por mobilidade de pessoas é através de um grande crescimento do uso de veículos individuais e do transporte aéreo enquanto que o ritmo de crescimento dos transportes de massa seria menor. A adoção das medidas listadas no parágrafo anterior faria com que não ocorresse este aumento da participação dos modais de veículos leves e aéreo no transporte de pessoas. O estudo estima que tais políticas poderiam reduzir em 25% os deslocamentos através de veículos leves e aéreos projetados para 2050 e em 20% do consumo energético estimado para 2050.

Em contrapartida, no transporte de cargas é essencial que haja a intervenção por parte dos governos com o objetivo de garantir a realização de investimentos na expansão da infraestrutura do transporte ferroviário. Embora exista um potencial de melhoria da eficiência energética de caminhões e de trens, o modal ferroviário

é por definição mais eficiente¹², logo justifica-se este tipo de política (IE, 2012a). Este tipo de estratégia permitiria uma redução de 15% da demanda de energia para deslocamento terrestre de cargas estimada para 2050¹³ (IEA, 2009).

No nível tecnológico¹⁴, dado que a frota de veículos leves é responsável pela maior parte da demanda de recursos energéticos do setor de transportes, modificações no paradigma energético deste modal possuem um caráter prioritário. No curto prazo, é perfeitamente factível a adoção de inovações incrementais em bases competitivas de custos nos tradicionais veículos de combustão interna, como, por exemplo, redução do atrito no motor, comando variável de válvula, injeção direta do combustível, melhorias na aerodinâmica, redução do peso dos veículos, melhorias nos sistemas de transmissão, pneus

¹² Como ilustração, o transporte através de caminhões e trens totalizou 27% de todo o consumo de energia do setor de transportes em 2006, sendo a frota de caminhões responsável por mais de 90% deste consumo. Porém, menos de metade do transporte terrestre de cargas ocorre por meio de caminhões. Esta discrepância ocorre pelo fato da intensidade energética do transporte rodoviário ser em torno da décima parte da intensidade do transporte rodoviário (IEA, 2009).

¹³ Com base no suposto que metade do crescimento do deslocamento de cargas via caminhões seja atendida pelo modal rodoviário, o qual teria um acréscimo de 20% do seu volume de carga transportado globalmente em 2050.

¹⁴ Além de mudanças tecnológicas, considerando que a mitigação das emissões de gases do efeito estufa é um dos objetivos essenciais da transformação do setor energético, é preciso se considerar a possibilidade de utilização em larga escala de combustíveis alternativos, leia-se biocombustíveis, com vistas à redução da emissão de poluentes. A produção de etanol em 2011 totalizou 85 bilhões de litros, estando seu consumo concentrado nos EUA e no Brasil. Este volume representa apenas 5% do consumo energético total da frota mundial de veículos leves. Em realidade, enquanto o Brasil utiliza etanol diretamente como combustível veicular, o caso comum é a sua utilização misturado à gasolina em percentuais entre 5 e 10% e é possível se afirmar que a demanda mundial por etanol permanecerá atrelada à mandatos de mistura (DANTAS, 2013). Por sua vez, a produção de biodiesel para uso em veículos Ciclo Diesel (ônibus e caminhões) é apenas um quarto da produção de etanol. A expansão em larga escala da produção mundial destes biocombustíveis não é uma hipótese plausível pois a necessidade de grandes extensões de terra representariam uma possível ameaça à segurança alimentar (RATHMANN *et al.*, 2010). Além disso, existem questionamentos sobre a eficácia de alguns biocombustíveis na redução da emissão de gases do efeito estufa (IEA, 2008; IEA, 2011). Desta forma, a expansão da produção de biocombustíveis requer o desenvolvimento e a disseminação de biocombustíveis avançados. Contudo, os mesmos, assim como outros combustíveis alternativos (*coal to liquids* e *gas to liquids*) ainda

apresentam desafios tecnológicos e, sobretudo, possuem custos elevados. Portanto, biocombustíveis são parte da solução do desafio de modificação do setor de transportes, mas não são um elemento central.

verdes entre outras, que permitiria uma redução relevante no consumo da frota de veículos leves¹⁵ (HEYWOOD, 2008; BANDIVADEKAR *et al.*, 2008; SMITH, 2010).

A realização de aprimoramentos nos motores de combustão interna, mecânica e design também será vital no segmento de ônibus e caminhões com vistas à melhoria da eficiência energética destes veículos¹⁶. Especificamente no caso de caminhões médios e pesados, IEA (2012a) destaca que existe um enorme potencial para redução do consumo de energia devido ao fato que até o momento poucos países adotaram legislações relativas ao padrão de consumo energético de caminhões.

Entretanto, a magnitude do desafio do setor de transportes exige uma efetiva difusão de veículos que utilizem outros sistemas de propulsão e este processo deverá ocorrer a partir da década de 2020¹⁷. Neste sentido, mesmo que ainda tenha caráter discreto, nos últimos anos já vem ocorrendo a inserção de veículos híbridos elétricos na frota mundial de veículos¹⁸. Estes representam o início do processo de inovação e difusão tecnológica que também inclui veículos híbridos elétricos *plug in*¹⁹ e veículos elétricos a bateria²⁰.

¹⁵ Inovações nos veículos de combustão interna seriam capazes de reduzir em torno de 30% o consumo energético dos mesmos (IEA, 2009). Porém, esta redução do consumo tende a ser atenuada pela tendência do aumento da participação de veículos maiores na frota dos países em vias de desenvolvimento.

¹⁶ Tendência semelhante deverá ocorrer na aviação onde, apesar de existirem experimentos para utilização de biocombustíveis, a redução de gases do efeito estufa do setor está associada a um uso mais eficiente de energia. Destaca-se que as aeronaves novas apresentam uma eficiência até 30% maior que aquela verificada em aviões antigos. Dado que a participação de aeronaves antigas na frota de regiões como a América do Norte e a África é elevada, a modernização da frota de aviões é uma estratégia vital para se atenuar o crescimento da demanda energética deste modal. No que concerne à navegação marítima, não apenas inovações tecnológicas ao nível das embarcações tendem a ser adotadas, como também técnicas disponíveis para otimizar a operação da frota como um todo. O conjunto destas medidas poderia reduzir a intensidade energética deste modal em até 50% (IEA, 2012a).

¹⁷ No segmento de veículos de 2 rodas também haverá uma tendência de eletrificação, a qual é especialmente relevante em países asiáticos onde o uso de moto é um relevante meio de locomoção de pessoas.

¹⁸ A conjugação das inovações mencionadas no parágrafo anterior como sistemas híbridos permite uma redução da ordem de 40% no consumo de combustível em relação aos padrões atuais.

¹⁹ Os veículos híbridos elétricos *plug in* podem ser visto como um estágio intermediário da transição de veículos movidos à combustão interna para veículos puramente elétricos. Por serem dotados de um motor a combustão interna, os mesmos não têm a autonomia limitada pela capacidade de armazenar energia da bateria. Por outro lado, podem ser abastecidos a partir da rede elétrica. Logo, contrastam com os veículos híbridos elétricos que só carregam a bateria com o motor a combustão interna em operação.

Desta forma, é possível afirmar que no horizonte dos próximos 20 anos, mudanças nos sistemas de propulsão dos veículos com vistas a tornar os mesmos mais eficientes estarão diretamente associadas à adoção de motores elétricos a serem alimentados por energia da rede elétrica. Verifica-se que diversos países vêm adotando medidas de incentivos a este tipo de veículo. Neste sentido, é preciso o exame das tecnologias de veículos elétricos existentes, dos nichos de mercados mais promissores e das políticas de incentivos que vêm sendo implementadas para incitar o desenvolvimento da mobilidade elétrica.

1.2 – Mobilidade Elétrica: conceitos, obstáculos e políticas de incentivos

O aumento da participação da eletricidade no atendimento das necessidades energéticas do setor de transporte visa reduzir as emissões de poluentes e a melhoria da segurança do suprimento na medida em que reduz a dependência do setor em relação ao consumo de petróleo. No modal ferroviário, a opção por alternativas elétricas não consiste em uma novidade. Por exemplo, sistemas de metrô são utilizados desde o início do Século XX. Mesmo tecnologias como os veículos leves sobre trilhos (VLT), são tecnologias maduras e eventuais inovações terão caráter incremental e, desta forma, não representariam a emergência de uma nova tecnologia. Em contrapartida, no transporte rodoviário, a inserção de veículos elétricos na frota representa uma importante alteração do paradigma tecnológico vigente.

Segundo IEA (2011), veículos elétricos estocam energia em baterias com vistas à utilização da mesma em motores elétricos para a propulsão dos veículos. Esta energia pode ser oriunda do sistema elétrico e/ou da frenagem regenerativa. Em comparação com o motor a combustão interna, os motores elétricos são muito

²⁰ Os veículos a célula combustível, movidos a hidrogênio, são uma alternativa tecnológica de mais longo prazo, a qual possivelmente estaria presente na frota de veículos somente partir de meados da década de 2040. Esta alternativa tecnológica deve ser mais relevante para veículos de maior porte e/ou que requeiram maior autonomia, determinando maior nível de consumo.

mais eficientes. Neste sentido, é possível compreender a importância destes veículos para a redução das emissões de gases do efeito estufa, sobretudo quando a energia fornecida pela rede advém de fontes com reduzida intensidade em carbono.

A retomada do interesse nos veículos elétricos remete a segunda metade da década de 1990, sendo o lançamento do veículo híbrido elétrico (HEV – Hybrid Electric Vehicle) Toyota Prius em 1997 um símbolo desta retomada. Um veículo se caracteriza como um HEV quando sua propulsão é realizada pela conjugação de um motor a combustão interna com um motor elétrico²¹ (BORBA, 2012). Logo, nota-se que são veículos que demandam baterias com menor capacidade de armazenagem de energia²² em relação a veículos movidos exclusivamente pelo motor elétrico. Nestes veículos, a parte elétrica atua tanto como motor, quanto como gerador ao recuperar a energia cinética oriunda das frenagens do veículo (FRIEDMAN, 2003). Em realidade, a grande vantagem destes veículos é permitir que o motor de combustão interna opere em sua fração ótima pois o motor elétrico opera justamente nos momentos em que se requer baixas rotações. Desta forma, esta tecnologia permite uma maior eficiência e menor consumo de combustível por parte do veículo, especialmente no tráfego urbano²³.

Segundo SMITH (2010), os veículos híbridos elétricos plug-in (PHEV) possuem uma composição básica similar aos HEV. A diferença advém da presença de um carregador que permite o abastecimento da bateria a partir da rede elétrica. BARAN (2012) ressalta que tais veículos utilizam baterias com maior

²¹ Existem 3 configurações possíveis para os HEV. No sistema híbrido em série, o motor de combustão interna tem a função de gerar energia para o motor elétrico que é o responsável pela tração do veículo. Trata-se de um sistema mais adequado para a condução no perímetro urbano. Por sua vez, na configuração em paralelo, os motores de combustão interna e elétrico atuam de forma independente no acionamento das rodas dos veículos com o funcionamento destas duas fontes sendo função do requerimento de carga do veículo. Em síntese, os dois sistemas de propulsão podem fornecer diretamente energia ao eixo do veículo de forma conjunta ou separada. HEV em paralelo possuem um sistema mecânico mais complexo. Já o sistema híbrido misto é uma combinação dos sistemas em série e em paralelo (FRIEDMAN, 2003).

²² Tipicamente utilizam baterias com capacidade entre 1 e 2 kWh (SMITH, 2010).

²³ Um HEV é até 40% mais eficiente que um veículo a convencional no perímetro urbano e entre 15 a 20 % mais eficiente quando trafegando em condições típicas de auto-estradas (BORBA, 2012).

capacidade²⁴, as quais possibilitam deslocamentos de grandes distâncias usando apenas o motor elétrico²⁵. O gerenciamento da energia a ser consumida é definido a partir dos objetivos do condutor²⁶. Segundo BRADLEY e FRANK (2009), os principais modos de gerenciamento dos PHEV são o de carga sustentada, no qual o estado de carga da bateria é controlado para permanecer em uma faixa estreita²⁷ e o de carga deplecionada, em que o estado de carga da bateria é controlado para diminuir com o funcionamento do veículo, ou seja, é um modo que prioriza o uso de eletricidade. Além disso, é possível utilizar o veículo no modo veículo elétrico com o desligamento do motor a combustão interna como também no modo motor de combustão interna onde o sistema de tração elétrica não fornece potência para o veículo. A partir destes modos de gerenciamento de energia é possível classificar os PHEV em *ranger extender* (REEV – *Range Extender Electric Vehicle*), misturado e zona verde²⁸.

Em contrapartida, os veículos elétricos a bateria (BEV) possuem a propulsão realizada exclusivamente por um motor elétrico alimentado com a energia armazenada nas baterias do veículo. Tal energia advém da rede elétrica e da frenagem regenerativa (SMITH, 2010). De acordo com BORBA (2012), os BEV costumam ser construídos sobre a plataforma de veículos subcompactos²⁹ e terem o motor elétrico associado ao eixo dianteiro do veículo³⁰. O autor destaca que

²⁴ Os PHEV utilizam baterias com capacidade de armazenamento cinco vezes maior que a dos HEV, permitindo maiores autonomias no modo elétrico (IEA, 2011).

²⁵ Os veículos que estando sendo inseridos no mercado possuem capacidade de percorrerem entre 30 e 100 km apenas com o uso de eletricidade (BORBA, 2012).

²⁶ Variáveis como desempenho, eficiência, emissões e custo determinam este gerenciamento.

²⁷ Os HEV atuam a maior parte do tempo neste modo mantendo uma faixa de carga da bateria entre 65 e 75%. No caso dos PHEV, esta faixa está situada entre 30 e 45% (BORBA, 2012).

²⁸ Enquanto os veículos *ranger extender* operam no modo veículo elétrico e só mudam para o modo sustentação de carga quando o estado da carga da bateria fica reduzida, os veículos PHEV misturados atuam no modo deplecionamento até a carga da bateria fica reduzida quando então passam para o modo sustentação de carga. Por fim, PHEV zona verde são aqueles que atuam no modo de sustentação de carga, mas que podem ser controlados para operar no modo veículo elétrico.

²⁹ Esta opção visa reduzir o peso dos veículos e, por consequência, torná-los mais eficientes em termos energéticos.

³⁰ Uma configuração alternativa é a utilização de pequenos motores associados às rodas em vez de um único motor.

tratam-se de veículos com eficiência da ordem de 90%, o que os tornam a alternativa de veículo com maior nível de eficiência³¹.

Em contraste com os veículos híbridos, os BEV apresentam um sistema de funcionamento menos complexo que os tradicionais veículos com motores de combustão interna devido à ausência de embreagem e de um complexo sistema de transmissão³². Concomitantemente, estes veículos apresentam menor nível de ruído e vibração. No entanto, os BEV requerem um conjunto de bateria mais robusto que os veículos híbridos com maiores capacidades de estocagem de energia³³ e estas baterias ocupam espaço e aumentam o peso do veículo³⁴.

A Figura 1 sumariza as diferentes tecnologias de veículos elétricos, principais desafios e aplicações.

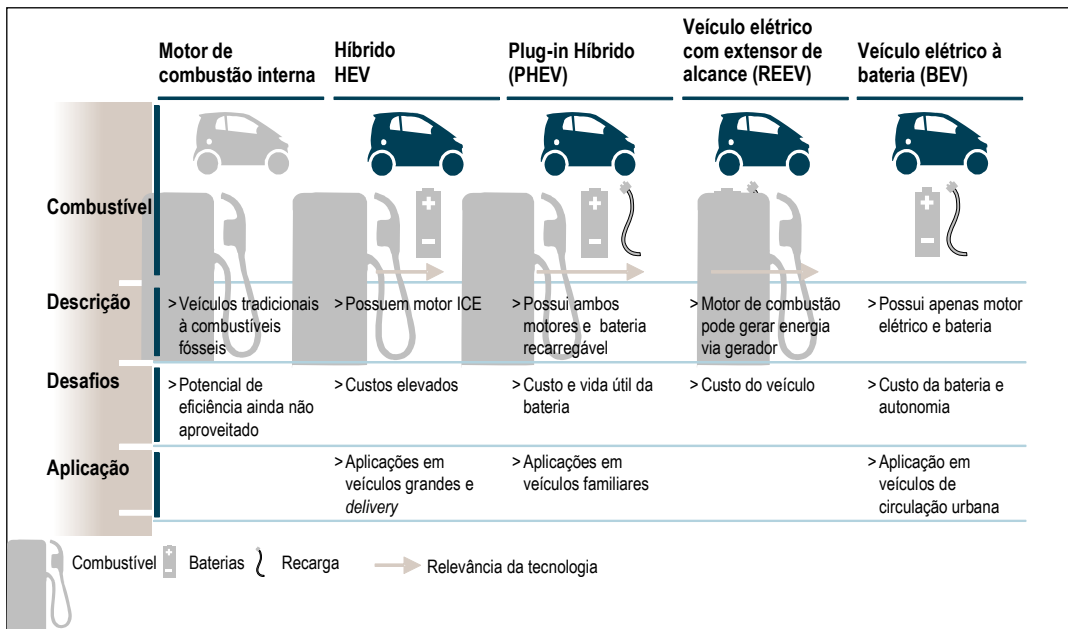
³¹ O veículo elétrico é três vezes mais eficiente que um veículo com motor de combustão interna convencional e duas vezes mais eficiente que um veículo híbrido. Os BEV são eficientes em todas as velocidades, sobretudo na arrancada e em baixas velocidades (SMITH, 2010).

³² Em comparação com veículos com motores de combustão interna, os BEV também não apresentam outros equipamentos que os tornam mais simples, dentre os quais, motor de arranque e componentes dos sistemas de exaustão e de arrefecimento.

³³ Os BEV que estão sendo inseridos no mercado possuem bateria com capacidade entre 30 e 60 kWh. Uma exceção são veículos da Tesla que possuem bateria com capacidade de 85 kWh.

³⁴ O modelo 100% elétrico do Fluence (Fluence ZE), por exemplo, pesa 1.543 kg contra 1.277 kg da versão a combustão interna. Esta diferença de peso de 266 kg pode ser explicada pela bateria, que pesa 250 kg.

Figura 1 - Tecnologias de Veículos Elétricos



Fonte: GERMAN NATIONAL PLATFORM FOR ELECTRIC MOBILITY (2012).

A assertiva da maior eficiência dos PHEV e dos BEV é corroborada pela observação dos dados de consumo de energia destes veículos elétricos. Uma revisão de trabalhos acerca do assunto permite a conclusão que o desempenho de um BEV varia entre 5 e 10 km/kWh enquanto um PHEV seria capaz de percorrer algo em torno de 9 km/kWh no modo deplecionamento. Embora os veículos que estejam sendo inseridos apresentam números mais modestos, os valores permanecem bastante consideráveis. Conforme BARAN (2012), o BEV Nissan Leaf³⁵ percorre 4,7 km/kWh, o que equivale a 42 km/l de gasolina. Por sua vez, o Chevrolet Volt³⁶ é um REEV em série capaz de percorrer 4,4 km/kWh no modo eletricidade, ou seja, 39,5 km/l equivalente de gasolina. Dado que o desempenho médio de um veículo a combustão interna é da ordem de 10,5 km por litro de gasolina equivalente, nota-se a relevância da inserção de veículos elétricos na frota com vistas a torná-la mais eficiente.

³⁵ Veículo equipado com um motor elétrico de 80 kW e bateria de íons de lítio com capacidade 24 kWh.

³⁶ Este REEV possui um motor elétrico de 111 kW e bateria de íons de lítio com capacidade de 16 kWh.

Um corolário desta maior eficiência dos veículos elétricos é o menor custo de abastecimento dos BEV e dos PHEV em relação aos convencionais veículos com motor de combustão interna. Como ilustração, estimativas realizadas por BORBA (2012) para o Rio de Janeiro em março de 2012 indicam que o abastecimento de um BEV teria um custo de R\$ 0,09/km enquanto o abastecimento de um veículo convencional a combustão interna teria um custo de R\$ 0,28/km, se abastecido a gasolina, e de R\$ 0,27/km se o abastecimento fosse realizado com etanol. Já um PHEV operando no modo carga deplecionada teria um custo de abastecimento a eletricidade de R\$ 0,04/km e de R\$ 0,06/km, respectivamente para as configurações em série e em paralelo. Em contrapartida, um PHEV abastecido a gasolina teria um dispêndio de R\$ 0,16/km na configuração em paralelo e de R\$ 0,14/km na configuração em série³⁷.

É importante mencionar que os benefícios dos veículos elétricos não se resumem aos maiores níveis de eficiência. A recarga a partir da rede elétrica possibilita a adoção de novas alternativas para o sistema energético que podem resultar em uma grande mudança do paradigma tecnológico vigente. Em um primeiro momento, a inserção destes veículos possibilita uma redução da capacidade ociosa do sistema elétrico na medida em que sejam recarregados fora dos momentos de ponta. Em um horizonte temporal mais longo, vislumbra-se que as ligações entre os veículos elétricos e a rede terão um fluxo bidirecional de energia e, por consequência, os veículos deixarão de ser meros consumidores de energia.

Por outro lado, a questão da estocagem de energia propriamente dita não é uma questão bem equacionada. Esta dificuldade de armazenamento eletroquímico de energia³⁸ permanece sendo o principal obstáculo à difusão destes veículos, dado que a autonomia dos mesmos é relativamente limitada em comparação aos tradicionais veículos à combustão interna. Por exemplo, o Nissan Leaf possui uma

³⁷ Caso o veículo seja abastecido a etanol, o custo seria de R\$ 0,16/km para veículos em série e de R\$ 0,18 para a configuração em paralelo.

³⁸ Conforme BRADLEY e FRANK (2009), as baterias utilizadas nos veículos elétricos possuem menor energia específica em termos de volume e massa comparativamente aos combustíveis convencionais.

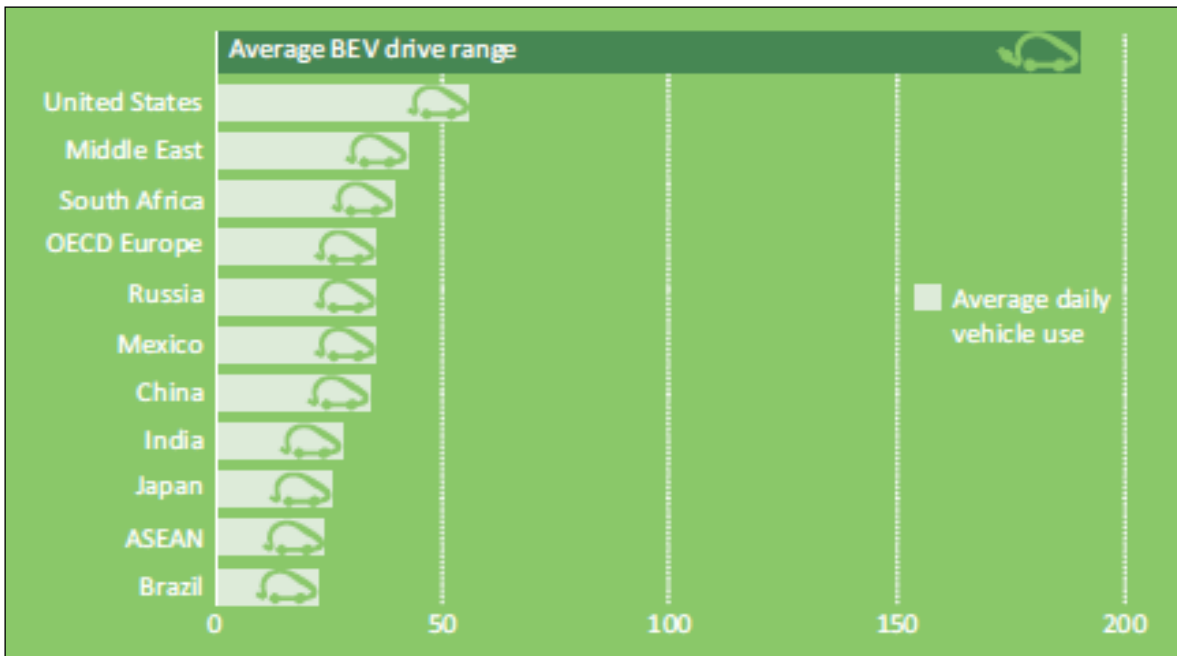
autonomia de 116 km enquanto o Volt tem uma autonomia de 56 km no modo eletricidade (BARAN, 2012). Tipicamente um BEV com bateria de 22-24 kWh possui uma autonomia entre 125 e 150 km³⁹. Por sua vez, a autonomia de um veículo REEV utilizando apenas eletricidade está compreendida entre 56 e 160 km, podendo chegar a casa dos 500 km quando se considera também o uso de combustíveis líquidos.

Esta menor autonomia dos veículos é apontada por grande parte dos consumidores como uma de suas desvantagens. Contudo, é preciso enfatizar que trata-se de uma questão muito mais de percepção do que um problema real. Esta assertiva é corroborada pelo exame das distâncias diárias médias percorridas por um veículo leve. Como ilustração, esta distância nos EUA é da ordem de 50 km⁴⁰. Dado que os EUA são detentores das maiores distâncias médias percorridas e mesmo lá a autonomia atual dos BEV seria suficiente, vislumbra-se que esta questão não se constitui em um problema de fato em nenhuma localidade. O Gráfico 1 compara a autonomia de um BEV com distâncias diárias médias percorridas por BEV em diversas regiões.

³⁹ O uso de baterias com maior capacidade permitiria que os BEV tivessem autônômias próximas aos veículos de combustão interna. Por exemplo, o Tesla S com bateria de 85 kWh possui uma autonomia de 480 km. A grande questão é o custo incremental resultante da opção por tecnologias com maior capacidade.

⁴⁰ A distância média de cada deslocamento é de 15 km (IEA, 2013).

Gráfico 1: Autonomia de um CE x Distância Diária Média percorrida por LDV



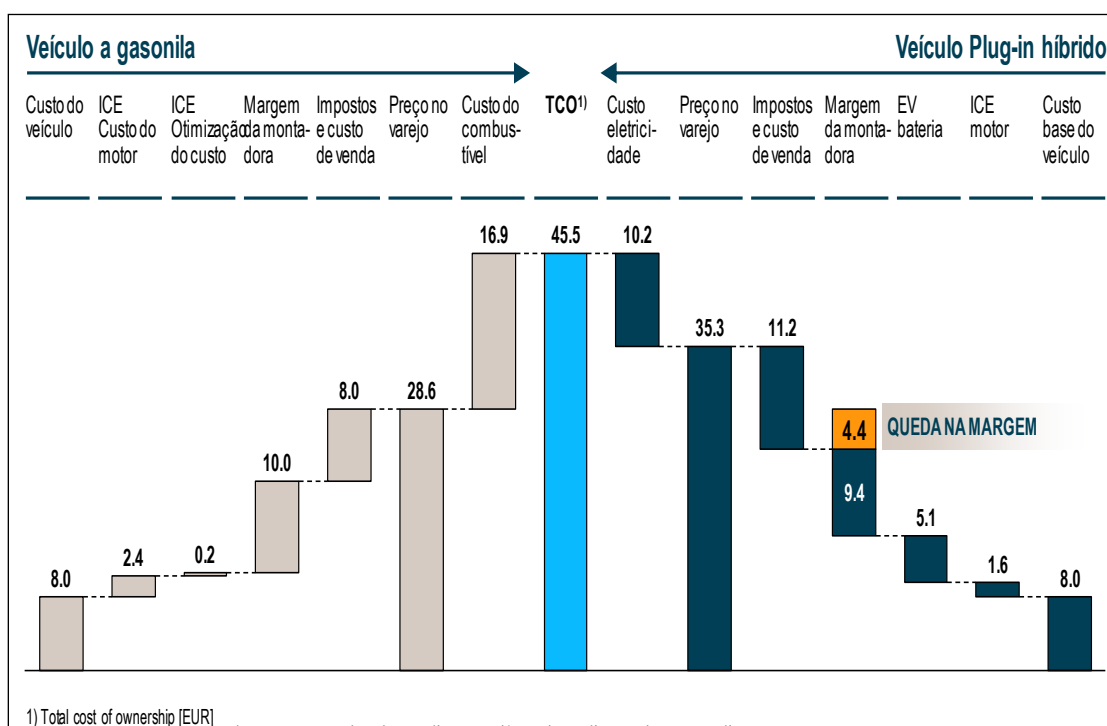
Fonte: IEA (2012a).

De fato, as baterias representam o maior obstáculo à disseminação de veículos elétricos. Entretanto, isso ocorre em função dos seus custos e não da capacidade limitada de armazenamento. No caso dos BEV, o custo da bateria está atualmente em torno de US\$ 500/kWh. Logo, mesmo considerando que a mecânica mais simples de um BEV possibilita uma redução da ordem de US\$ 4.000 no custo do veículo, verifica-se que um BEV com uma bateria de 30 kWh permanece sendo US\$ 11.000 mais caro que um veículo convencional a combustão interna. Já as baterias dos PHEV possuem um custo de aproximadamente US\$ 750/kWh⁴¹. Considerando um PHEV com bateria de 8 kWh que garanta uma autonomia de 40 km no modo elétrico, o custo incremental oriundo da bateria seria de US\$ 6.000. Em paralelo, deve ser ressaltado que a maior complexidade mecânica dos PHEV também ocasiona custos adicionais (IEA, 2012a; IEA, 2011).

⁴¹ As baterias para PHEV possuem um custo entre 1,3 e 1,5 maior por kWh do que as baterias para BEV.

Observa-se assim que os veículos elétricos ainda não são competitivos com veículos a combustão interna. Mesmo quando consideram-se os dispêndios com o abastecimento de energia ao longo da vida útil do veículo, isto é, o custo total de posse do veículo, a paridade econômica não é atingida. Desta forma, a inserção de veículos elétricos requer políticas de suporte que os viabilizem neste primeiro momento. A Figura 2 compara o custo total de posse do veículo a combustão interna versus o *plug-in híbrido*. Como pode se notar, para que os veículos elétricos possuam competitividade é necessário que o custo de recarga elétrica seja significativamente inferior ao preço do combustível convencional. Além disso, em um cenário sem política de suporte, as montadoras deveriam diminuir sua margem para viabilizar esse tipo de veículo.

Figura 2: Custo total de posse do veículo (EUR milhares)



Fonte: Elaboração própria.

Dentre as políticas de incentivos aos veículos elétricos, programas de pesquisa e desenvolvimento com vistas ao aprimoramento tecnológico e redução de custos

das baterias são essenciais. Embora ainda possua um custo elevado, é preciso destacar que no início de 2011 uma bateria para BEV tinha o custo de US\$ 750/kWh. Mantida esta tendência de redução de custos, estas baterias teriam um preço em torno de US\$ 325/kWh em 2020. Caso o desenvolvimento das baterias possibilite a concretização desta projeção, os veículos elétricos atingiriam a paridade econômica com os veículos convencionais, mesmo que não se verifique uma trajetória ascendente nos preços do petróleo e seus derivados⁴² (IEA, 2012a).

Contudo, em paralelo às pesquisas e desenvolvimento, é preciso que estes veículos sejam gradativamente inseridos na frota com vistas a dar escala a indústria porque a exploração de economias de escala é fator essencial para redução de custos dos veículos elétricos, especialmente na dinâmica de redução dos custos das baterias. Para que isso seja possível, no curto prazo é muito importante a adoção de medidas como a concessão de subsídios na compra de veículos⁴³, aquisição de veículos elétricos para frota de empresas públicas e que se dê incentivos a usuários destes veículos, como a permissão de trafegar em faixas especiais e estacionamentos e pedágios grátis. Além disso, o desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga⁴⁴ é fundamental para desmistificar o receio por parte dos consumidores em relação ao suprimento energético dos veículos.

Neste sentido, diversos países já possuem políticas de incentivos a compra de veículos elétricos, programas de pesquisa e desenvolvimento e estão implementando infraestrutura de carregamento⁴⁵. Tais medidas possibilitaram que a frota de veículos elétricos ao fim de 2012 tenha totalizado aproximadamente 200 mil veículos, sendo que as vendas aumentaram da ordem de 50 mil veículos em 2011 para algo em torno de 120 mil unidades em 2012. O exame prospectivo da

⁴² Segundo IEA (2011), os veículos elétricos seriam competitivos com os veículos convencionais a combustão interna para um custo de bateria entre US\$ 300 e 400 por kWh.

⁴³ São necessários subsídios entre US\$ 5.000 e 7.000 para tornar os veículos elétricos competitivos com os veículos convencionais a combustão interna.

⁴⁴ Este assunto será tratado exaustivamente na próxima seção deste relatório.

⁴⁵ IEA (2013) apresenta uma ampla revisão de políticas que estão sendo adotadas em diferentes países.

disseminação dos veículos elétricos aponta para uma frota de 20 milhões de veículos em 2020 quando as vendas anuais deverão ser da ordem de 7 milhões de unidades (IEA, 2013).

É importante frisar que práticas de mobilidade elétrica não estão restritas aos veículos leves. Por exemplo, nota-se uma grande disseminação de veículos de duas rodas elétricos, especialmente na Ásia, a partir da inserção no mercado de *scooters* elétricas e de bicicletas elétricas⁴⁶. Trata-se de veículos de baixo custo apropriados a utilização para deslocamentos curtos⁴⁷. Logo, são extremamente adequados para atender razoável parcela da demanda por mobilidade urbana porque possibilitam deslocamentos maiores que os factíveis de serem realizados caminhando ou com bicicletas comuns a um custo reduzido. Especificamente no caso de bicicletas elétricas, existe uma tendência de disseminação das mesmas na medida em que o crescimento da população urbana acarreta uma deterioração do tráfego urbano com engarrafamentos crescentes⁴⁸.

Por sua vez, em um contexto onde o incentivo a um maior uso de transporte coletivo é imperativo, a discussão acerca da adoção de motores elétricos em ônibus é bastante pertinente. Por exemplo, não é razoável supor que corredores rodoviários exclusivos como os de BRT deveriam utilizar ônibus elétricos?

A questão da autonomia de veículos elétricos torna-se mais relevante quando se trata de ônibus porque os mesmos, assim como caminhões, possuem um consumo de energia bastante superior ao consumo dos veículos leves devido aos seus maiores pesos. No entanto, esta situação precisa ser relativizada porque ônibus elétricos com autônominas da ordem de 300 km são perfeitamente

⁴⁶ Na China, estes veículos já totalizam uma frota superior a 120 milhões de unidades em função da adoção de políticas de restrição do uso de veículos de 2 rodas com motor de combustão interna no perímetro urbano e incentivos aos veículos elétricos (IEA, 2012a).

⁴⁷ Utilizam baterias de lítio ou de chumbo com autonomia de 35 km.

⁴⁸ O mercado mundial de bicicletas elétricas deverá crescer a uma taxa anual de 3,1% enquanto o crescimento do mercado na América Latina será de 14,4%. Este maior crescimento da região latina americana advém do fato que ainda é muito restrito o uso de bicicletas nos países da região.

compatíveis com aplicações urbanas. Neste sentido, em grande medida, trata-se de definir qual a tecnologia mais adequada. Observa-se uma maior pertinência da opção por modelos híbridos *plug in* por permitirem que os veículos tenham uma maior autonomia. Desta forma, verifica-se que algumas cidades possuem projetos pilotos com vistas a avaliar o desempenho destes ônibus⁴⁹ enquanto outras já estão adotando programas de colocação de ônibus elétricos em circulação⁵⁰.

No escopo do transporte de cargas, KATRASNIK (2013) mostra que os benefícios dos motores elétricos em termos de ganhos de eficiência são menores quando comparados aos veículos de passageiros porque o potencial de ganhos de eficiência dos caminhões convencionais é bastante expressivo. De todo modo, não pode ser desconsiderado o potencial de redução de gases do efeito estufa e poluentes locais, além do menor custo de operação e manutenção dos caminhões elétricos⁵¹. Porém, o custo de aquisição deste tipo de caminhão é consideravelmente maior que o preço de um caminhão a diesel convencional. Soma-se a isso a questão da menor autonomia e conclui-se que não é para qualquer aplicação que a opção por caminhões elétricos é pertinente.

Segundo DAVIS e FIGLIOZZI (2013), não são apenas os custos de aquisição e de abastecimento dos veículos que devem ser considerados na análise da atratividade dos caminhões elétricos. Os autores destacam que as rotas percorridas, as distâncias viajadas por dia, a velocidade do tráfego, o número de paradas que o veículo realiza são variáveis chave neste tipo de análise. Neste sentido, FENG e FIGLIOZZI (2012) ressaltam que caminhões com elevados níveis de utilização tendem a ser competitivos caso o custo de aquisição decresça entre

⁴⁹ Rotterdam está desenvolvendo o projeto piloto Ebusz que tem como objetivo testar o alcance dos veículos e avaliar os impactos da introdução dos mesmos para a sociedade.

⁵⁰ O aeroporto de Schiphol em Amsterdam possui 35 ônibus elétricos em circulação. Já a cidade chinesa de Shenzhen apresenta a maior frota pública de veículos elétricos que totalizava 2.400 veículos (considerando veículos híbridos e elétricos puros) ao final de 2012, dos quais 90% eram ônibus.

⁵¹ Uma vantagem adicional dos caminhões elétricos é que seu reduzido nível de ruído possibilita a circulação dos mesmos na parte da noite sem perda de bem estar por parte da sociedade. Logo, a inserção dos mesmos na frota é um meio de reduzir os congestionamentos urbanos ao longo do dia.

10 e 30%. Tal decréscimo é inteiramente factível já no curto/médio prazo a partir do momento em que ocorra a efetiva disseminação destes veículos e um conseqüente ganho de escala por parte da indústria. Adicionalmente, empresas de varejo vêm buscando soluções de mobilidade elétrica dentro da sua frota logística. Nos Estados Unidos, a varejista de alimento Frito Lay e a FedEx desenvolveram projetos pilotos para a utilização de pequenos caminhões dentro de sua logística urbana, em conjunto com universidades e fornecedores de equipamentos como GE.

Em suma, é possível prospectar que caminhões puramente a eletricidade poderão ser utilizados em serviços de distribuição/logística em trajetos curtos enquanto caminhões híbridos irão ser adotados para a execução de atividades que requeiram maiores deslocamentos desde que estes não sejam de longo alcance pois caminhões elétricos tendem a ter seu nicho de operação basicamente restrito ao perímetro urbano⁵².

Por fim, é preciso mencionar que o conceito de mobilidade elétrica também contempla o modal ferroviário através da eletrificação de linhas já existentes como também de investimentos na construção de veículos leves sobre trilhos (VLT) e trens elétricos, sobretudo em países em vias de desenvolvimento como o Brasil. No entanto, aqui não se trata de ruptura de paradigma tecnológico pois são tecnologias maduras. Ao mesmo tempo, sob a ótica da concessionária de energia elétrica, não existe a necessidade da formatação de um novo modelo de negócios porque os investimentos requeridos estão muito mais associados ao reforço e expansão da rede existente como, por exemplo, a construção de uma subestação.

Neste sentido, a discussão sobre a lógica de suprimento, modelo de negócios a ser adotado e os impactos sobre o setor elétrico advindos da implementação da

⁵² Também é preciso considerar o segmento industrial que ainda responde pela maior parte dos veículos elétricos existentes através de equipamentos como empilhadeiras, rebocadores e carregadores.

mobilidade elétrica estão associados estritamente ao modal rodoviário. As seções 2, 3 e 4 deste relatório são dedicadas justamente à abordagem destas questões.

2 – Infraestruturas de Recarga de Veículos Elétricos

Existe uma forte interdependência entre a inserção dos carros elétricos no mercado, o tipo de infraestrutura desenvolvida e o modelo de negócio associado. Sendo assim, a estruturação de uma infraestrutura de recarga constitui um dos elementos centrais para viabilizar a penetração do carro elétrico. O conceito de infraestrutura de recarga de carro elétrico engloba uma variedade de modos de recarga, contrastando com o modo único de recarga do veículo de combustão interna em posto de abastecimento (XU *et al*, 2013).

Esta seção irá apresentar os tipos de recargas possíveis, destacando seus diferentes níveis técnicos e a sua relação com o tempo de recarga do carro elétrico (PHEV e BEV). Em seguida, é feita a análise dos custos associados às diferentes estruturas de recarga e examinado as localidades mais adequadas para o carregamento dos veículos elétricos.

2.1 – Níveis de Recarga e as Necessidades Energéticas dos Veículos Elétricos

O tempo de recarga do carro elétrico é alvo de grande interesse por parte dos consumidores. Tal tempo é função das características técnicas do carro, da bateria e do posto de abastecimento. Verifica-se que existem disponíveis diferentes tipos de recargas e a escolha adequada deve considerar as características dos veículos e as especificidades locais.

Conforme BORBA (2012), em primeiro lugar é preciso ressaltar que a recarga pode ocorrer através das formas condutiva e indutiva, sendo o método condutivo mais comum, pois trata-se de uma conexão física, via um cabo, entre o posto de abastecimento e o carro. Em contrapartida, a recarga indutiva se baseia em uma indução eletromagnética, ou seja, não envolve qualquer conexão física entre o

carro e o posto de recarga⁵³. Além do modelo indutivo e condutivo, os veículos também podem ser recarregados através da troca de baterias e o processo de Redox-Flow em que a bateria é recarregada por um processo químico. As figuras 3 e 4 apresentam as diferentes formas de carregamento e tecnologias disponíveis atualmente.

Figura 3: Formas de Carregamento dos Veículos Elétricos

Fonte: NPE (2012)

Figura 4: Tecnologias para o carregamento dos veículos

⁵³ Existem projetos de pesquisa com vistas à recarga de carro elétrico ocorrer sem a presença de uma conexão com fio por meio da maneira indutiva. Porém, esses projetos estão ainda em fase inicial de desenvolvimento (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2013).

Fonte: Elaboração Própria

O carregamento indutivo e o método Redox-flow ainda não são utilizados em larga escala em nenhum lugar no mundo. Sendo assim, o escopo deste relatório está restrito ao método condutivo. Isto é, avaliaremos a necessidade de infraestrutura de recarga a partir do modelo de posto de recarga, públicos, residências e semipúblicos (trabalho).

Segundo a terminologia da *Society of Automotive Engineers* (SAE)⁵⁴, existem vários níveis de tensão de recarga, a qual pode ocorrer em tomadas de corrente alternada e de corrente contínua. Logo, é preciso distinguir os tipos de recargas sob a ótica técnica, considerando o patamar de tensão e o tipo e nível de corrente adotados. Em linhas gerais, os níveis I e II correspondem a uma *recarga lenta*, enquanto o nível III é associado a uma *recarga rápida* (IEA, 2013).

O nível I de recarga corresponde a uma utilização das tomadas residenciais padrões com corrente alternada – entre 10 e 20A – (ETEC, 2010). As características técnicas do nível I implicam uma *recarga lenta* (SAE, 2012). No caso brasileiro, a tensão para a distribuição de corrente alternada em redes públicas apresenta dois tipos: 380/220 e 220/127 V. Admitindo o segundo tipo de

⁵⁴ Entidade que define *standards* para a indústria automobilística nos EUA.

tensão, existente nas redes de distribuição dos Estados de São Paulo e do Rio de Janeiro, associada a um circuito fase neutro de 127 V e uma corrente de 15 A, a potência máxima de recarga seria de 1,9 kW. Logo, nota-se que suas características técnicas implicam em uma recarga lenta. Tal fato é especialmente relevante no caso de ausência de infraestrutura dedicada à recarga de carro elétrico pois este tipo de recarga se aplica somente a locais de longo tempo de estadia do veículo, como em casa ou no local de trabalho.

Por sua vez, o nível II é considerado como a recarga padrão (ETEC, 2010). As tomadas possuem uma tensão entre 220 e 240V com corrente alternada até 80A (SAE, 2012). Em geral, a corrente está limitada a 40A. Por apresentar variados patamares de potência, o nível II permite recargas mais rápidas. Essa recarga pode ocorrer tanto nas residências, como nas estações públicas (BORBA, 2012). Cabe destacar, que o nível II de recarga pode implicar ajustes técnicos⁵⁵ para possibilitar a entrega de maiores níveis de potência, impactando diretamente o custo de instalação do posto de recarga.

Já o nível III é o nível que compreende recargas rápidas com tensões que podem atingir 600 V e potências que podem atingir 240 kW. Neste caso, a corrente fornecida pelo posto pode ser tanto alternada como contínua⁵⁶ e envolve valores de correntes mais elevados que no nível II, os quais podem chegar até 200A (SAE, 2012). Assim definidas, as características técnicas do nível III não

⁵⁵ A adoção do nível II requer algumas alterações na infraestrutura, como troca de cabos e disjuntores, sobretudo quando se opta por correntes mais elevadas.

⁵⁶ Alguns países estão instalando postos de nível III com corrente contínua. A vantagem das recargas de corrente contínua é permitir o fornecimento de maiores patamares de energia, o que reduz ainda mais o tempo de recarga do carro (BULLIS, 2012). Porém, o fornecimento de corrente contínua tem consequências técnicas. Explica-se: dado que a energia fornecida pelas distribuidoras está em corrente alternada e as baterias exigem recarga em corrente contínua, é necessário transformar a corrente alternada distribuída pela rede em corrente contínua. O equipamento responsável por essa conversão pode ser integrado no posto ou no carro. Atualmente, a maioria dos modelos de carros elétricos já possui esse conversor (PEREZ *et al.*, 2012). No caso dos postos de nível III de corrente contínua, o conversor já está presente dentro do próprio posto. Assim, o carro deve ser adaptado para aceitar a entrada direta de corrente contínua, o que na prática não se encontra na maioria dos modelos híbridos *plug-in*, mas apenas nos modelos elétricos puros (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2013). Por outro lado, a introdução de um conversor dentro do próprio posto de recarga implica um aumento de custo.

combinam com uma recarga residencial, pois trata-se de tensões bem mais altas que as disponíveis nas áreas residenciais, além de necessitar uma instalação trifásica (no caso das tomadas de corrente alternada). Esses tipos de conexões se encontram mais frequentemente nas indústrias, vide a presença de máquinas que requerem altos níveis de potência. Consequentemente, os postos de recarga de nível III, que possibilitam *recargas rápidas*, estão instalados, na grande maioria dos casos, em áreas públicas. Como será estudado na segunda parte desta seção, os investimentos para esse tipo de posto são maiores em relação aos investimentos para os equipamentos de níveis I e II.

A Tabela 1 sintetiza as características técnicas dos diferentes tipos de recarga.

Tabela 1: Níveis de Recarga de Carros Elétricos

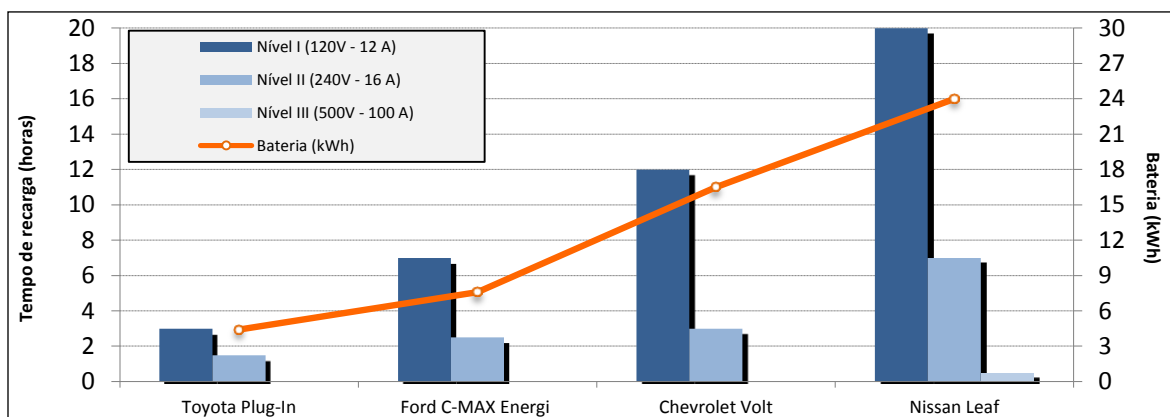
	Nível de Recarga			Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (kW/kV A)
Recarga lenta	Nível I			110 - 120	10 - 20	1,1 - 2,4
	Nível II			220 - 240	< 80	< 19,2
Recarga rápida	Nível	Corrente Alternada		400 - 500	< 100	< 50
	III	Corrente Contínua		400 - 500	< 200	< 100

Fonte: Elaboração Própria

A partir dos dados relativos aos níveis de recarga é possível estimar-se o tempo de recarga dos veículos elétricos, o qual será função das características de cada veículo. O Gráfico 2 apresenta o tempo de recarga de alguns modelos e é perceptível o maior tempo de recarga do Nissan Leaf que por ser um BEV possui uma bateria com maior capacidade de armazenamento.

Gráfico 2: Tempo de Recarga em Função do Nível de Recarga e do Tipo de Bateria⁵⁷

⁵⁷ Nissan Leaf= BEV, os demais são PHEV.



Fonte: Elaboração Própria.

O Gráfico 2 revela que o nível I de recarga pode ser suficiente para os PHEV no caso de uma recarga residencial pois a menor capacidade de suas baterias implica em menores tempos de reabastecimento. Em contrapartida, a recarga em nível I para BEV deve ser vista com ressalvas pois o tempo de recarga é muito elevado, superando 20 horas para o Nissan Leaf (National Research Council, 2013).

Em contraste com o nível I, o nível II possibilita a recarga completa das baterias de carros elétricos puros e híbridos plug-in em um tempo razoável. Logo, pode ser denominado como o padrão de recarga dos veículos elétricos. Como ilustração, a análise do Gráfico 2 mostra que o tempo de recarga da Nissan Leaf em nível II se reduz para apenas 7 horas no nível II. A partir destes dados é possível concluir que o nível II de recarga é suficiente para atender as necessidades de recarga de um BEV de forma a garantir as necessidades dos usuários e, por isso, vem se tornando o padrão entre os novos modelos de BEV.

Em contrapartida, o nível III possibilita a *recarga rápida* dos carros e permite o carregamento de 80% da bateria da Nissan Leaf em apenas uma meia hora, conforme pode ser visto no Gráfico 2. Porém, os custos envolvidos com essas infraestruturas são bastante elevados e, portanto, investimentos na infraestrutura de recarga rápida consiste em uma decisão estratégica que deve considerar a

gestão otimizada dos postos e as características dos veículos que estão sendo inseridos no mercado.

É importante ressaltar que os tempos de recarga aqui demonstrados correspondem ao carregamento de 100% da bateria dos veículos, sendo portanto o tempo máximo de carregamento esperado. Como a utilização típica diária é inferior à capacidade da bateria dos BEV e normalmente os usuários carregam diariamente os veículos, o tempo de carregamento menor, de acordo com o estado inicial da bateria. Por exemplo, caso o usuário inicie o processo de carregamento ainda com 50% de carga disponível, o tempo de carregamento será aproximadamente metade dos valores apresentados.

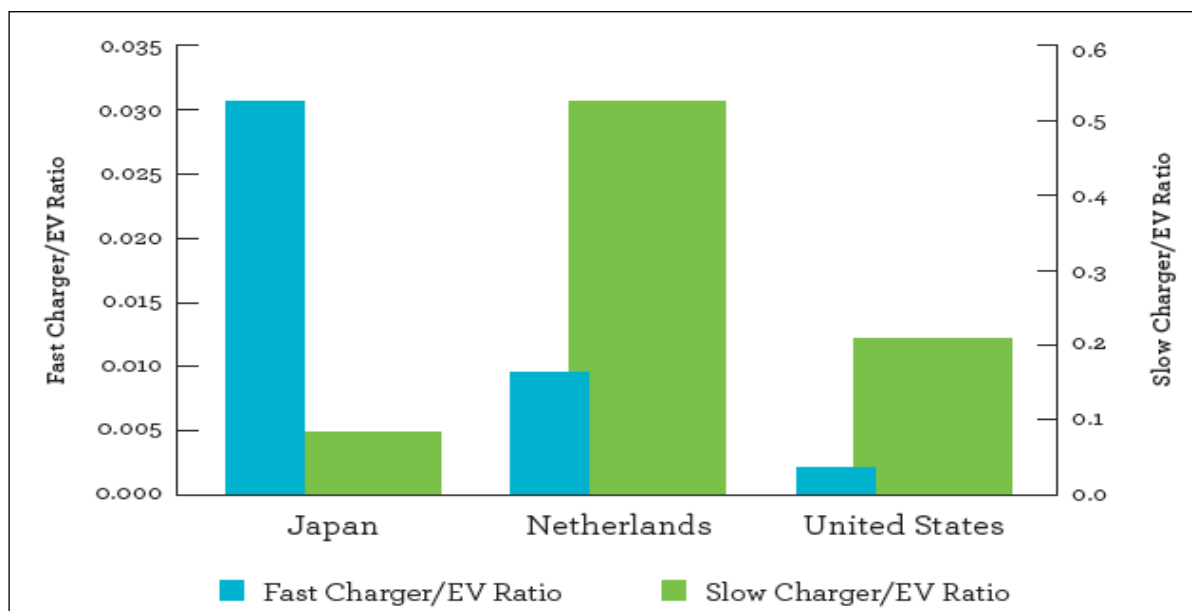
As redes de carregamento rápido tem se desenvolvido em grande parte por iniciativa (ou com suporte) dos fabricantes de BEV. Neste sentido, é bastante ilustrativo que o Japão, onde BEV predominam, já existem 1.381 postos de recarga rápida, enquanto nos EUA investimentos em postos de recarga rápida foram menores, uma vez que os PHEV dominam o mercado⁵⁸.

O Gráfico 3 ilustra as estratégias de desenvolvimento dos postos de recarga públicos no mundo a partir da proporção entre o número de postos de recarga *lenta* ou *rápida* e o número de carros elétricos em um país. Nota-se que no Japão, país líder na instalação de postos de *recarga rápida*, a proporção de postos de *recarga rápida* por número de carros elétricos é bastante superior às proporções verificadas na Holanda e nos EUA, ocorrendo o oposto no caso dos postos de recarga lenta. Em síntese, não existe uma alternativa de infraestrutura

⁵⁸ Isso não quer dizer que não haja investimentos em carregadores rápidos nos EUA. Existem atualmente 544 carregadores no padrão CHAdeMO (nível 3, 50 kW), compatíveis com o Nissan Leaf. (Fonte: www.chademo.com, no dia 18/02/2014). Já a Tesla, tem instalada uma rede de 71 carregadores superrápidos de até 120kW nas principais rodovias do país. Combinada com a grande autonomia dos veículos Tesla, esta rede já permite dirigir de costa a costa e, com as adições previstas até 2014, deve cobrir 80% da população dos EUA, chegando em 2015 a 90% da população do país. (Fonte: www.teslamotors.com/supercharger no dia 18/02/2014)

que seja invariavelmente a melhor, sendo vital o exame das especificidades locais (IEA, 2013).

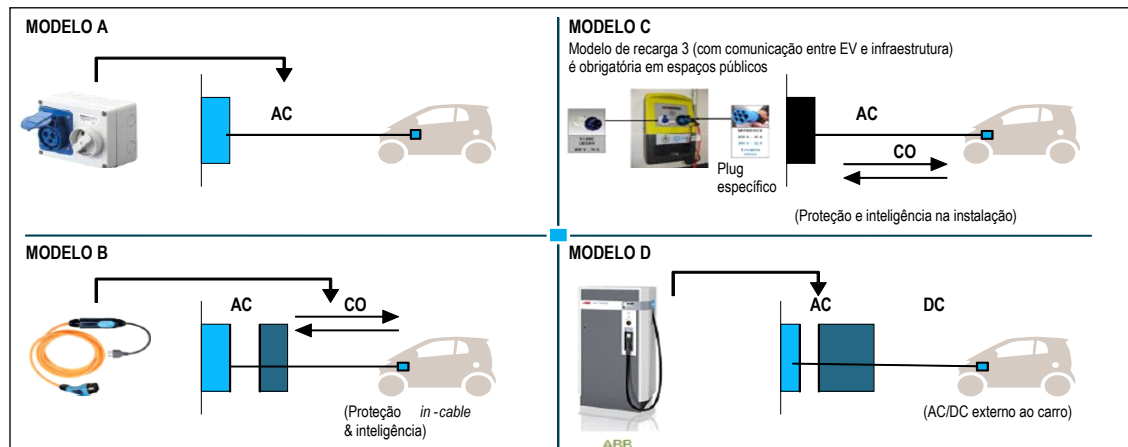
Gráfico 3: Estratégias de Desenvolvimento dos Postos de recarga em 2012



Fonte: IEA (2013).

Por último, cabe destacar que, para o desenvolvimento desse mercado, é importante definir os padrões tecnológicos e modos de recarga a serem implementados no país. As tecnologias hoje existentes vão da simples conexão em uma tomada tradicional até a instalação de *smart boxes* em que o carregamento é inteligente e comunica-se com a tecnologia de *smart meter* e *smart grid*. A Figura 4 apresenta os diferentes modelos de carregamento existentes no mercado europeu.

Figura 4: Modelos de carregamento



Fonte: Elaboração própria.

Esses diferentes modelos apresentam características e funcionalidades diferentes que impactam nas opções de modelos de negócio das empresas de energia. O modelo A é uma simples tomada de carregamento, normalmente com potência de até 1,8 kW recomendada para bicicletas e alguns veículos elétricos. Já o modelo B se baseia na utilização de um cabo de conexão que possui os mecanismos de segurança e proteção para o carregamento dos veículos elétricos. Por sua vez, o modelo C é baseado na implementação de uma estação dedicada para o carregamento de veículos, com todos os mecanismos de proteção e acessível ao *smart charging*. Além de trazer maior segurança, esse modelo viabiliza novos serviços como o carregamento inteligente, em que o veículo carrega de acordo com o custo de energia, e uma maior comunicação e fornecimento de dados do veículo para a infraestrutura de carregamento.

Apesar das diferenças apresentadas, esses três modelos são de corrente alternada (AC). Em contrapartida, o modelo D se utiliza corrente contínua (DC) para o carregamento do veículo. Esse modelo, também conhecido como *fast charging* (recarga rápida) tem potência de 50 kW e é um dos modelos que a indústria automobilística apresenta maior interesse. Espera-se que sua utilização

seja focada em locais públicos (ruas, parques) e semi-públicos (shoppings, estacionamentos e outros). A Figura 5 apresenta as principais características de cada modelo acima detalhado:

Figura 5 - Modos de recarga

Modelo	Veículo típico	P [kW]	Energia distribuída e autonomia ganha por hora carregada	Tempo total de recarga
A		$\leq 1,8$	1,76 kWh/ 50km	~6 -9 horas
B		$\leq 3,3$	3,52 kWh/80km	3 -4 horas
C		20 (typical)	25kWh/120km	1 a 3 horas
D		50	50kWh/120km em 1/2 h (tempo de recarga)	15 a 30 minutos

Fonte: Elaboração Própria

2.2 – Os Custos das Infraestruturas de Recarga

Uma variável central na definição do tipo de infraestrutura a ser implementado é o custo do investimento. Tais custos não estão restritos aos postos propriamente ditos, mas incluem também os investimentos necessários à adaptação da rede onde circula a energia e diversos custos de operação e manutenção. Como já fora mencionado, os níveis I e II de recarga necessitam de pouca adaptação da rede, por serem configurações técnicas que já se encontram até mesmo nas residências⁵⁹. Por sua vez, a recarga de nível III envolve altos níveis de potência, que vão além da capacidade das configurações residenciais (BORBA, 2012). As características técnicas desse tipo de recarga pressupõem o desenvolvimento de

⁵⁹ Conforme fora apontado na subseção anterior, a adoção do nível II de recarga pode requer algumas alterações na infraestrutura, sobretudo quando se opta por correntes mais elevadas.

redes públicas de recarga, por envolver custos de operação e de manutenção bem maiores do que os consumidores particulares podem subvencionar. Neste contexto, a Tabela 2 resume de maneira abrangente os diversos custos associados aos investimentos a serem realizados para os postos de recarga de carros elétricos, por nível de recarga. Por um lado, estimam-se as despesas de capital, somando o custo do equipamento de recarga e dos diversos componentes a serem instalados, além do planejamento e da instalação desses equipamentos (ETEC, 2010; SCHROEDER e TRABER, 2012; PLUG IN AMERICA, 2014). Por outro lado, os custos anuais de operação e manutenção estimados representam cerca de 10% do investimento inicial, conforme SCHROEDER e TRABER (2012).

Tabela 2: Custo da Infraestrutura por Ponto de Recarga

		Nível I	Nível II (Privado)	Nível II (Público)	Nível III (CHAdemo)
CAPEX (USD)	Equipamento de recarga	-	776	2.730	27.021
	Adaptações técnicas da rede	-	361	690	1.411
	Planejamento e instalação	-	790	4.680	5.620
	Custos administrativos	-	385	465	465
TOTAL CAPEX (USD)		-	2.312	8.565	34.517
OPEX (USD)	Custo anual, considerando	-	231	857	3.452

10% do
investimento
inicial

Fontes: ETEC (2010), SCHROEDER e TRABER (2012), PLUG IN AMERICA (2014).

Dentro dos custos de materiais considerados, foram distinguidos dois tipos de investimentos. Primeiro, o custo dos equipamentos de recarga foi estimado a partir de uma comparação internacional de preços atualmente praticados (ETEC, 2010; SCHROEDER e TRABER, 2012; PLUG IN AMERICA, 2014). Em seguida, foi avaliado o custo dos dispositivos que precisam ser instalados para adaptar tecnicamente a rede à introdução do equipamento de recarga. Esses dispositivos abrangem os painéis elétricos, disjuntores e cabos a serem instalados junto com o próprio equipamento de recarga.

Por outro lado, foram estimados os custos da mão de obra para instalar os equipamentos de recarga, além das diversas autorizações administrativas a serem outorgadas para permitir a construção do equipamento de recarga (ETEC, 2010). Cabe lembrar que os custos de instalação dos postos de recarga são função das necessidades de adaptação técnica da rede elétrica. Por exemplo, enquanto o nível II não requer muitas modificações eletrotécnicas, as elevadas potências envolvidas nas conexões de nível III pressupõem uma adaptação profunda da rede: instalações de inversores AC/DC para os postos que entregam corrente contínua, adaptação dos transformadores, etc. Portanto, os custos de instalação ficam mais elevados para os postos de nível III.

A Tabela 2 explicita o maior custo dos postos de recargas rápidas. De acordo com ETEC (2010), enquanto os investimentos iniciais para pontos de recarga residenciais se aproximam de US\$ 2 mil, os pontos de nível III de corrente contínua chegam até US\$ 34,5 mil. É preciso destacar que os investimentos

estimados para o posto de nível III correspondem ao posto de corrente contínua (DC). O custo elevado deste posto se explica por parte pela necessidade de se instalar um conversor AC/DC dentro do posto. Isto ocorre porque a rede fornece uma corrente alternada e, portanto, é preciso instalar um equipamento capaz de converter a energia em corrente contínua na saída do posto de recarga. Logo, a instalação de mais um equipamento dentro do eletroposto em corrente contínua gera um custo maior.

Essa disparidade nos custos dos postos de abastecimento se reflete na complexidade do desenvolvimento de uma rede de recarga de carros elétricos que seja adaptada às expectativas energéticas dos consumidores e economicamente viável para os operadores de serviços de mobilidade elétrica. Desta forma, a análise técnico-financeira expõe a necessidade de um desenvolvimento planejado e otimizado da rede de recarga de carros elétricos.

2.3 – Os Locais de Recarga

Segundo o NATIONAL RESEARCH COUNCIL (2013), os fabricantes de veículos elétricos distinguem três grandes áreas de recarga:

- i. **A residência**: constitui o lugar central das recargas de carros elétricos – também chamadas de áreas primárias;
- ii. **O trabalho**: considerado também como um lugar importante de estacionamento do carro e de potencial recarga, mais especificamente para os consumidores que não possuem de estacionamento na sua residência;
- iii. **As áreas públicas**: zonas de recarga menos importantes, incluindo os estacionamentos públicos, comércios, postos de abastecimento, etc...

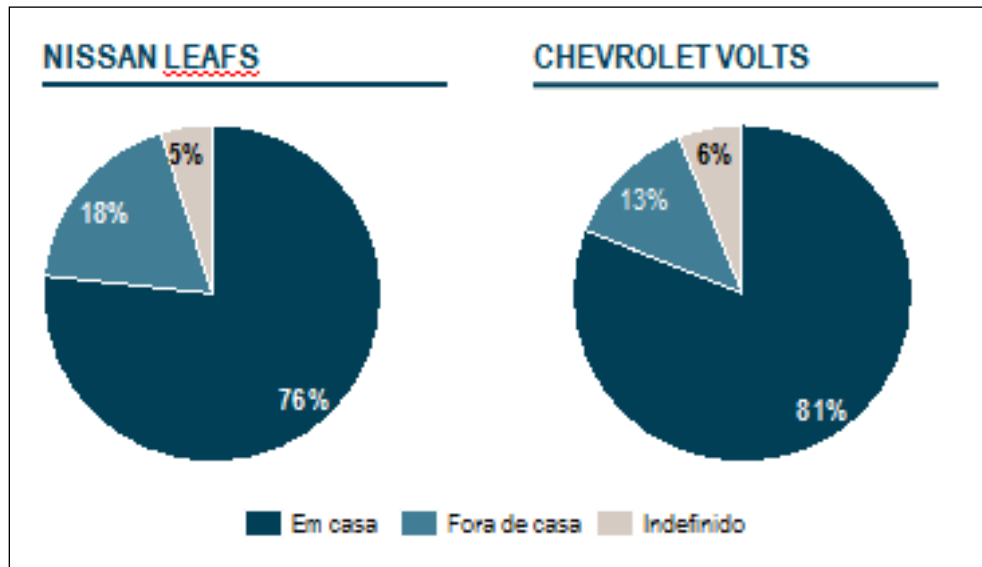
Os carros ficam estacionados mais de 90% do tempo, essencialmente em casa ou no trabalho (International Parking Institute, 2011). Neste sentido, XU *et al.* (2013) destacam que o carregamento nas próprias residências ou em edifícios de trabalho é a forma mais adequada no caso de usuários que percorram reduzidas

distâncias. De acordo com BORBA (2012), as tomadas residenciais estão aptas a realizarem o carregamento de PHEV, considerando a autonomia tipicamente demandada pelos usuários destes veículos. Por sua vez, a instalação de infraestrutura de recarga nível II permite o carregamento dos BEV nas próprias residências. Desta forma, as infraestruturas públicas de recargas tendem a ser mais relevantes apenas nos casos de viagens de longa distância⁶⁰.

As evidências indicam que a residência é a principal localidade de carregamento de carros elétricos. Dado que o nível II assegura uma recarga completa da bateria dos carros elétricos em menos de uma noite (cerca de 4 horas para a Chevrolet Volt e 7 horas para a Nissan Leaf para uma recarga completa do veículo), este resultado parece razoável (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012). Dados de países nos quais o veículo elétrico já é uma realidade corroboram essa premissa. O Projeto EV, por exemplo, desenvolvido pela ECOtality North América e com escopo de aproximadamente 13 mil pontos de recarga, buscou desenvolver e avaliar a infraestrutura de recarga de veículos elétricos, a fim de coletar e analisar dados sobre o consumo e os padrões de recarga. Participaram do projeto um total de 8.300 veículos, entre eles Nissan Leafs, GM Volts e Smart ForTwo. Os resultados, expostos no Gráfico 6, evidenciam que, mesmo para veículos diferentes, padrões de consumo se mostraram muito parecidos, com grande preferência pela recarga doméstica. O estudo identificou como principais motivos para essa preferência a comodidade da recarga residencial, a escassez de pontos externos de recarga e o tempo de abastecimento.

⁶⁰ É importante frisar a existência de um *trade off* entre o aumento da capacidade das baterias e a necessidade de pontos de recarga rápida. O exame desta questão é extremamente relevante no âmbito da inserção de veículos elétricos. Por exemplo, é preciso analisar se é mais pertinente priorizar investimentos no desenvolvimento de baterias com maior capacidade ou em pontos de recarga rápida.

Gráfico 6: Padrões de recarga de veículos elétricos, Projeto EV



Fonte: ECOtality, Projeto EV

Cabe destacar que para ser possível a recarga residencial é necessário que as garagens possuam disponibilidade de tomadas suficientes. Mais do que isso, é necessário que as residências possuam garagens (EC, 2009). Em realidade, este é o maior desafio para recarga residencial. Por exemplo, nos Estados Unidos, 35% das casas particulares não incluem um estacionamento particular (EERE, 2005). No caso de ausência de estacionamento residencial, a alternativa de carregamento nos estacionamentos do local de trabalho e/ou desenvolvimento de uma rede semipública, ou mesmo pública, de carregamento se torna mais relevante.

No Brasil, sob a ótica do carregamento residencial, verifica-se que edifícios comumente apresentam um reduzido número de tomadas em suas garagens. Entretanto, o fato das residências brasileiras costumeiramente terem garagens é um elemento e mesmo vetor indutor da difusão de veículos elétricos. Em paralelo, os primeiros projetos pilotos de infraestrutura pública de abastecimentos de veículos elétricos ainda estão em estágio inicial de implementação.

A recarga de carros elétricos nos estacionamentos do trabalho é uma opção pertinente para usuários que não têm a possibilidade de fazer uma recarga residencial (BULLIS, 2012). Neste caso, o nível II parece ser o mais adaptado à recarga no trabalho, dado que o veículo permanece em média 8 horas estacionado nas áreas de trabalho em dias úteis (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2013). Esse período de horário diário combina com o tempo de recarga completa das baterias dos carros apresentados no Gráfico 2.

Contudo, a principal barreira a esse tipo de recarga está no modelo a ser desenvolvido, que deve fechar um acordo com as empresas e ser suficientemente otimizado para atender o número de carros elétricos presentes no local da empresa. Exemplo interessante, a iniciativa americana *Workplace Charging Challenge* tem por objetivo de fomentar a multiplicação dos postos de recarga nos estacionamentos do trabalho através de um acordo que já foi assinado por uma dezena de empresas incluindo Google, Facebook e GE (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2013).

Por sua vez, a recarga nas áreas semipúblicas e públicas pode ser vista de várias formas. De acordo com a ELECTRIFICATION COALITION (2009), o desenvolvimento de uma rede pública de recarga é necessário para fomentar as primeiras etapas da estruturação do novo paradigma tecnológico que representa o carro elétrico, especificamente quando se trata da questão do abastecimento. Explica-se: por mais de 100 anos, os automobilistas se acostumaram a abastecer seu carro térmico no posto quando e onde eles quisessem. Então, mudar esse padrão de uso da rede de abastecimento é complicado e deve ser realizado de maneira gradativa e a estruturação de uma rede pública de recarga possui um papel estratégico.

É preciso destacar a diferença existente entre estes postos que podem deter tanto instalações do nível II como do nível III em função do tipo de demanda dos usuários. Em síntese, um consumidor que vai efetuar um trajeto excepcional de

longa distância não vai querer esperar horas no posto de recarga que está localizado na estrada, mas apenas alguns minutos. Neste caso, devem integrar-se postos de nível III. Já para um consumidor que tem seu deslocamento restrito ao perímetro urbano, esta necessidade de recarga rápida é muito menor. Observa-se assim que os países que desenvolvem redes públicas de recarga de carros elétricos são conscientes desta diferença e estão instalando postos de recarga tanto normal quanto rápida. As estimativas cumulativas em investimentos em postos de recarga até 2020 indicam patamares de até 2,4 milhões de postos de recarga normal e 6 mil rápida para os países da aliança EVI (IEA, 2013).

De toda maneira, a multiplicidade de lugares de recarga implica na necessidade de um desenvolvimento otimizado da rede de recarga de carros elétricos, adaptando o posicionamento e o tempo da recarga em função das expectativas dos consumidores.

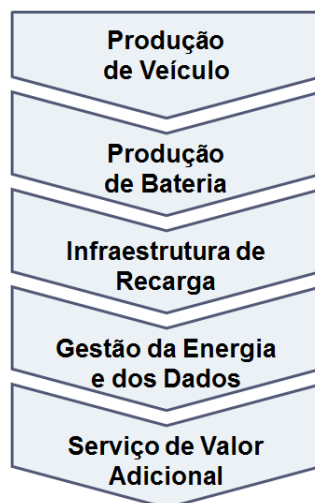
3 – Modelos de Negócios para a Mobilidade Elétrica

O desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga de veículos elétricos representa um novo paradigma no setor de transportes porque não se trata meramente do desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga. Em realidade, o conceito relevante é o de infraestrutura de integração de veículos elétricos, com o objetivo de promover um sistema de transporte inteligente (HE *et al.*, 2012).

Desta forma, a interface com a tecnologia da informação é vital, pois possibilita o monitoramento dos veículos e do tráfego como um todo de forma a permitir a otimização da mobilidade de pessoas e mercadorias. Esta conjugação de veículos e infraestrutura inteligentes permitiria desde a implementação de sistemas de gestão do trânsito, gestão de auto-estradas e otimização da logística do transporte de mercadorias até serviços como informações ao viajante, notificação de coalisão e gerenciamento de tempo.

Os modelos de negócios potenciais para a mobilidade elétrica compreendem várias opções ao longo da cadeia de valor, cuja estrutura se encontra na Figura 7. É possível afirmar que novos agentes estão surgindo na indústria automobilística elétrica ao longo desta cadeia, a fim de atender as novas demandas geradas por esta indústria. Entre outros, destaca-se a emergência da cadeia de fornecedores especializada na produção de baterias de veículos elétricos, o interesse das empresas de energia para o desenvolvimento de infraestrutura de recarga ou ainda a criação de modelos inovadores por parte de novos provedores de serviço de mobilidade. Portanto, a mobilidade elétrica traz uma série de possibilidades para que esses agentes possam implantar novos modelos de negócios e criar valor acrescentado para o consumidor final.

Figura 7 - Cadeia de valor da mobilidade elétrica



Fonte: Adaptação de WEILLER e NEELY (2013).

Observa-se que a bateria pode ser vendida ou arrendada pela própria montadora, tal qual o modelo tradicional dos veículos de combustão interna que inclui a bateria como parte do veículos. Em contrapartida, é também possível imaginar um modelo de negócio no qual a venda do veículo seja dissociada da bateria e seja fornecida por algum parceiro preferencial⁶¹.

Por sua vez, a infraestrutura de recarga e a gestão de energia dos veículos elétricos podem ser atribuídas às empresas de energia. Logo, empresas do setor elétrico, que atualmente não atuam na indústria automobilística, poderão se constituir em um agente articulador entre o setor elétrico e a indústria automobilística elétrica. De todo modo, deve ser examinada como a a venda de energia para a mobilidade elétrica deve ocorrer e os modelos de mercado mais propícios a serem implementados para possibilitar a recarga dos veículos⁶².

⁶¹ Este modelo possui a vantagem de tornar mais barato o valor do veículo e permite que o usuário escolha a capacidade da bateria.

⁶² No futuro, será também preciso avaliar a gestão das recargas inteligentes e o papel do veículo elétrico como fonte de energia na cidade, na medida em que o veículo se tornará um potencial fornecedor de energia para o sistema elétrico.

O estabelecimento desta infraestrutura terá basicamente o objetivo de abastecer as baterias dos veículos⁶³. Deve ser destacado que a criação desta infraestrutura requer mudanças regulatórias e pode resultar na criação de novos agentes institucionais (BOHNSACK *et al*, 2014; EURELECTRIC, 2013; KLEY *et al*, 2011; SAN ROMÁN *et al*, 2011).

Por outro lado, as informações sobre o consumo do veículo e a transmissão das informações entre o veículo e o operador de mobilidade constituem uma parte chave da cadeia de valor dessa indústria (junto com a gestão da energia na Figura 7). De acordo com WEILLER (2012), a criação de modelos de negócios focados nos serviços tecnológicos para a mobilidade elétrica aumentará a eficiência do uso da eletricidade pela transmissão das informações entre a rede elétrica, as redes de telecomunicações, os veículos e os consumidores. Portanto, esses serviços serão chave para criar valor acrescentado para o cliente da mobilidade elétrica.

Por fim, o serviço de valor adicional abrange os serviços de mobilidade que podem ser oferecidos ao cliente, e chegar até os serviços de *car-sharing*. Conforme WEILLER (2012), os serviços de mobilidade urbanos estão transformando os modelos de negócios do transporte particular⁶⁴. Sendo assim, os serviços de mobilidade trazem inovação e se aproveitam das vantagens técnicas do veículo elétrico para se destacar no mercado.

Os diferentes estratos da cadeia de valor são independentes entre eles, mas podem ser capturados de maneira integrada pelas empresas. Assim, um modelo *car-sharing* pode não se limitar apenas ao serviço de mobilidade, mas incluir também vários serviços tecnológicos (ex: transmissão de informação sobre a localização dos pontos de recarga, localização de lugares de interesse, etc...), a

⁶³ Trata-se de uma infraestrutura de recarga próxima a dos veículos com motor de combustão interna.

⁶⁴ Primeiro, os utilizadores não precisam mais possuir os carros para utiliza-los. Segundo, a estrutura do custo evoluiu no serviço de mobilidade, pois os consumidores assinam um contrato incluindo o seguro, a manutenção e a recarga

infraestrutura de recarga (além da gestão da energia para o veículo) e até o próprio veículo.

A efetiva implementação da mobilidade elétrica exige uma atuação coordenada entre governo, indústria automobilística e empresas do setor elétrico. Enquanto a atuação do governo está associada à definição de metas e elaboração de políticas públicas que incitem investimentos nesta tecnologia, os setores automobilístico e elétrico vislumbram na mobilidade elétrica a oportunidade de novos negócios. Com o objetivo de aproveitar esta oportunidade, se faz necessária a adoção de modelos de negócios adequadas às especificidades locais.

Em linhas gerais, é possível classificar os modelos de negócios em 4 tipos principais:

- i. Veículo sem Bateria: a venda do veículo é dissociada da bateria que é fornecida por algum parceiro preferencial. Este modelo possui a vantagem de tornar mais barato o valor dos veículos e permite que o usuário escolha a capacidade da bateria;
- ii. Veículo com Bateria: a bateria é fornecida junto com o automóvel, podendo ser vendida ou arrendada;
- iii. Veículo + Energia: não apenas a bateria é transacionada com o veículo, como também é estabelecida uma relação onde o usuário garante o fornecimento de energia elétrica e adquire serviços como seguro e manutenção através do pagamento de uma taxa mensal;
- iv. Mobilidade Integrada: além dos produtos ofertados no modelo “Veículo+Energia”, o pagamento de uma taxa mensal contempla serviços inerentes à lógica de desenvolvimento de veículos inteligentes integrados a uma infraestrutura inteligente. Logo, este modelo contempla desde a disponibilidade de comunicação através da conexão dos veículos a internet até acesso a estacionamentos.

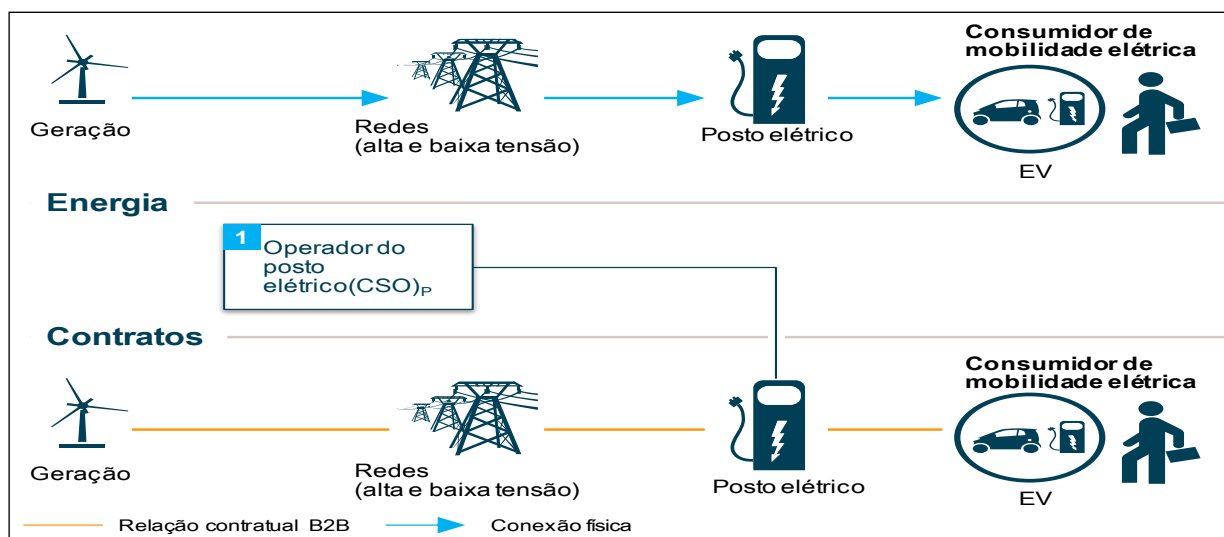
Como negócio, a gestão e venda de energia depende principalmente dos modelos regulatórios de venda de energia e gestão de infraestrutura de recarga implementados. Em outras palavras, as oportunidades de negócio decorrentes desse cenário, portanto, estão intrinsecamente ligadas ao modelo regulatório.

O estabelecimento de um modelo liberalizado para a venda de energia para mobilidade elétrica abriria a possibilidade para atuação de outros *players* do setor como comercializadoras e geradores de energia. Na visão de grupos integrados que possuem atuação em diferentes segmentos como geração e distribuição de energia, o modelo liberalizado traz o acesso a outros mercados além da área de concessão da distribuidora. Em contrapartida, no modelo regulado em que tanto a venda de energia como a gestão e operação da infraestrutura de recarga é feita pela distribuidora, esta passa a ter um papel duplo como comercializadora de energia e operadora do posto elétrico (em locais públicos e semipúblicos). Em suma, há quatro cenários de modelo regulatório com base na liberalização ou não do mercado de energia e da infraestrutura de recarga para a mobilidade elétrica:

- i. Mercado totalmente regulado: a instalação, gestão e operação dos postos de recarga devem ser reguladas, assim como a comercialização de energia;
- ii. Infraestrutura de recarga liberalizada: a instalação, gestão e operação dos postos de recarga devem ser liberalizadas, porém a comercialização de energia é da distribuidora;
- iii. Gestão de energia liberalizada: a instalação, gestão e operação dos postos de recarga são da distribuidora, porém a comercialização de energia para veículos elétricos é liberalizada;
- iv. Mercado totalmente liberalizado: a instalação, gestão e operação dos postos de recarga devem ser liberalizadas assim como a compra e venda de energia;

A definição por um ou outro marco regulatório influencia no desenvolvimento de diferentes modelos de negócio e o surgimento de novos agentes dentro do mercado de gestão de energia e infraestrutura. No do mercado totalmente liberalizado, a gestão do posto elétrico pode ser feita pela distribuidora ou por um agente terceiro – operador do posto elétrico – conforme demonstra a Figura 8.

Figura 8 - Operador do posto elétrico

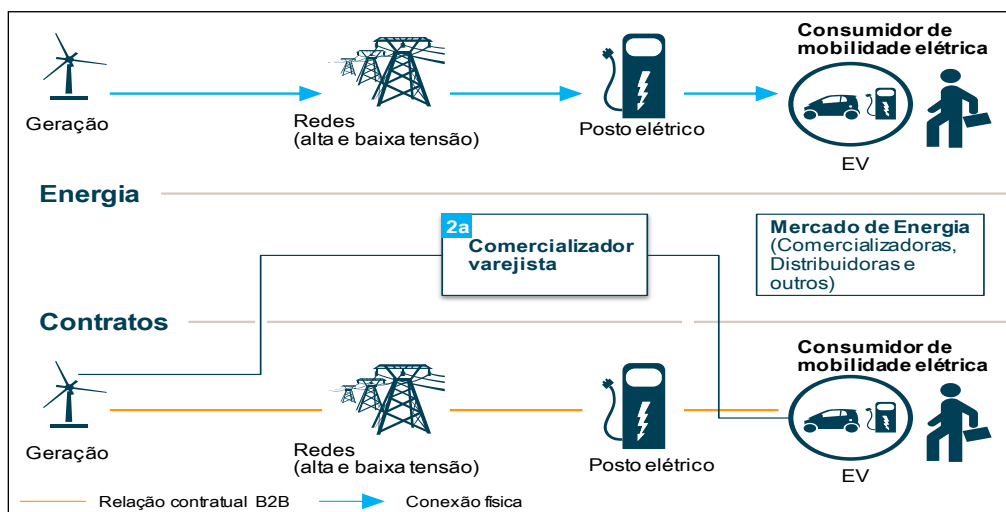


Fonte: Elaboração própria

O operador de posto de recarga é responsável pela operação técnica da infraestrutura de recarga, além do monitoramento dos dados coletados e da manutenção dos equipamentos, vislumbrando o acesso dos postos de recarga aos consumidores finais (EURELECTRIC, 2013). Em função do marco regulatório implantado, pode se considerar que o operador de posto de recarga seja integrado na distribuidora ou, ao contrário, seja uma entidade independente. Pode se considerar também que o operador de posto de recarga não seja apenas responsável pela operação técnica dos postos, como também pela comercialização de energia elétrica.

Provavelmente no modelo de mercado implementado, haverá uma distinção entre o operador técnico da rede de recarga e o comercializador de energia elétrica para a mobilidade elétrica. Em mercados liberalizados, esse agente vende energia para o abastecimento do veículo elétrico, através de planos pré-pago ou mensais ou através ou pelo pagamento direto por recarga. O provedor de serviço de mobilidade elétrica é o agente responsável pelo serviço de mobilidade elétrica para o consumidor, cuja oferta não se restringe à comercialização de energia, mas pode abranger também outros serviços (estacionamento, locação de carro elétrico, etc...). A Figura 9 demonstra o papel desse agente dentro da mobilidade elétrica:

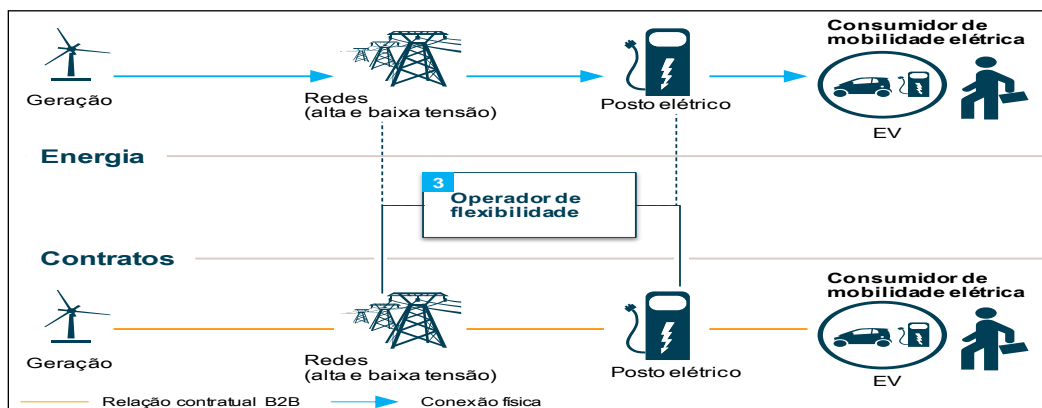
Figura 9 – Provedor de serviço de mobilidade elétrica



Fonte: Elaboração própria

Uma terceira entidade central na elaboração de um modelo de mercado para a infraestrutura de recarga pública é a figura do *clearing house*. Este agente é o articulador do modelo de mercado, na medida em que ele agiliza as transações entre os diferentes atores previamente definidos. O foco deste agente é organizar o balanço energético e financeiro da rede de recarga entre os operadores de postos e os provedores de serviço de mobilidade.

Figura 10: Operador de flexibilidade



Fonte: Elaboração própria

Em suma, a maturação do mercado e consequente maior liberalização traz o surgimento de novos agentes e oportunidades de negócio que podem ser executadas ou não pelos atuais atores do setor elétrico.

A seguir serão apresentados casos internacionais de modelos de inserção de veículos elétricos que ilustram a diversidade de alternativas. Este exame de experiências internacionais é de grande relevância na medida em que fornece elementos para a discussão relativa ao modelo de mobilidade elétrica mais pertinente ao Brasil que será feita na Seção 5 deste relatório.

3.1 – Redes Nacionais de Recargas Elétricas

Segundo PEREZ *et al.* (2012), a necessidade da implementação de uma rede de recarga é consenso dentre todos os atores envolvidos com a mobilidade elétrica. O caráter de essencialidade desta implementação para difusão dos veículos elétricos advém da constatação que é vital reduzir a percepção negativa dos consumidores sobre a autonomia (EGBUE e LONG, 2012). Dado que muitos países já subsidiam veículos elétricos de forma a torná-los competitivos com os automóveis convencionais, a questão central para a inserção de veículos elétricos

na frota passa a ser a existência de uma estrutura de abastecimento. Em realidade, são questões inter-relacionadas pois os consumidores não vão comprar veículos elétricos sem uma estrutura de abastecimento suficientemente desenvolvida, enquanto as empresas de energia não vão desejar iniciar grandes investimentos na instalação de postos de recarga sem uma demanda assegurada (ELECTRIFICATION COALITION, 2009).

Neste contexto, o papel do setor público é fundamental para incentivar as primeiras etapas da estruturação de uma rede de recarga de veículos elétricos com o objetivo de reduzir a percepção negativa por parte dos consumidores e iniciar um ciclo virtuoso de investimentos na área. Os países da *Electric Vehicles Initiative* (EVI)⁶⁵ atuam nesta direção e já investiram cerca de U\$ 800 milhões nas infraestruturas de recarga (IEA, 2013). O objetivo da aliança EVI é de chegar até 2,4 milhões de postos de recarga públicos até 2020. Concomitantemente, o papel do setor público não se restringe a dar apoio financeiro, mas reside também na elaboração de um sistema regulatório sobre os diferentes agentes implicados no negócio da recarga de veículos elétricos.

3.1.1 – O Caso Português

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (Portugal Eficiência 2015)⁶⁶ engloba um conjunto de programas e tem por objetivo melhorar a eficiência energética do país. Dentro dessas ações, o governo português lançou em fevereiro de 2009 o *Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal – MOBI.E*, a fim de criar as condições para viabilizar a emergência dos carros elétricos no território português (PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, 20 de fevereiro de 2009). Com vistas a incitar a inserção dos carros elétricos em Portugal, o governo definiu os seguintes objetivos como prioritários:

⁶⁵ Associação de 15 países que respondem por 90% do estoque mundial de veículos elétricos.

⁶⁶ Plano promulgado em maio de 2008.

- i. Criação de um enquadramento legal;
- ii. Estruturação de uma rede nacional de recarga de carros elétricos;
- iii. Constituição de um modelo de serviço;
- iv. Definição das formas de financiamento.

Em setembro de 2009, o governo português explicitou o plano de trabalho do programa (PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, 7 de Setembro de 2009). A primeira fase consiste na etapa piloto do projeto onde o governo tinha como meta a implementação de uma infraestrutura mínima de 1350 pontos de recarga de carros elétricos até o final de 2011, divididos entre 1300 postos de recarga de nível II e 50 postos de recarga de nível III. O objetivo era de espalhar a rede de recarga entre 25 municípios, englobando as principais capitais de distrito e as áreas metropolitanas de Lisboa e Porto, e através das principais estradas do país. O texto identificou os diferentes espaços de recarga de carros elétricos – espaços públicos ou privados de acesso público, espaços privados de acesso privado – e destacou o papel dos municípios para investir no desenvolvimento da rede de recarga nos espaços públicos.

Ainda em 2009, foi promulgada uma resolução em que o governo definiu a tipologia dos atores envolvidos na estruturação da rede de recarga de carros elétricos, a fim de determinar e atribuir as diferentes responsabilidades no fomento desse novo paradigma tecnológico:

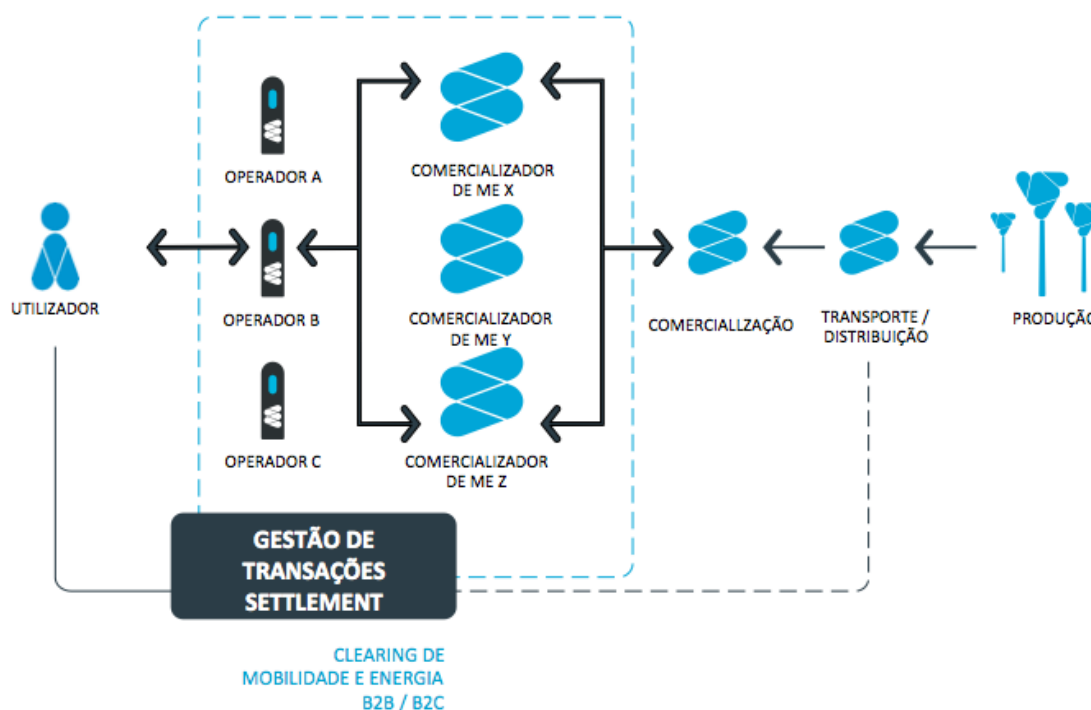
Operador de ponto de carregamento: responsável pela instalação, manutenção e operação dos postos de recarga;

Comercializador de eletricidade para a mobilidade elétrica: comercializam energia elétrica para os utilizadores finais;

Gestor da rede: efetuam a gestão dos diversos fluxos – energéticos, financeiros, informativos – e assegurando a acessibilidade da rede nacional de recarga a qualquer utilizador.

Por sua vez, o Decreto-Lei n.º39 de abril de 2010 aborda de maneira mais abrangente o ambiente da mobilidade elétrica em Portugal. Dentro desse quadro, resumido na Figura 11, os usuários têm a possibilidade de contratar qualquer comercializador para a mobilidade elétrica e têm uma liberdade de acesso a qualquer ponto de carregamento de acesso público da rede. Na fase piloto do Programa, as atividades de gestão da rede e de operação dos postos são reguladas enquanto a comercialização de energia para a mobilidade elétrica é uma atividade competitiva.

Figura 11: Ambiente Organizacional Português



Fonte: Elaboração Própria

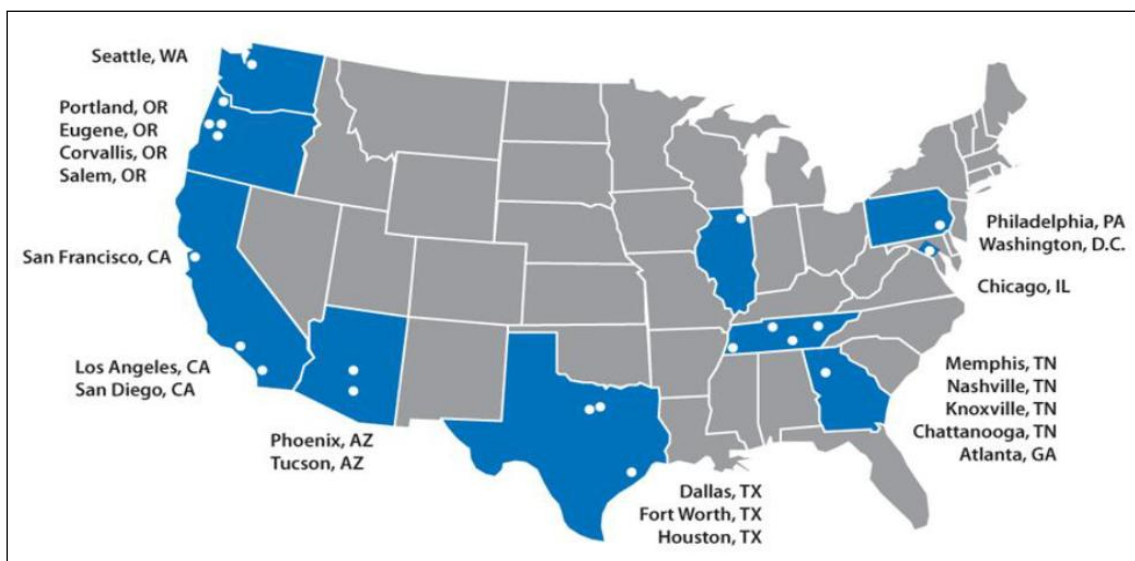
Em síntese, Portugal está desenvolvendo desde 2008 uma rede nacional de recarga de veículos elétricos baseada em um esquema regulatório que controla os agentes de gestão da rede e de operação dos pontos de recarga. A regulação não afeta a parte da comercialização, que segue um regime de livre concorrência. O gestor da rede é o órgão central dessa estrutura por ser o agente que regula os fluxos energéticos e financeiros da rede. A partir das informações agregadas durante a fase inicial do programa, o MOBI.E entrará em uma nova etapa de adaptação dos recursos em função do uso dos utilizadores finais. Como consequência, o Programa está sendo revisado na sua parte de planejamento, a fim de ajustar-se à demanda local (GABINETES DOS SECRETÁRIOS DE ESTADO DO EMPREENDEDORISMO, COMPETITIVIDADE E INOVAÇÃO E DA ENERGIA, 15 de julho de 2013).

3.1.2 – O Modelo dos EUA

O *American Recovery and Reinvestment Act* (ARRA) financia e apoia desde 2009 o maior projeto mundial de demonstração de veículos elétricos⁶⁷ (HEV, 2011). O *ECOTality EV Project*, iniciado em 2010 resulta diretamente deste objetivo político. O orçamento de US\$ 230 milhões é financiado metade pelo setor público através do *US Department of Energy* (DOE) e a outra metade está sendo financiada pelo setor privado com ECOTality e seus parceiros (SCHEY, 2013). O *EV Project* é o maior projeto de infraestrutura de recarga de carros elétricos do mundo, com o objetivo de instalar 13 mil postos de recarga de nível II e 200 postos de recarga rápido – de corrente contínua – espalhados em 18 das maiores cidades do país e em áreas metropolitanas localizadas em 10 estados. A Figura 12 apresenta o estado do desenvolvimento do *EV Project* em abril de 2013.

Figura 12 - Distribuição dos Pontos de Recarga do EV Project

⁶⁷ O projeto já concedeu financiamentos que totalizam mais de US\$ 400 milhões.



Fonte: SCHEY (2013).

O projeto não visa apenas o planejamento e a instalação de uma rede nacional de postos de recargas, contemplando também a coleta de dados sobre os veículos e os postos da rede (SCHEY, 2013). A finalidade desse levantamento de dados é publicar as informações relevantes sobre a rede do *EV Project* via artigos, *white papers* e outros relatórios técnicos e assim entender melhor o comportamento de recarga dos utilizadores de veículos elétricos. Por exemplo, o relatório do primeiro trimestre de 2013 da ECOTality destaca alguns dados interessantes sobre o uso dos postos instalados. A Tabela 3 resume alguns dados importantes relacionados ao uso dos postos de recarga, e apresenta uma diferenciação entre os diferentes modos de recarga – residencial, privado, público, etc.

Inicialmente, chama atenção o fato que apenas 8.580 postos de recarga estejam sendo utilizados enquanto 11.300 já foram instalados no país, o que significa que mais de 24% dos postos instalados não foram utilizados no primeiro trimestre de 2013. Essa observação explica a importância de otimizar a instalação dos pontos de recarga para atender as necessidades dos consumidores e minimizar os custos do operador responsável pela instalação dos equipamentos.

Tabela 3 - Estatísticas da Recarga dos Veículos no *EV Project*

Período: Janeiro 2013 - Março 2013	Residencial Nível II	Privado Nível II	Público Nível II	Público DC Nível III	Total
Uso dos Postos de Recarga					
Número de postos*	6.031	189	2.288	72	8.580
Número de recargas	440.480	8.160	39.046	13.507	501.193
Número de recarga / posto	73	43,2	17,1	187,6	58,4
Consumo de eletricidade (MWh)	3.624	91,7	322,5	102	4.140
Percentagem do tempo com veículo conectado	44%	19%	4%	3%	32%
Percentagem do tempo com posto fornecendo energia	9%	9%	2%	3%	7%

* = postos sendo utilizados pelo menos uma vez no período

Fonte: SCHEY (2013).

Ao mesmo tempo, a análise da Tabela 3 indica que existem atualmente 76 postos de nível III na rede *EV Project*, o que representa apenas 0,7% do número total de postos. Mesmo assim, a Tabela 3 mostra que esses postos estão sendo utilizados frequentemente pelos consumidores, pois no primeiro trimestre de 2013, cerca de 188 recargas por posto de nível III foram realizadas. No mesmo período, houve apenas 17 recargas por posto de nível II (nos lugares públicos), então os postos de nível III foram utilizados 10 vezes mais que os de nível II. Esse resultado confirma a preocupação dos utilizadores com o tempo da recarga nos postos públicos, pois os dados sobre as recargas por posto de nível III estão acima das expectativas da ECOTality (SCHEY, 2013).

Os relatórios da ECOTality também informam sobre o padrão de uso dos carros elétricos integrados na rede, ou seja, o comportamento de recarga dos

consumidores. A Tabela 4 apresenta de maneira sintética alguns dados sobre as recargas dos modelos Nissan Leaf e Chevrolet Volt integrados no *EV Project*. É interessante notar que, mesmo sendo o percurso diário médio do utilizador da Nissan Leaf de 46,5 km (menos da metade da autonomia desse carro), os consumidores costumam recarregar seu carro mais de uma vez por dia (1,1 vezes por dia segundo a Tabela 4). Dado que os consumidores ainda não estão familiarizados com os veículos elétricos, esse comportamento pode indicar um elevado grau de ansiedade existente sobre a autonomia. Isso foi também enfatizado pelo alto número de recarga de nível III, relatado no parágrafo anterior. Por outro lado, os dados revelam que quase 80% das recargas dos carros estão realizadas nas residências. Esse indicador mostra o papel estratégico da residência como lugar de recarga *primária*.

Tabela 4: Padrão de Recarga dos Veículos Elétricos no *EV Project*

Período: Janeiro 2013 - Março 2013	Nissan Leaf	Chevrolet Volt
Uso do Veículo		
Número de veículos na rede	4.240	1.766
Distância total percorrida (km)	12.172.038	7.032.435
Distância média de um percurso (km)	11,3	13,2
Distância média por dia (km)	46,5	63,4
Número médio de percursos entre 2 recargas	3,7	3,4
Distância média entre 2 recargas (km)	41,7	44,9
Número médio de recargas por dia	1,1	1,4
Lugares de Recarga		
Em residência	74%	81%

Fora da residencia	21%	14%
Localização não reconhecida pelo sistema	5%	5%

Fonte: SCHEY (2013).

Em suma, o *EV Project* é uma experimentação em larga escala do modelo de rede nacional de recarga de veículos elétricos. No centro desse projeto, as novas tecnologias de comunicação permitem colher uma imensidão de dados. Novamente, como já foi indicado no caso do projeto *MOBI.E*, esse levantamento é primordial a fim de ajustar a instalação dos postos, entender o padrão de utilização dos usuários e minimizar o número de equipamentos inutilizados pelos consumidores.

3.2 – Mobilidade Elétrica como um Serviço

De acordo com o IEA (2013), a iniciativa privada assumirá um papel central no financiamento do desenvolvimento das infraestruturas de recarga de veículos elétricos. Em linhas gerais, a viabilização da eletrificação veicular passa pela criação de negócios inovadores. Contudo, na abordagem clássica dos modelos de negócios, a empresa se foca no produto; por exemplo no caso da indústria automobilística os fabricantes de carros térmicos se focam no carro. Os serviços associados – financiamento, seguros, manutenção – são tratados como instrumentos adicionais, para atrair e fidelizar o consumidor. Desta forma, esses modelos clássicos não são compatíveis com a disseminação de carros elétricos, dado que esses veículos possuem várias restrições técnicas e econômicas.

Uma possível solução consiste na criação de uma abordagem inovadora, menos focada no produto e mais focada no serviço (KLEY *et al*, 2011). Os modelos *car-sharing*, no qual o carro representa apenas o equipamento para atingir o objetivo de mobilidade, é um exemplo típico. Neste mesmo quadro, outros modelos de serviço existem, como por exemplo, tratar a bateria como um elemento separado

do resto do carro e detentor de seu próprio modelo de negócio (ANDERSEN *et al*, 2009).

3.2.1 – O Modelo Car-sharing da AutoLib na França

O caso da *AutoLib* em Paris trata concretamente a mobilidade elétrica como um serviço. Desde 2011 esta empresa oferece um serviço de locação de veículos elétricos na capital francesa e nos municípios vizinhos - rede de 1000 postos de recarga e de 3000 carros elétricos. A característica da *AutoLib* é de ser um operador de mobilidade verticalmente integrado, oferecendo o desenvolvimento do próprio carro da empresa e da sua infraestrutura de recarga, além de gerar a contratação dos clientes e a oferta de serviços (WEILLER, 2012). A contratação do serviço é flexível porque existem planos anual, mensal e também diário. O modelo da *AutoLib* é compatível com as especificidades locais: Paris é uma cidade de apenas 105 km² – 8 vezes menor que Campinas – com uma grande densidade urbana e onde 58% dos parisienses não têm carro (CAENEN *et al*, 2008). Portanto, a quase totalidade dos trajetos podem ser cumpridos pelo carro elétrico da empresa, que possui uma autonomia de 250 km em condições urbanas.

O projeto foi iniciado em julho de 2008, quando a cidade de Paris se juntou com 15 cidades da metrópole parisiense para criar um “sindicato misto” e lançar uma licitação para escolher a empresa gerenciadora do projeto *AutoLib* (ILE DE FRANCE, 2009). Uma vez escolhida a empresa Bolloré para gerenciar a *AutoLib*, o financiamento de € 200 milhões foi dividido entre o governo francês, o sindicato misto e o operador de mobilidade elétrica, como resumido na Tabela 5. Conforme assinalado pelo CENTRE D’ANALYSE STRATEGIQUE (2011), os financiamentos públicos são repartidos entre o sindicato misto (reagrupando os municípios da metropolitana parisiense) e o Estado francês. Primeiro, o sindicato misto concentra sua participação no financiamento dos postos de recarga, com um limite de € 50 mil por posto, ou seja, € 50 milhões para os 1000 postos da rede. Sendo que o

custo de € 60 milhões foi inicialmente estimado para instalar a rede de recarga, os últimos € 10 milhões são financiados pelo operador *AutoLib*. Segundo, o Estado francês dá um subsídio de € 5 mil para cada carro elétrico do operador, o que represente uma ajuda de € 15 milhões para os 3000 carros da rede. Os outros € 105 milhões necessários ao financiamento dos carros elétricos são investidos pela *AutoLib* (SYROTA, 2011).

Tabela 5 - Financiamento do *AutoLib*

	Sindicato Misto	Operador de Mobilidade	Estado Francês
Veículos			
Número de veículos		3000	3000
Investimentos por veículo (k€)		35	5
Custo total veículos (M€)		105	15
Postos de Recarga			
Número de postos	1000	1000	
Custo unitário (k€)	50 ⁶⁸	10	
Custo total postos (M€)	50	10	
Custo total (M€)	50	115	15

Fonte: SYROTA (2011).

Para atingir a rentabilidade econômica, em 2011 a *AutoLib* esperava convencer 200 mil pessoas a contratar um dos planos disponíveis e chegar até 7 horas de uso diário por carro. Segundo o CENTRE D'ANALYSE STRATEGIQUE (2011), essas previsões eram otimistas, dado que uma utilização diária por carro de 7 horas é muito elevada e que os custos de funcionamento – estimados a € 80 milhões por ano – podem subestimar as degradações eventuais dos carros e outros custos imprevistos. Porém, as últimas estatísticas da prefeitura de Paris são muito positivas para o projeto, pois 100 mil consumidores já contrataram um plano com o operador de mobilidade (MAIRIE DE PARIS, 2013). O sucesso deste

⁶⁸ Um “posto” de recarga da *AutoLib* inclui, na média, 6 pontos de recarga de nível II, um terminal eletrônico de comunicação com o consumidor, e em alguns casos uma loja “espaço *AutoLib*” com a presença de um agente da empresa (120 espaços *AutoLib* foram planejados no projeto inicial).

modelo está se exportando em outras cidades francesas (Lyon, Bordeaux) e começa interessar outras cidades do mundo.

3.2.2 – O Sistema Quick-drop da Better Place

Better Place foi um operador de mobilidade elétrica fundado em 2007 na Califórnia que propunha um modelo inovador focado em oferecer serviço de recarga através da troca das baterias dos carros elétricos. O serviço consiste em uma troca de bateria dentro de postos específicos completamente automatizados em menos de 4 minutos – esse sistema é chamado de *quick-drop*. Os maiores postos possuíam até 16 baterias e podiam trocar 12 baterias por hora (FDT, 2013). *Better Place* lançou seu modelo em vários países: Israel, Dinamarca, Austrália, China e EUA (Califórnia). Além desses postos de trocas de baterias, serviço central desse modelo de serviço, a empresa também desenvolveu uma rede de postos de recarga tradicionais. Portanto, o grande diferencial da *Better Place* era ser um operador integrado, englobando os equipamentos de baterias, as tecnologias de comunicação e as infraestruturas de recarga.

A *Better Place* oferecia um serviço de locação de bateria de carro elétrico, assim o consumidor não precisava mais comprar a bateria junto com seu carro elétrico. No contrato com a *Better Place*, o pagamento era dividido entre um valor fixo e um valor variável, função do número de quilômetros por ano que o usuário pretende percorrer com seu carro. Assim, na hora de alugar a bateria, o cliente poderia escolher entre cinco pacotes de “quilômetros por ano”: 10 mil, 15 mil, 20 mil, 30 mil ou mais de 40 mil (CHRISTENSEN *et al*, 2012).

Apesar de inovador, o modelo de serviço desenvolvido pela *Better Place* resultou em dificuldades que inviabilizaram economicamente a empresa, levando a um

pedido de falência em maio de 2013⁶⁹. Por exemplo, os custos dos postos de trocas de baterias são muito elevados, cerca de € 2 milhões segundo as diferentes estimativas (WIEDERER e PHILIP, 2010; CHRISTENSEN *et al*, 2012; FDT, 2013). Esse valor se explica pelo alto custo das baterias e pela necessidade dos postos de possuir um número suficiente de baterias para atender a demanda. Com um valor de posto tão alto, o modelo da *Better Place* é capital intensivo. Portanto, a empresa precisa de uma massa crítica de consumidores para atingir a rentabilidade econômica, como no caso da *AutoLib*.

Além disso, um problema central desse modelo é que a troca de bateria não é compatível com a maioria dos modelos de carros elétricos. Logo, o sistema da *Better Place* necessita que o veículo seja tecnicamente compatível com a troca de bateria, mas essa característica não foi adotada pela maioria dos fabricantes de carros elétricos. Apenas o fabricante Renault assinou um acordo com a *Better Place* para produzir um carro elétrico compatível com a troca de bateria, a Renault Fluence Z.E (CHRISTENSEN *et al*, 2012). Esse problema representa a maior desvantagem para a *Better Place*, pois restringe seu modelo a apenas alguns modelos de veículos e, por consequência, reduz as chances de conseguir o número mínimo de usuários para atender a rentabilidade econômica (apenas cerca de 1.000 Fluences ZE foram vendidos em Israel e cerca de 400 na Dinamarca). Outro problema que se encontra especificamente no caso da Dinamarca, é que os carros compatíveis com o sistema da *Better Place* não podem usar os postos de recarga tradicionais instalados por CLEVER, um segundo operador de mobilidade do país (FDT, 2013). Isso representa mais uma barreira para os usuários, que já são muito preocupadas com a autonomia do carro elétrico.

⁶⁹ Depois do processo de falência da empresa em maio de 2013, e da sua liquidação, alguns consórcios israelenses – como Sunrise e Success Assets – demonstraram seu interesse em comprar Better Place, mas por enquanto a justiça ainda não aceitou nenhuma proposta.

4 – Impactos sobre o Setor Elétrico

A mudança do paradigma tecnológico do setor de transportes provocará impactos nos sistemas elétricos. Historicamente, a energia elétrica tem participação marginal no atendimento das demandas energéticas associadas à mobilidade. Dado que boa parte das medidas de efficientização do sistema de transportes é baseada na eletrificação dos mecanismos de propulsão dos veículos, a demanda e a carga dos sistemas elétricos serão impactadas. Neste sentido, análises prospectivas sobre os sistemas energéticos precisarão incorporar os efeitos inerentes à inserção na frota de veículos híbridos *plug in* e de veículos a bateria.

Tratam-se de impactos de ordem local e sistêmico. Por um lado, as casas e/ou edifícios de escritórios terão que estar preparados a atender a demanda de recarga destes veículos ao mesmo tempo em que fornecem energia a outros aparelhos elétricos. Em paralelo, estacionamentos e postos de recarga precisarão ser dimensionados de forma a permitir a recarga de diversos veículos ao mesmo tempo. Sob a ótica sistêmica, é preciso o dimensionamento da rede com vistas ao adequado atendimento da frota de veículos elétricos.

Dentre os possíveis efeitos da inserção de veículos elétricos sobre o setor elétrico, o aumento da carga dos transformadores, desvios de tensão e perdas no sistema de distribuição são bastante relevantes (WEILLER, 2011; GREEN II *et al.*, 2011; CLEMENT-NYNS *et al.*, 2010). Por sua vez, ONAR e KHALIGH (2010) ressaltam que as características de carga dos carregadores dos BEV podem exigir potência reativa e gerar distorções harmônicas.

A dimensão dos impactos da inserção de veículos abastecidos na rede sobre o consumo e a carga de energia elétrica será função de variáveis internas e

externas ao setor elétrico⁷⁰. No âmbito das questões exógenas ao setor, o consumo de energia elétrica por parte da frota de veículos é um elemento central na determinação destes impactos. A dimensão deste consumo será determinada, basicamente, pela conjugação da penetração destes veículos na frota com a eficiência dos mesmos e a distância comumente percorrida. Ao mesmo tempo, o tipo de bateria a ser utilizada também será um elemento importante desta dinâmica.

Em termos dos fatores inerentes ao setor elétrico que são determinantes destes impactos, a tipologia da infraestrutura da rede de abastecimento destes veículos é uma variável central, especialmente no que se refere ao comportamento da carga do sistema. Ao mesmo tempo, o momento da recarga dos veículos também será uma questão vital no impacto sobre a rede. Cabe destacar, que o horário de recarga do veículo é função da infraestrutura disponibilizada e do marco regulatório vigente. Desta forma, caso a recarga das baterias ocorra de forma desordenada, muito provavelmente ocorrerá um aumento da demanda de ponta do sistema⁷¹ (KIVILUOMA e MEIBOM, 2011). Em contrapartida, a adoção de incentivos tarifários que incitem a recarga ao longo da noite e de infraestrutura inteligente (*smart grids*) que controlem o momento e a intensidade da carga, poderão contribuir para a redução da capacidade ociosa do parque gerador atenuando a curva de carga.

Em linhas gerais, a questão principal a ser equacionada é a potência requerida por estes veículos e não o acréscimo de demanda ocasionado pelos mesmos. BORBA (2012) faz estimativas do impacto da demanda e da carga sobre o sistema elétrico brasileiro no cenário em que os veículos elétricos representam 20% da frota e que percorrerem uma média de 8 mil km por ano com um consumo de 6 kWh/km,

⁷⁰ Estes impactos não serão uniformes nos diferentes países e regiões. Isto deriva da constatação que as políticas de incentivos, as infraestruturas de recarga e as preferências dos consumidores tendem a ser divergentes. Segundo MIT (2011), prospecta-se que haja maior penetração de veículos elétricos em algumas zonas residenciais de elevado rendimento e com um nível superior de “consciência ecológica”.

⁷¹ O aumento da demanda de ponta aumenta a capacidade ociosa do parque de geração porque acentua a necessidade do sistema de ter usinas disponíveis que irão operar apenas nas horas de pico do dia.

como resultado o autor calcula que a demanda dos veículos equivaleria a menos de 2% do consumo de energia elétrica brasileira de 2011, enquanto que o acréscimo da demanda máxima de potência seria de 10%, caso o abastecimento dos veículos ocorresse após as 18 horas⁷².

Observa-se assim que o gerenciamento da recarga dos veículos elétricos é condição basilar para que a mobilidade elétrica não tenha consequências negativas na operação do sistema elétrico. Contudo, tradicionalmente são sistemas analógicos e eletromecânicos que compõem a rede de energia elétrica (BARAN, 2012). Logo, a adoção de *smart grids* torna-se um pré-requisito para que os veículos elétricos não causem impactos negativos para o setor elétrico.

A implementação de infraestruturas de recarga associada às redes inteligentes não possibilitará apenas o gerenciamento da recarga de veículos elétricos com o objetivo de não causar impactos negativos ao sistema elétrico. É possível vislumbrar-se que existirão grandes modificações no sistema energético, dentre as quais, a possibilidade dos veículos se constituírem em fontes de geração distribuída. Em síntese, os veículos deixarão de ser meros consumidores de energia e passarão a também ser geradores. Desta forma, irão contribuir para redução da necessidade de expansão do sistema elétrico. Esta tecnologia em que os BEV e os PHEV podem injetar energia na rede é denominada *vehicle to grid* (V2G) e contrapõe-se ao *grid-to-vehicle* (G2V) que consiste no mero carregamento dos veículos a partir da rede.

A conjugação das tecnologias V2G e G2V pode ser definida como um sistema em que existem fluxos de comunicação e de energia elétrica, controláveis e bidirecionais, entre o veículo e a rede elétrica. No sentido “tradicional”, *i.e.* G2V, os fluxos de eletricidade são unidirecionais da rede para os veículos com o objetivo

⁷² A demanda por energia elétrica teria um acréscimo de 7,9 TWh e a potência requerida para o atendimento da ponta teria que ter um incremento de 6,8 GW. Em um cenário mais conservador onde os veículos elétricos respondessem por apenas 10% da frota, o acréscimo no consumo seria de 4 TWh e a potência adicional requerida seria de 3,4 GW.

de carregar as baterias. Em contrapartida, o V2G poderá ocorrer em momentos que seja necessário atender às exigências da demanda de eletricidade do sistema com vistas a contribuir para a estabilidade da rede elétrica (CLEMENT-NYNS *et al.*, 2011).

O conceito de V2G se assenta na utilização dos veículos elétricos, mais especificamente das suas baterias, como um meio de armazenamento de energia provenientes da rede⁷³. Neste sentido, passa existir a possibilidade de intercâmbio entre as partes, de forma a satisfazer picos no consumo de eletricidade a custos competitivos e podendo conferir aos utilizadores dos veículos elétricos a possibilidade de acumular energia a ser comercializada nos momentos de pico que é justamente quando os preços estão mais atrativos (BALSA, 2013; KEMPTON e TOMIC, 2005a; RICHARDSON, 2013).

Em paralelo, existem dois tipos de serviços auxiliares para o sistema⁷⁴ que os sistemas V2G poderão prestar ao sistema:

- i. Reserva operacional das próprias redes elétricas, regulação que diz respeito à resposta para ajustar a tensão e a frequência da rede elétrica;
- ii. *Spinning reserve*, que corresponde às centrais que estão ativadas e prontas para fornecer energia à rede rapidamente numa questão de minutos, sendo

⁷³ É importante ressaltar que, apesar de tecnicamente possível, a viabilidade da utilização de V2G em larga escala está ainda longe de acontecer e depende de uma série de fatores, a saber: magnitude da capacidade de armazenamento dos veículos elétricos (número de veículos x capacidade de carga média das baterias), impacto desta utilização na vida útil das baterias (a depender da tecnologia de bateria utilizada), custo de sistemas alternativos de armazenamento (ex.: baterias estacionárias), existência de padrões e protocolos de negociação de carga que englobem grande número de veículos, aculturação dos usuários (que tipicamente não gostariam de disponibilizar sua carga, sob risco de não ter autonomia quando precisar do veículo), e, por fim, modelos regulatórios e de remuneração que viabilizem este tipo de operação.

⁷⁴ Em um primeiro momento, a competitividade da tecnologia V2G deverá estar associada a oferta destes serviços (BRIONES *et al.*, 2012; KEMPTON & TOMIC, 2005a, 2005b; MULLAN *et al.*, 2012; TURTON & MOURA, 2008).

a rapidez proporcionada pelos sistemas V2G um dos principais benefícios que introduzem à rede elétrica.

Os sistemas elétricos atuais exigem equilíbrio constante entre a produção e a demanda de eletricidade. Qualquer perturbação deste equilíbrio pode causar instabilidade de frequência, representando um risco para o bom funcionamento da rede. Embora a capacidade de armazenamento individual dos veículos seja consideravelmente reduzida, a proliferação dos veículos elétricos aumentará a capacidade de armazenamento do sistema, podendo assim ser tomada como uma solução viável para mitigar flutuações entre a oferta e demanda na rede elétrica (CLEMENT-NYNS *et al.*, 2011; KEMPTON e TOMIC, 2005a).

KEMPTON e TOMIC (2005b), tendo os EUA como foco analítico, afirmam que frota de veículos, comparativamente com o sistema elétrico americano, tem um nível de potência (agregada) vinte vezes superior, menos de um décimo de utilização e um décimo do custo de capital por kW de força motriz. Por outro lado, os geradores elétricos das *utilities* têm uma vida útil de operação dez a cinquenta vezes superior e custos operacionais por kWh mais reduzidos.

Como já fora mencionado, os veículos se encontram parados mais de 90% do tempo. Logo, a lógica da introdução das tecnologias de V2G reside no aproveitamento destes (longos) períodos de tempo para que as baterias possam ser utilizadas, para além do seu carregamento, no fornecimento de energia à rede elétrica, sem comprometer as necessidades de mobilidade dos proprietários dos veículos. Cada veículo estacionado contém tanto combustível (ou bateria) como capacidade de armazenamento subutilizados, e pode mesmo criar valor negativo, devido aos custos de estacionamento. Por conseguinte, os sistemas V2G podem rentabilizar os investimentos (*i.e.* na aquisição dos veículos), reduzindo por esta via os custos de propriedade. (HEIN *et al.*, 2012; KEMPTON e TOMIC, 2005b; LETENDRE *et al.*, 2006; MULLAN *et al.*, 2012; TURTON e MOURA, 2008).

A adoção de sistemas V2G pode ser especialmente importante em um contexto onde se verificam investimentos crescentes em plantas de geração a partir de fontes renováveis e intermitentes, como são os casos da energia eólica e da energia solar fotovoltaica. Dado que inexiste uma estrutura de armazenamento de eletricidade custo-eficaz, existem restrições a uma expansão em larga escala destas fontes. Além disso, a energia produzida a partir de fontes de energia renováveis intermitentes, pela sua natureza, pode não coincidir com os picos de consumo diários e, por consequência, passa a existir déficits de potência. Neste sentido, nota-se que natureza intermitente destas fontes pode desestabilizar a rede elétrica e a importância que as baterias dos veículos elétricos podem vir a ter atuando como *buffer* que armazenam o excesso de energia gerada a partir de fontes renováveis nos momentos em que estas excedam a demanda⁷⁵ (BRIONES *et al.*, 2012).

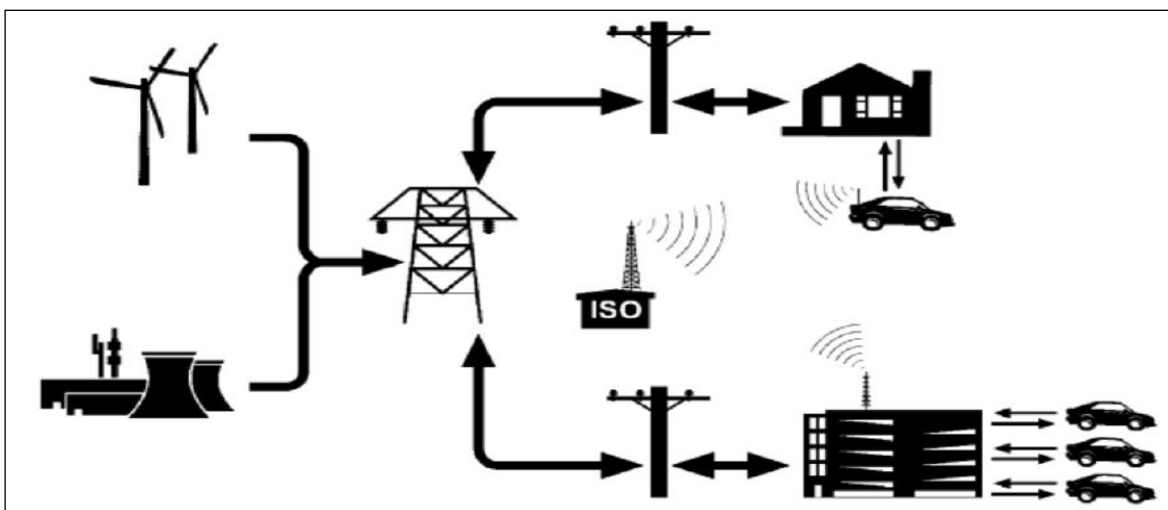
No caso brasileiro, BORBA (2012) destaca a importância do V2G para a inserção em larga escala de usinas eólicas na Região Nordeste, dado que o sistema elétrico brasileiro está se expandindo com base em projetos inflexíveis, como é o caso das usinas hidroelétricas a fio d'água e da própria energia eólica. Neste sentido, além da evidente importância de construção de térmicas com vistas a garantir a segurança do sistema, a adoção da tecnologia V2G é uma alternativa bastante pertinente.

Em síntese, a existência de fluxos energéticos e de informação entre os veículos e a rede faz com que esta tecnologia tenha expressivo potencial de transformação dos setores de transporte e de energia. Logo, a mesma pode acelerar a adoção de novas tecnologias e promover alternativas de mobilidade, reduzindo ineficiências em termos de capacidade instalada e suportando o acesso a recursos energéticos

⁷⁵ Para KHAYYAMAM *et al.* (2012) não faz sentido a implementação e proliferação do sistema V2G na ausência do objetivo de redução da intensidade de carbono do consumo de energia elétrica, sendo fundamental a complementaridade do V2G com fontes energéticas renováveis (intermitentes) como a eólica, a solar ou outras alternativas. KEMPTON & TOMIC (2005a, 2005b) afirmam mesmo que o papel mais importante da implementação do sistema V2G é apoiar o crescimento e a produção intermitente das fontes renováveis.

com origem em fontes renováveis intermitentes (BALSA, 2013; KEMPTON e TOMIC, 2005a; RICHARDSON, 2013). A Figura 13 apresenta o esquema típico de uma estrutura V2G, cabendo destacar que a comunicação entre os veículos e o operador da rede poderá se processar através da internet, telefonia celular ou mesmo rádio⁷⁶.

Figura 13: Estrutura de um Sistema V2G



Fonte: BORBA (2012).

Observa-se assim que, para que esta tecnologia seja possível, os veículos devem atender a três pré-requisitos:

- i. Conexão com a rede para permitir os fluxos de eletricidade;
- ii. Ter comunicação direta com o operador de rede;
- iii. Existência de equipamento no veículo para controle e medição dos fluxos elétricos.

Em um sistema V2G, considerando que os proprietários dos veículos elétricos são simultaneamente consumidores e fornecedores de energia elétrica, a adoção de

⁷⁶ O operador do sistema pode comunicar-se diretamente com cada veículo ou por meio de uma central conectada a veículos em um estacionamento.

regimes tarifários que sejam financeiramente atrativos⁷⁷ para estes proprietários é vital para incitar os usuários a aderirem a tecnologia V2G. Conforme BRIONES *et al.* (2012) e SOVACOOOL e HIRSCH (2009), é preciso destacar que existem três questões, conflituosas entre si, que caracterizam a realidade dos proprietários dos veículos elétricos:

- i. A bateria deverá estar sempre carregada a um nível mínimo que satisfaça as necessidades de mobilidade dos proprietários dos veículos;
- ii. A “venda” de energia elétrica à rede, ou a mera disponibilização da eletricidade armazenada, gerará receitas aos proprietários dos VEs;
- iii. No entanto, o aumento dos ciclos de utilização das baterias contribuirá para a sua degradação mais rápida, o que poderá ser um problema tanto para os proprietários dos veículos elétricos como para os fabricantes das baterias (devido à garantia no momento de aquisição), visto ser expectável que as mesmas continuem dispendiosas no futuro próximo.

As *utilities* reconhecem no sistema V2G, com as inerentes capacidades bidirecionais de energia e comunicação, vantagens no aumento da capacidade de armazenamento de energia elétrica para “acomodar” o aumento da produção por fontes renováveis intermitentes, na melhoria de eficiência na gestão da rede, na identificação de oportunidades de prestação de serviços de energia auxiliares e complementares à sua atividade principal. Por outro lado, autores como BRIONES *et al.* (2012) ou SOVACOOOL e HIRSH (2009) alegam que as *utilities*, que são os agentes que mais poderão ter a ganhar com a implementação dos sistemas V2G, podem mostrar reticência, e mesmo oposição, ao desenvolvimento dos mesmos porque a proliferação da venda de eletricidade à rede pelos veículos elétricos pode fazer abrandar investimentos em usinas elétricas. Todavia, esta convicção carece de evidência empírica antes da efetiva concretização da implementação destes sistemas.

⁷⁷ Por exemplo, o preço de compra de energia poderia ser inferior ao preço de venda ou meramente ser concedidas compensações diretas.

Cabe destacar que as *utilities* enfrentam complexas estruturas regulatórias, barreiras financeiras e tecnológicas na implementação de novas tecnologias e modelos de negócio, as quais também se aplicam à implementação e desenvolvimento do sistema V2G: requisitos de operacionalização da rede “não tradicionais”, *standards* de rápida evolução, impactos de longo prazo na vida útil das baterias desconhecidos, ausência/escassez de capital disponível para investimento, custos adicionais para o cumprimento das regras estabelecidas, incerteza na contabilização dos fluxos de energia elétrica, incerteza nos preços de eletricidade, entre outros (BRIONES *et al.*, 2012; SOVACOOOL e HIRSH, 2009).

Uma alternativa ao sistema V2G, são sistemas V2B / V2H que podem ser adotados por moradores de edifícios e casas que desejem recorrer à capacidade bidirecional dos fluxos energéticos para fornecer uma fonte secundária de energia elétrica ao edifício/residência que compense (em caso de interrupção) ou complemente o fornecimento de eletricidade por parte da *utility*. Nos sistemas V2B e V2H, o fluxo é similar ao fornecimento de eletricidade por sistemas fotovoltaicos mas sem a capacidade de fluxos bidirecionais. Se, por um lado, estes sistemas são de reduzida complexidade porque deixa de ser necessária a coordenação e comunicação entre o veículo e a rede, por outro lado os sistemas V2B e V2H são menos atrativos que o V2G para as *utilities* porque só terão impacto na redução de picos de consumo e a rede não ganhará nenhuma capacidade adicional de armazenamento de energia elétrica (BRIONES *et al.*, 2012).

Por sua vez, as entidades reguladoras tendem a estar menos receptivas à evolução para um paradigma de fluxos bidirecionais de comunicação e de energia elétrica porque o sistema V2G vai para além da sua missão principal que é garantir o acesso a serviços energéticos, por parte dos consumidores, com confiabilidade. Este enviesamento em relação ao seu “*business as usual*” implicará novos processos de regulamentação, gerará níveis superiores de burocracia, e os reguladores sofrerão pressões lobistas principalmente dos

agentes de mercado do lado da oferta (*utilities*) quanto ao ritmo da evolução regulamentar e dos incentivos que os últimos receberão (BRIONES *et al.*, 2012).

Apesar do conceito V2G trazer benefícios para o sistema energético e para os diversos agentes envolvidos, existe uma série de obstáculos, tanto em termos tecnológicos como econômicos, a serem superados para que esta tecnologia seja efetivamente implementada. Por exemplo, é preciso equacionar questões técnicas da rede elétrica, equipamentos de V2G, e *standards* de veículos com a tecnologia relacionada para que se construa uma infraestrutura e, ao mesmo tempo, se estimule os modelos de negócios V2G⁷⁸, visto que a maioria dos atuais *standards* e regulações em vigor foram desenvolvidas para fluxos unidirecionais de energia elétrica, *i.e. grid-to-vehicle* (BRIONES *et al.*, 2012).

Porém, embora ainda existam desafios regulamentares, tecnológicos e de mercado, a integração de uma infraestrutura consolidada de geração distribuída e do armazenamento através dos veículos elétricos pode potenciar um sistema elétrico mais “limpo”, fiável e eficiente, tanto do lado da oferta como da demanda (NIST, 2013).

⁷⁸ O desenvolvimento de *standards* será um requisito necessário, entre outros, na instalação de equipamentos, comunicação, segurança, interconexão e faturação (BRIONES *et al.*, 2012). Neste contexto, a IEA (2011) recomenda a estandardização nas seguintes áreas: tipos de tomadas, protocolos de recarregamento, protocolos de comunicação entre os veículos e a infraestrutura de recarregamento, regulação para recarregamento público para garantir segurança, regulação e definição de *standards* para a reciclagem de baterias, e regulação das *utilities* para que as mesmas participem ativamente no mercado da mobilidade elétrica.

5 – Mobilidade Elétrica no Brasil

Apesar de prospectar-se mudanças no sistema de transportes brasileiro ao longo dos próximos anos através da expansão da malha ferroviária, a qual passará a responder por uma maior parcela do transporte de cargas, e da maior utilização de meios de transporte coletivos na mobilidade de pessoas em função da expansão da melhoria de qualidade do mesmo⁷⁹, é esperada a manutenção do sistema rodoviário como principal modal da mobilidade brasileira, haja visto que o modelo atual já está consolidado há pelo menos 50 anos.

Especificamente no transporte de pessoas, é preciso ressaltar que a melhoria das condições sócio-econômicas⁸⁰ é um elemento indutor da expansão da frota de veículos leves porque a posse de um veículo é símbolo de status e objeto de desejo por grande parcela da população brasileira. Neste sentido, é perceptível a necessidade de estudar o perfil que a frota de veículos leves brasileira deve ter ao longo dos próximos 20 anos com vistas a identificar suas consequências para os setores energético e ambiental.

Em contraste com a realidade mundial onde veículos híbridos já estão no mercado tem alguns anos, apenas recentemente que estes veículos começaram a ser inseridos no mercado brasileiro e, mesmo assim, com preços bastante elevados devido à carga tributária incidente sobre a importação de veículos. Desta forma, nota-se a relevância de políticas de desoneração tributárias e medidas de incentivo à fabricação destes veículos no território brasileiro. De todo modo, os modelos que começam a estar disponíveis no mercado brasileiro não são *plug in* e

⁷⁹ Estão previstos investimentos em trens de alta velocidade, VLT e a expansão nos sistemas de metrô das grandes metrópoles. Além disso, a adoção de medidas que melhorem a logística do sistema de transportes, como corredores exclusivos para ônibus, já estão sendo implementadas.

⁸⁰ Estima-se que 40% da população será capaz de financiar um veículo em 2030.

não existem perspectivas mais concretas de inserção de veículos elétricos na frota brasileira no curto prazo⁸¹.

Porém, mesmo considerando que a predominância de veículos flex fuel na frota brasileira torna menos urgente a inserção de veículos elétricos na frota em comparação com outros países, é pertinente o suposto que os veículos elétricos estarão presentes na frota brasileira. A questão central é examinar qual deve ser a dimensão da penetração dos veículos elétricos na frota de veículos leves com vistas a mensurar os impactos sobre o setor elétrico. Neste sentido, com base em EPE (2014) e IEA (2011)⁸², foram construídos três cenários de penetração de veículos elétricos no Brasil no horizonte temporal da década de 2030.

5.1 – Cenários para a mobilidade elétrica no Brasil

Inicialmente, a partir da frota de veículos leves de 31,4 milhões de veículos em 2013 (ANFAVEA, 2014) e do crescimento anual médio da frota de 3,5% prospectado por EPE (2014), estima-se em 56,2 milhões a frota brasileira de veículos leves em 2035. Logo, a questão passa a ser examinar a participação que os veículos elétricos teriam nesta frota. O conhecimento do tamanho da frota de veículos leves, assim como da proporção entre PHEV e BEV, e da distância anual média percorrida⁸³ permite estimar os impactos sobre o setor elétrico.

⁸¹ A circulação de veículos elétricos no Brasil está restrita a projetos-piloto levados a cabo por montadoras, geralmente em parceria com *utilities* (como o projeto de Mobilidade Elétrica da CPFL, em parceria com a Renault).

⁸² EPE (2014) apresenta estimativas da evolução da demanda brasileira por energia até 2050. Na parte relativa à frota de veículos leves, a questão dos veículos elétricos é abordada. Por sua vez, IEA vem publicando documentos sobre as perspectivas da mobilidade elétrica em nível mundial. Dentre estas publicações, o Roadmap publicado em 2011 merece destaque para fins da construção destes cenários.

⁸³ No Brasil, estima-se que a distância média anual percorrida pelos veículos seja de 12 mil km por ano (BORBA, 2008; IEA, 2009).

No cenário de referência⁸⁴, assume-se que os PHEV e os BEV responderão, respectivamente, por 4% e 0,5% da frota de veículos leves. Desta forma, a frota de veículos elétricos conectáveis à rede seria de 2,53 milhões de veículos e a demanda por energia destes veículos seria da ordem de 6,85 TWh. Já em um cenário mais conservador⁸⁵, a participação dos PHEV na frota de veículos leves seria de 2% enquanto que a dos BEV seria de 0,5%. Em conjunto, estes veículos totalizariam 1,41 milhões de unidades e teriam um consumo de energia de aproximadamente 3,79 TWh. Em contrapartida, o cenário otimista⁸⁶ é aquele onde os PHEV e os BEV representam, respectivamente, 9% e 3% da frota de veículos leves. Como consequência, a frota de 6,75 milhões de veículos resulta em um consumo de energia de 18,1 TWh.

A Tabela 6 sintetiza os resultados obtidos:

Tabela 6 – Cenários de eletrificação veicular no Brasil para 2030

	Cenário Conservador	Cenário de Referência	Cenário Otimista
Estoque de PHEV na frota total (milhões)	1,12	2,25	5,06
Estoque de VE na frota total (milhões)	0,28	0,28	1,69
Estoque de PHEV/VE na frota total (milhões)	1,41	2,53	6,75

⁸⁴ O cenário de referência se baseia nas previsões da EPE (2014), vislumbrando uma participação de 4% de veículos híbridos e 0,5% de veículos elétricos puros na frota de veículos leves até 2030. Porém, sendo que a proporção de veículos *plug-in* não foi claramente especificada pela EPE (2014), foi considerado neste cenário que a totalidade dos veículos híbridos sejam conectáveis à rede elétrica.

⁸⁵ No cenário conservador, os autores estimaram que apenas 2% dos veículos híbridos sejam *plug-in*. Por outro lado, estima-se uma participação de 0,5% dos veículos elétricos puros na frota de veículos leves.

⁸⁶ O cenário otimista foi elaborado a partir das previsões da IEA (2011), que vislumbra para o ano de 2030 uma participação de 9% dos veículos híbridos *plug-in* e 3% de veículos elétricos puros na frota de veículos leves.

Participação dos PHEV na frota total (%)	2,00%	4,00%	9,00%
Participação dos VE na frota total (%)	0,50%	0,50%	3,00%
Participação dos PHEV/VE na frota total (%)	2,50%	4,50%	12,00%
Consumo de energia dos PHEV (TWh)	3,07	6,14	13,81
Consumo de energia dos VE (TWh)	0,72	0,72	4,31
Consumo de energia dos PHEV/VE (TWh)	3,79	6,85	18,11
Consumo de energia dos PHEV/VE em relação ao consumo total previsto (%)	0,39%	0,71%	1,88%

Fontes: Elaboração Própria a partir de EPE (2014) e IEA (2011).

Os resultados obtidos indicam com clareza que o mercado de mobilidade elétrica não representará grandes impactos no consumo de energia elétrica brasileiro. Como ilustração, mesmo o consumo de 18,1 TWh do cenário otimista, representaria menos de 2% do consumo de 965 TWh projetado para 2035 por EPE (2014). Este resultado é compatível com a argumentação da Seção 4 deste relatório que o impacto sobre o consumo de energia elétrica é reduzido e que o relevante são os impactos sobre a demanda de ponta, os quais serão função do comportamento dos usuários e da infraestrutura de recarga disponível.

A construção de cenários para mobilidade elétrica no Brasil também são relevantes para o dimensionamento da infraestrutura de recarga necessária ao atendimento dos veículos elétricos. Neste sentido, através de uma abordagem *bottom-up* foram estimados dados relativos a instalação dos postos de recarga a partir dos cenários construídos, cujos resultados estão reunidos na Tabela 7⁸⁷. Neste estudo, foram considerados apenas os postos de nível II e de nível III, pois

⁸⁷ Neste estudo, foram considerados apenas os postos de nível II e de nível III, pois o nível I de recarga constitui uma tomada padrão sem qualquer adaptação da rede e não necessita de nenhum investimento por parte do consumidor.

o nível I de recarga constitui uma tomada padrão sem qualquer adaptação da rede e não necessita de nenhum investimento por parte do consumidor.

Para determinar o número de postos de recarga equivalentes aos veículos elétricos inseridos na frota, foram considerados as estimativas de IEA (2013) e SCHEY (2013). Assim, considera-se 0,76 posto de nível II residencial por veículo elétrico, 0,08 posto de nível II público por veículo elétrico e 0,01 posto de nível III por veículo elétrico. Independentemente do cenário considerado, as considerações listadas neste parágrafo fazem com que 89,4% dos postos instalados sejam de nível II residenciais, 9,4% de nível II públicos e 1,2% de postos de nível III. Assim sendo, uma *holding* do setor elétrico poderia se interessar mais pelo negócio da recarga residencial, que representará por si só a quase totalidade do mercado de mobilidade elétrica.

Concomitantemente, é preciso considerar os custos dos investimentos desta infraestrutura, com base nos dados de custos apresentados na seção 2.2 (e mais especificamente nos dados da Tabela 2), estimando não apenas o custo do equipamento de recarga, como também os diversos dispositivos técnicos a serem instalados junto com o equipamento de recarga, além dos custos de planejamento e instalação do dispositivo⁸⁸. A Tabela 7 incorpora os custos dos postos de nível II e nível III previamente estabelecidos e avalia o custo dos investimentos a serem realizados nos três cenários considerados.

Tabela 7 – Cenários de instalação de postos de recarga de veículos elétricos para 2030

	Cenário Conservado	Cenário de	Cenário Otimist
--	-------------------------------	-----------------------	----------------------------

⁸⁸ Conforme estimado na Tabela 2 da segunda seção, o custo do investimento para um posto de recarga residencial de nível II seria de USD 2,3 mil, enquanto ficaria cerca de USD 8,6 mil para um porto de recarga público de nível II e USD 34,5 mil para um posto de nível III.

	r	Referênci a	a
Número de postos residenciais de nível II (milhões)	1,07	1,92	5,11
Número de postos de nível II não residenciais (milhões)	0,11	0,20	0,54
Número de postos de nível III não residenciais (milhões)	0,01	0,03	0,07
Número total de postos de recarga de veículos elétricos (milhões)	1,19	2,15	5,72
CAPEX postos de nível II residenciais (bilhões de USD)	2,46	4,43	11,82
CAPEX postos de nível II não residenciais (bilhões de USD)	0,96	1,73	4,62
CAPEX postos de nível III não residenciais (bilhões de USD)	0,49	0,87	2,33
TOTAL CAPEX (bilhões de USD)	3,91	7,04	18,78

Fontes: EPE (2014), IEA (2011;2013), SCHEY (2013).

De acordo com a Tabela 7, no cenário de referência seriam instalados 2,15 milhões de pontos de recargas⁸⁹, sendo de 1,19 milhões e 5,72 milhões o número de pontos instalados, respectivamente, nos cenários conservador e otimista. Dentro deste cenário de referência, prevê-se a instalação de 1,92 milhões de eletropostos residenciais de nível II, 200 mil postos de recarga pública de nível II e 25 mil postos de recarga de nível III. Em paralelo, a Tabela 7 mostra que o custo

⁸⁹ Dentro deste cenário de referência, prevê-se a instalação de 1,70 milhões de eletropostos residenciais de nível II, 180 mil postos de recarga pública de nível II e 20 mil postos de recarga de nível III.

do investimento no cenário de referência seria de US\$ 7,04 bilhões⁹⁰, o qual no cenário conservador seria de US\$ 3,91 bilhões e no cenário otimista de US\$ 18,78 bilhões.

Em síntese, é possível afirmar que no caso brasileiro, com base no estudo realizado na Tabela 7 e na experiência internacional, é pertinente afirmar que as recargas residenciais serão preponderantes e representarão cerca de 85% das recargas totais (SCHEY, 2013).

5.2 – Cenários regulatórios

No âmbito de um modelo regulado, a infraestrutura de recarga deverá ser vista como uma expansão da infraestrutura da distribuidora. Neste modelo, se considera que a operação técnica dos postos de recarga e a venda de energia para a mobilidade elétrica sejam controladas pela própria distribuidora. Contudo, prevê-se que o detentor de veículo elétrico compre seu equipamento de recarga de nível II residencial, que constituirá seu principal ponto de recarga. Já para os equipamentos de recarga localizados nas áreas privadas de acesso público, como é o caso do estacionamento de shopping ou dos postos de abastecimento, cabe à distribuidora o papel da operação técnica dos postos, além da comercialização da energia. Os postos de recarga fazem parte da base regulatória da distribuidora e são remunerados com base em uma taxa de retorno previamente estabelecida. Da mesma forma, a infraestrutura de recarga pública pertence à distribuidora e está incluída nos ativos da mesma. Cabe à responsabilidade da distribuidora a

⁹⁰ Os investimentos se repartirão entre US\$ 3,94 bilhões para os eletropostos residenciais, US\$ 1,54 bilhões para os eletropostos de nível II públicos e US\$ 780 mil para os postos de nível III. Assim, é interessante anotar que, embora os eletropostos residenciais constituam 89,4% dos postos totais, eles apenas representam 62,9% do investimento total. Por outro lado, os postos de nível III representam apenas 1,2% do total instalado, mas 12,5% do investimento total. Isso decorre do investimento considerável para um posto de nível III do tipo CHadEMO, que chega a um patamar de US\$ 34,5 mil enquanto o eletroposto residencial de nível II representa um investimento de apenas US\$ 2,3 mil.

operação técnica dos postos de recarga, além da comercialização de energia para a infraestrutura de recarga pública e semipública.

Essa tendência de implementação inicial de um modelo regulado já pode ser identificada pelas recentes ações do governo em relação ao tema. No dia 30 de outubro de 2013, a Comissão de Minas e Energia da Câmara dos Deputados aprovou uma proposta que obriga as concessionárias de energia a instalar pontos de recarga de baterias de carros elétricos junto às vagas de estacionamento público. A proposta também determina que caberá ao Executivo criar incentivos para a instalação de tomadas para recarga desses veículos nas garagens de prédios residenciais. Por fim, para que a lei comece a valer, ela deverá ser antes regulamentada pelo Executivo, com a definição das condições de fornecimento da energia e os ajustes necessários nos contratos de concessão das empresas distribuidoras. Na mesma direção, já tramita a regulamentação de pontos de recargas nos postos de combustíveis convencionais.

No que se refere à comercialização de energia para abastecimento destes veículos, o suposto é que o negócio da recarga de veículo elétrico cabe no ambiente de contratação regulado (ACR). Dado o suposto que a recarga dos veículos ocorrerá essencialmente nas residências, é perceptível que a venda de energia será um negócio em basicamente regulado onde as concessionárias de distribuição terão pouca margem para gerar riqueza.

Ao mesmo tempo, nota-se que a infraestrutura de recarga é um dos segmentos de negócio dentro da mobilidade elétrica que trazem maior oportunidades e sinergias para as empresas do setor elétrico. Empresas de distribuição e serviços não regulados já possuem as competências necessárias para a atuação nesse segmento como, por exemplo, a instalação, operação e manutenção de milhares de pontos de conexão – no caso da mobilidade elétrica, postos de recarga.

A partir deste cenário base é necessário identificar variáveis detentoras de incerteza com vistas a delinear possíveis cenários alternativos. Dentre estas variáveis, a evolução da regulamentação da infraestrutura de recarga é uma variável com fortes consequências no negócio da mobilidade elétrica. Logo, é possível delinear 2 cenários alternativos.

Pode se considerar um cenário intermediário no qual a recarga em locais privados seja regulada, ficando sob o controle da distribuidora. Por outro lado, a operação técnica da infraestrutura de recarga pública e semipública fica na mão da distribuidora, mas a comercialização de energia para a mobilidade elétrica nos locais públicos e semipúblicos se torna um negócio competitivo. Nesse modelo, prevê-se que o consumidor adquira seu equipamento de recarga residencial, enquanto as infraestruturas de recargas em locais semipúblicos e públicos sejam instaladas pela distribuidora. Para a comercialização da energia nos locais públicos e semipúblicos, os provedores de serviço de mobilidade propõem seus serviços de recarga, incluindo a energia e demais serviços (como o estacionamento, o *car sharing*, etc...).

Por fim, pode se considerar um terceiro modelo de mercado mais liberalizado. A recarga residencial fica regulada⁹¹, na mão da distribuidora. Ao contrário, nos locais semipúblicos e públicos, a operação técnica dos postos de recarga e a comercialização de energia se tornam dois negócios competitivos. Por exemplo, imagina-se a emergência de um ou vários operadores de postos de recarga independentes. A rede de recarga, financiada pelos utilizadores da infraestrutura, está em livre acesso para todos os provedores de serviço de mobilidade. Por outro lado, pode se considerar que um provedor de mobilidade independente instale sua própria rede de recarga nos locais semipúblicos e públicos, oferecendo seu serviço de mobilidade dentro de uma oferta integrada, incluindo um conjunto de serviços para seus clientes. Desta forma, o provedor de serviço assume a

⁹¹ Neste modelo, o consumidor precisa também comprar seu equipamento de recarga residencial.

operação técnica dos postos de recarga além da venda de energia para a mobilidade elétrica.

Assim os requisitos regulados para os locais públicos e semipúblicos são mínimos, como por exemplo a padronização do modelo de recarga. A principal vantagem desse modelo é o fomento à competição entre os possíveis players desse mercado, além do incentivo ao desenvolvimento de novos modelos de negócio atrelados a infraestrutura de recarga⁹².

Conforme já fora relatado, são os modelos de mercado delimitados pelas normas regulatórias que definirão os modelos de negócios aptos de serem adotados pelos *players* do setor. Considerando que o consumo de energia elétrica em proporção à demanda total tende a ser diminuta, a comercialização de energia não aparenta ser um *business* muito relevante. Desta forma, a propriedade e a operação das infraestruturas de recarga assume especial importância no exame das diretrizes regulatórias. Tal análise não pode desconsiderar o fato que o marco regulatório brasileiro não se caracteriza por um traço liberalizante. Logo, justifica-se assumir o cenário onde a infraestrutura pública e semipública de recarga pertence a concessionária de distribuição de energia elétrica.

⁹² Apesar do modelo liberalizado ter vantagens, como, por exemplo, o fato desse modelo não impactar a tarifa de energia uma vez que o consumidor de energia não irá remunerar essa infraestrutura, esse modelo pode não ser suficiente para viabilizar a infraestrutura necessária de carregamento em mercados incipientes como no caso do Brasil. Esse desafio se dá principalmente em locais públicos e semipúblicos. A implementação de um modelo liberalizado nesses mercados pode trazer a situação em que as empresas não invistam na implementação de infraestrutura de recarga suficiente para a viabilização da mobilidade elétrica.

Considerações Finais

O setor de transportes mundial apresenta predominância do modal rodoviário. Mais do que isso, no âmbito da mobilidade de pessoas, nota-se o uso de larga escala de veículos individuais. Concomitantemente, o suprimento energético do setor de transportes ocorre essencialmente a partir de derivados de petróleo. Como consequência, são notórias as crescentes dificuldades no deslocamento de pessoas e mercadorias e os seus impactos ambientais. Desta forma, é imperativa uma ampla reformulação do sistema de transportes.

Conforme fora visto na Seção 1 deste relatório, a busca por um sistema de transportes eficaz e sustentável passa por medidas que reduzam a demanda por transporte motorizado, políticas que priorizem modais de transportes mais eficientes e, sobretudo, mudanças tecnológicas. Embora os ganhos potenciais de inovações técnicas incrementais não sejam desprezíveis, é preciso a ciência que o desafio do sistema de transporte exige uma mudança no paradigma tecnológico vigente. Neste sentido, a mobilidade elétrica emerge como um elemento essencial nesta lógica que visa dotar a propulsão dos veículos de maior sustentabilidade, especialmente no âmbito dos veículos leves.

Além da redução do custo de aquisição dos veículos, o desenvolvimento de uma infraestrutura de recarga é vital para que haja uma efetiva inserção de veículos elétricos na frota de veículos leves. A construção desta infraestrutura é o passo inicial do estabelecimento de um sistema de transporte dotado de inteligência. Conjugada com redes inteligentes, permitirá gerenciar de forma adequada os impactos sobre a rede, incluindo a possibilidade do sistema V2G. Concomitantemente, o desenvolvimento desta infraestrutura pode estar associado à formatação de diferentes modelos de negócios. A escolha do modelo a ser adotado dependerá do desenho de mercado implementado, sendo este definido pelas diretrizes regulatórias estabelecidas.

No caso do Brasil, a perspectiva de que a comercialização de energia não consista em um *business* atrativo faz com que o interesse econômico das empresas do setor elétrico recaia sobre a exploração das infraestruturas de recarga. Desta forma, a atuação da agência reguladora na definição das regras para estas atividades irão dar as diretrizes das estratégias empresariais a serem adotadas.

Apesar dos veículos leves terem sido o foco analítico deste relatório, é preciso ressaltar que o negócio da mobilidade elétrica não está restrito a este segmento. Conforme fora mencionado na Seção 2, existem nichos específicos onde a implementação de caminhões e ônibus elétricos são inteiramente justificáveis. Em paralelo, embora investimentos na expansão e eletrificação do modal ferroviário não requeiram a formatação de novos modelos de negócios, os mesmos representam oportunidades para geração de receita por parte das empresas do setor elétrico⁹³.

Por fim, é preciso considerar que os serviços de valor adicional para a mobilidade elétrica trazem uma nova gama de produtos e serviços, que podem ou não ser ofertados pelas empresas do setor elétrico. Sua atuação dependerá da tolerância ao risco e propensão de cada grupo empresarial a buscar novos modelos de negócio não relacionados com as atuais competências e atividades da cadeia tradicional do setor elétrico – geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia. Dentre os possíveis serviços a serem oferecidos pelas empresas de energia estão incluídos *car/bike sharing*, leasing ou financiamento de bateria, troca e re-aproveitamento de bateria e pacotes de mobilidade.

⁹³ Além dos investimentos nos reforços da rede distribuição que entrariam na base de ativos da distribuidora, espera-se que o desenvolvimento e instalação de tecnologia auxiliar, ou seja, subestações e rede catenária para o transporte de trilho seja um mercado não regulado com a presença de empresas de serviços especializadas nesse mercado, as empresas de energia deverão estar presentes em consórcios na licitação dos projetos ou por meio de empresa de serviços especializadas na construção e instalação de redes catenárias e/ou subestações para esses projetos.

Em contrapartida, os serviços de compartilhamento e de *leasing* ou financiamento de bateria tem baixa compatibilidade com as competências atuais do setor elétrico, por isso não parecem apresentar oportunidades estratégicas de negócio. À semelhança do que ocorreria com a atuação do setor elétrico na produção e venda de veículos e baterias, uma eventual entrada de empresas do setor elétrico nesses serviços envolveria desenvolver competências novas que em nada se assemelham aos negócios atuais do setor elétrico. Por esses motivos, o serviço de troca de bateria não parece ser atrativo ao setor elétrico como oportunidade de negócio. Não só não é compatível com as capacidades atuais do setor, como apresenta desafios de atuação muito grandes.

Portanto, dentro do elo de serviços de valor adicional, as maiores oportunidades de negócio para o setor elétrico, parecem estar nos pacotes de mobilidade, que englobam serviços de instalação de infraestrutura, venda de energia e sistemas de gestão de frota, com apelo particular para empresas de logística ou com frotas comerciais significativas.

A entrada de distribuidoras de energia nesse serviço de pacote de mobilidade é facilitada pelo fato dessas empresas já terem um relacionamento prévio com o consumidor. Fazendo uso desse relacionamento, as empresas do setor elétrico, em especial os grupos econômicos que controlam as distribuidoras de energia, podem expandir os serviços ofertados, incluindo aí os serviços de mobilidade elétrica, ou seja, a infraestrutura e a gestão de frota. Também nessa linha, é desejável o estabelecimento de parcerias com montadoras, de forma a facilitar o acesso do setor elétrico ao consumidor comprador do veículo elétrico. Esse modelo de negócio também sugere o desenvolvimento de softwares de gestão de frota e otimização de logística visando o estabelecimento de postos de recarga – seja por recarga rápida, lenta ou troca de baterias – em pontos estratégicos para as empresas detentoras dos veículos. Nesse caso, as empresas de energia podem buscar desenvolver internamente ou fazer parcerias com empresas que já possuem essa solução.

Referências

ABRACICLO. *Dados do setor*. Disponível em <
http://www.abraciclo.com.br/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=21&Itemid=37>. Acesso em 22 de outubro de 2013.

AL-ALAWI, Baha M., BRADLEY, Thomas H.. *Review of hybrid, plug-in hybrid, and electric Vehicle market modeling Studies*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21 (2013): 190-203.

ANDERSEN, Poul H., MATHEWS, John A., RASK, Morten. *Integrating private transport into renewable energy policy: the strategy of creating intelligent recharging grids for electric vehicles*. Energy Policy 37 (2009) 2481–2486.

ARGONNE NATIONAL LABORATORY. *How You Will Connect to The Smart Grid*. U.S. Department of Energy. Disponível em: <
http://www.transportation.anl.gov/pdfs/2012energysummary/transportation/es_ophouseGridPyramidsp_0812.pdf>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

BAINÉE, Jonathan. Les opérateurs de mobilité électrique et le véhicule électrique (VE). Modèles d'affaires, portée théorique et empirique. In: *Ecole d'été du RRI 2011*, Dunkerque. *Anais*. P. 1-20.

BANDIVADEKAR, Anup; BODEK, Cristian; CHEA, Lynette; EVANS, Christopher; GROODE, Tiffany; HEYWOOD, John, KASSERIS, Emmanuel; KROMER, Matthew; WEISS, Malcolm. *On the Road in 2035 – Reducing Transportation's Petroleum Consumption and GHG Emissions*. Report. Laboratory for Energy and Environment – Massachusetts Institute of Technology. 2008.

BALSA, J. *Avaliação do impacto da introdução de veículos elétricos na procura de combustíveis em Portugal*. 2013. Dissertação (Mestrado em Gestão) - Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

BARAN, R., 2012. *A Introdução de Veículos elétricos no Brasil: avaliação do impacto no consumo de gasolina e eletricidade*. Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

BEAUREGARD, Garrett. *Lessons Learned on the EV Project and DC Fast Charging. Fast DC Charging for Electric Vehicles*. Disponível em: <<http://www.theevproject.com/cms-assets/documents/108217-328847.evp.pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

BLARKE, Morten B., JENKINS, Bryan M.. *SuperGrid or SmartGrid: Competing strategies for large-scale integration of intermittent renewables?* Energy Policy 58 (2013): 381-390.

BORBA, B.S.M.C., 2012. *Modelagem Integrada da Introdução de Veículos Leves Conectáveis à Rede Elétrica no Sistema Energético Brasileiro*. Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro.

BOSETTI, Valentina, LONGDEN, Thomas. *Light duty vehicle transportation and global climate policy: The importance of electric drive vehicles*. Energy Policy 58 (2013): 209-219.

BRADLEY, T. H., FRANK, A. A., 2009. "Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles". Renewable and Sustainable Energy Review 13, pp. 115-128.

BRIONES, A. et al. *Vehicle-to-Grid (V2G) Power Flow Regulations and Building Codes - Review by the AVTA*. 2012. INL - Idaho National Laboratory. US.

BULLIS, Kevin. *Will Fast Charging Make Electric Vehicles Practical?* Disponível em: < <http://www.technologyreview.com/news/429283/will-fast-charging-make-electric-vehicles-practical/>>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

CAENEN, Yann, et al. *Les Franciliens consacrent 1 h 20 par jour à leurs déplacements.* Disponível em: < http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=16023>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

CAMUS, C., FARIS, T., ESTEVES, J. *Potential impacts assessment of plug-in electric vehicles on the Portuguese energy market.* Energy Policy 39 (2010): 5883–5897.

CHOJNACKI, Klaus. Relationship Marketing at Volkswagen. In: Hennig-Thurau, Thorsten. *Relationship Marketing: Gaining Competitive Advantage through Customer Satisfaction and Customer Retention.* eBook: Springer, 2000. p. 49-59.

CHRISTENSEN, Jorgen. *Report: Executive summary of the EDISON project.* Disponível em: < http://www.edison-net.dk/Dissemination/Reports/Report_024.aspx>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

CHRISTENSEN, Thomas B., WELLS, Peter, CIPCIGAN, Liana. *Can innovative business models overcome resistance to electric vehicles? Better Place and battery electric cars in Denmark.* Energy Policy 48 (2012) 498–505.

CLEMENTI-NYNS, K., Haesen, E., Driesen, J. *The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid.* IEEE Transactions on Power Systems 25 (2010): 371-380.

CLEMENT-NYNS, K., HAESEN, E., DRIESEN, J. *The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid*. Electric Power Systems Research 81 (2011): 185–192.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. *Boletim estatístico*. Brasília, DF, agosto de 2013.

DANISH ENERGY AGENCY, 2012. *Energy Statistics 2011 - Data, tables, statistics and maps*. Danish Energy Agency. Copenhagen.

DANTAS, Guilherme de Azevedo. *Alternativas de Investimento do Setor Sucroenergético Brasileiro para Aproveitamento de Bagaço e de Palha*. Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2013.

DAVIS, Brian A., FIGLIOZZI, Miguel A.. *A methodology to evaluate the competitiveness of electric delivery trucks*. Transportation Research Part E 49 (2013): 8 - 23.

DIJK, M., ORSATO, R. J., & KEMP, R. *The emergence of an electric mobility trajectory*. Energy Policy 52 (2007) 135–145.

EC, Electrification Coalition. *Electrification Roadmap: Revolutionizing Transportation and achieving Energy Security*. US, 2009.

EGBUE, Ona, LONG, Suzana. *Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions*. Energy Policy 48 (2012) 717–729.

E-MOBILITY NSR, 2013. *Danish Experiences in Setting up Charging Infrastructure for Electric Vehicles with a Special Focus on Battery Swap Stations*. FDT. Aalborg.

ENERGINET.DK, Danish Energy Association, 2010. *Smart Grid in Denmark*. Energinet.dk. Denmark.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética, *Plano Nacional de Energia – Demanda de energia 2050*, Rio de Janeiro, Agosto de 2014.

ETEC, Electric Transportation Engineering Corporation, 2010. *Electric Vehicle Charging Infrastructure Deployment Guidelines for the Greater San Diego Area*. ETEC. San Diego.

EURELECTRIC, *Market models for the roll-out of electric vehicle public charging infrastructure*, Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC, Brussels, 2010.

EURELECTRIC, *Deploying publicly accessible charging infrastructure for electric vehicles: how to organize the market?*, Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC, Brussels, 2013.

FENG,Wei, FIGLIOZZI, Miguel A.. *Conventional vs electric commercial vehicle fleets: A case study of economic and technological factors affecting the competitiveness of electric commercial vehicles in the USA*. Procedia - Social and Behavioral Sciences 39 (2012): 702 - 711.

FRIEDMAN, D. *A new road: the technology and potencial of hybrids vehicles*. USC Publications. Cambrigde, MA. 2003.

GALUS, M. D., ZIMA, M., ANDERSSON, G. *On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures*. Energy Policy 38 (2010) 6736–6745.

GEELS, Frank W. *A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies*. Journal of Transport Geography 24 (2012) 471–482.

GE, S. Y., WANG, L., Liu, H., FENG, L. The Impact of Electric Vehicles on the Distribution Grid. In: *2nd International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)* (p. 1859–1865). Atlantis Press. Paris, France.

GERSSSEN-GONDELACH, S. J., FAAIJ, A. P. C. *Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term*. Journal of Power Sources 212 (2012) 111–129.

GREEN II, R. C., Wang, L., Alam, M. *The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011): 544-553.

HE, Yiming. et al. *Merging mobility and energy vision with hybrid electric vehicles and vehicle infrastructure integration*. Energy Policy 41 (2012): 599-609.

HEIN, R., KLEINDORFER, P. R., SPINLER, S. (2012). *Valuation of electric vehicle batteries in vehicle-to-grid and battery-to-grid systems*. Technological Forecasting and Social Change 79 (2012) 1654–1671.

HEYWOOD, John B.; *More Sustainable Transportation: The Role of Energy Efficient Vehicle Technologies*. Sloan Automotive Laboratory - Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, 2008.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sistema IBGE de recuperação automática*. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 de outubro de 2013.

IEA, International Energy Agency. *Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a Clean Energy System*. IEA. Paris, 2012a.

IEA, International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012*. IEA. Paris, 2012b.

IEA, International Energy Agency, 2011. *Technology Roadmap: Electric and plug-in hybrid electric vehicles*. IEA. Paris.

IEA, International Energy Agency, 2009a. *Transport, Energy and CO₂ – Moving Toward Sustainability*. IEA. Paris.

IEA, International Energy Agency, 2013. *Global EV Outlook - Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020*. IEA. Paris.

IEA, International Energy Agency, 2011. IA-HEVI. *United States - Charging Infrastructure*. IEA. Paris.

IEA, International Energy Agency, 2012. *EV City Casebook: A Look at the Global Electric Vehicle Movement*. IEA, Paris.

IEA, International Energy Agency. *From 1st to 2nd – Generation Biofuel Technologies: an overview of current industry and RD e D activities*. IEA. Paris, 2008.

ILE DE FRANCE, Conseil Régional, 2009. *Rapport pour le conseil regional - Adhesion de la region au syndicat mixste AutoLib*. Conseil Régional Ile de France. Paris.

IPI, International Parking Institute, 2011. *Parking Industry Ready to Answer the Charge in President Barack Obama's State of the Union Address for 1 Million Electric Cars by 2015*. IPI. US.

KATRAŠNIK, Tomaz. *Impact of vehicle propulsion electrification on Well-to-Wheel CO² emissions of a medium duty truck*. Applied Energy 108 (2013): 236 - 247.

KEMPTON, Willett, TOMIC, Jasna. *Vehicle-to-grid power implementation: From stabilizing the grid to supporting large-scale renewable energy*. Journal of Power Sources 144 (2005) 280–294.

KEMPTON, W., TOMIĆ, J. *Vehicle-to-grid power fundamentals: Calculating capacity and net revenue*. Journal of Power Sources 144 (2005) 268–279.

KHAYYAM, H., RANJBARZADEH, H., MARANO, V.. *Intelligent control of vehicle to grid power*. Journal of Power Sources 201 (2012) 1–9.

KIVILUOMA, J., MEILBOM, P.. *Methodology for modelling plug-in electric vehicles in the power system and cost estimates for a system with either smart or dumb electric vehicles*. Energy 36 (2011): 1758-1767.

KLEY, Fabian, LERCH, Christian, DALLINGER, David. *New business models for electric cars - A holistic approach*. Energy Policy 39 (2011) 3392–3403.

KYLE, Page, KIM, Son H.. *Long-term implications of alternative light-duty vehicle technologies for global greenhouse gas emissions and primary energy demands*. Energy Policy 39 (2011): 3012-3024.

LETENDRE, S., DENHOLM, P., LILIENTHAL, P.. *Electric & Hybrid Cars: New load, or New Resource?* Public Utilities Fortnightly (2006) 28–37.

LIU, Jian. *Electric vehicle charging infrastructure assignment and power grid impacts assessment in Beijing*. Energy Policy 51 (2012): 544-557.

LOPES, M. *Avaliação do potencial de difusão do veículo eléctrico na Área Metropolitana de Lisboa*. 2011. Dissertação (Mestrado em Gestão) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

LÓPEZ, M. A. et al. *V2G strategies for congestion management in microgrids with high penetration of electric vehicles*. Electric Power Systems Research 104 (2013) 28–34.

MAIRIE DE PARIS. *Plus de 100 000 abonnements depuis le lancement d'Autolib' !* Disponível em: <
http://www.paris.fr/paris/Portal.lut?page_id=5777&document_type_id=7&document_id=135046&portlet_id=12645>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

MINGHONG, Peng, LIAN Liu, CHUANWEN, Jiang. *A review on the economic dispatch and risk management of the large-scale plug-in electric vehicles (PHEVs) - penetrated power systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012): 1508-1515.

MIT, Massachusetts Institute of Technology, 2011. *Chapter 5: The Impact of Distributed Generation and Electric Vehicles. In The Future of the Electric Grid - An Interdisciplinary MIT Study*. Massachusetts Institute of Technology. US.

MULLAN, J. et al. *The technical, economic and commercial viability of the vehicle-to-grid concept*. Energy Policy 48 (2012) 394–406.

NIST, National Institute of Standards and Technology, 2013. *Technology, Measurement and Standards Challenges for the Smart Grid*. p. 76. U.S. Department of Commerce. Boulder, Colorado.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012. *The EV Project: Deployment Barriers*. Washington D.C.: Presentation to the Committee on Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment - National Research Council.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2012. *Perspectives on PEV Deployment and Infrastructure Needs*. Washington D.C.: Presentation to the Committee on Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment - National Research Council.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2013. *Overcoming Barriers to Electric-Vehicle Deployment - Interim Report*. Washington DC: National Academy of Sciences.

NEUBAUER, Jeremy, PESARAN, Ahmad. *The ability of battery second use strategies to impact plug-in electric vehicle prices and serve utility energy storage applications*. Journal of Power Sources 196 (2011): 10351-10358.

ONA, Egbue, LONG, Suzanna. *Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions*. Energy Policy 48 (2012): 717-729.

ONAR, O. C., KHALIGH, A., 2010. *Grid interactions and stability analysis of distribution power network with high penetration of plug-in hybrid electric vehicles*. Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE, pp.1755-1762, 21-25 Feb. 2010.

PEÇAS LOPES, J. A. et al. *Identification of control and management strategies for LV unbalanced microgrids with plugged-in electric vehicles*. Electric Power Systems Research, 80 (2010) 898–906.

PEREZ Y., Petit M., WILLET K. *Public Policy Strategies for Electric Vehicles and for Vehicle to Grid Power*. FAEE, 2012. p.1-16.

PETERSON, Scott B., MICHALEK, Jeremy J.. *Cost-effectiveness of plug-in hybrid electric vehicle battery capacity and charging infrastructure investment for reducing US gasoline consumption*. *Energy Policy* 52 (2013): 429-438.

PORTUGAL. Gabinetes dos Secretários de Estado do Empreendedorismo, Competitividade e Inovação e da Energia. *Despacho n.º 9220/2013*. Disponível em:

<
http://www.pofc.qren.pt/ResourcesUser/2013/Legislacao/D_9220_2013.pdf>.

Acesso em: 21 de setembro de 2013.

PORTUGAL. Ministério da Economia. *Decreto-Lei n.º 39/2010*. Disponível em: <
http://www.unic.pt/images/stories/publicacoes4/DL_39_2010.pdf>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

PORTUGAL. Presidência do Conselho de Ministros. *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2009*. Disponível em: <
<http://dre.pt/pdf1s/2009/02/03600/0116501167.pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

PORTUGAL. Presidência do Conselho de Ministros. *Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2009*. Disponível em: <
http://www.mobie.pt/documents/10156/13306/RCM_81_2009.pdf>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

QUINN, C., ZIMMERLE, D., BRADLEY, T. H.. *The effect of communication architecture on the availability, reliability, and economics of plug-in hybrid electric*

vehicle-to-grid ancillary services. Journal of Power Sources 195 (2010) 1500–1509.

RICHARDSON, D. B. *Electric vehicles and the electric grid: A review of modeling approaches, Impacts, and renewable energy integration*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 19 (2013) 247–254.

SAE, Hybrid Committee, 2012. *SAE Charging Configurations and Ratings Terminology*. SAE International. Warrendale.

SAN ROMÁN, Tomás, et al. *Regulatory framework and business models for charging plug-in electric vehicles: Infrastructure, agents, and commercial relationships*. Energy Policy 39 (2011) 6360–6375.

SOVACOO, B. K., HIRSH, R. F.. *Beyond batteries: An examination of the benefits and barriers to plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) and a vehicle-to-grid (V2G) transition*. Energy Policy 37 (2009) 1095–1103.

SCHEY, S. *The EV Project - Q1, 2013 Quarterly Report*. Disponível em: <<http://www.theevproject.com/cms-assets/documents/113177-646795.q1-2013-rpt.pdf>>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

SCHROEDER, Andreas, TRABER, Thure. *The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles*. Energy Policy 43 (2012) 136–144.

SMITH, Cristina Bastin. *Análise da Difusão de Novas Tecnologias Automotivas em prol da Eficiência Energética na Frota de Novos Veículos Leves no Brasil*. Tese de Doutorado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.

SRIVASTAVA, Anurag K., ANNABATHINA, Bharath, KAMALASADAN, Sukumar. *The Challenges and Policy Options for Integrating Plug-in Hybrid Electric Vehicle into the Electric Grid*. The Electricity Journal 23 (2010) 83-91.

STEINHILBER, S., Wells, P., THANKAPPAN, S. *Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles*. Energy Policy 60 (2013) 531–539.

SYROTA, J. *La voiture de demain: carburants et électricité*. Paris: Centre d'analyse stratégique. Disponível em: < <http://www.strategie.gouv.fr/content/rapport-la-voiture-de-demain-carburants-et-electricite-0>>. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

TENNESSEE VALLEY AUTHORITY, 2013. *Types of Electric Vehicles*. Disponível em: <http://www.tva.gov/environment/technology/car_vehicles.htm>. Acesso em: 20 de outubro de 2013.

THE BOSTON CONSULTING GROUP. *The Comeback of the Electric Car? - How Real, How Soon, and What Must Happen Next*. BCG Focus, 2009. p. 1-16.

TIE, S. F., TAN, C. W.. *A review of energy sources and energy management system in electric vehicles*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 20 (2013) 82–102.

TURTON, H., MOURA, F.. *Vehicle-to-grid systems for sustainable development: An integrated energy analysis*. Technological Forecasting and Social Change 75 (2008) 1091–1108.

WARAICH, R. A. et al. *Plug-in hybrid electric vehicles and smart grids: Investigations based on a microsimulation*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies 28 (2013) 74–86.

WEBSTER, R.. *Can the electricity distribution network cope with an influx of electric vehicles?* Journal of Power Sources 80 (1999) 217–225.

WEILLER, Claire. *Plug-in hybrid electric vehicle impacts on hourly electricity demand in the United States*. Energy Policy 39 (2011): 3766-3778.

WEILLER, C. *E-mobility services – New economic models for transport in the digital economy*. University of Cambridge, 2012. p.1-9.

WEILLER C., NEELY A., *Business model design in an ecosystem context*, Cambridge Service Alliance, University of Cambridge, 2013.

WIEDERER A., PHILIP R. Policy options for electric vehicle charging infrastructure in C40 cities. Disponível em: < http://www.emic-bg.org/files/6.C40_CHARGINGINFRASTRUCTURE.pdf >. Acesso em: 21 de setembro de 2013.

XU, Hao, MIAO, Shihong, ZHANG, Chunyong, SHI, Dongyuan. *Optimal placement of charging infrastructures for large-scale integration of pure electric vehicles into grid*. Electrical Power and Energy Systems 53 (2013): 159-165.

ZHANG, Li, BROWN, Tim, SAMUELSEN, G. Scott. *Fuel reduction and electricity consumption impact of different charging scenarios for plug-in hybrid electric vehicles*. Journal of Power Sources 196 (2011): 6559-6566.