

Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global

Bernardo Hauch Ribeiro de Castro, Daniel Chiari Barros
e Suzana Gonzaga da Veiga

<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>

Baterias automotivas: panorama da indústria no Brasil, as novas tecnologias e como os veículos elétricos podem transformar o mercado global

Bernardo Hauch Ribeiro de Castro
Daniel Chiari Barros
Suzana Gonzaga da Veiga*

Resumo

A indústria global de baterias automotivas vem passando por uma transformação. Com a crescente eletrificação, mesmo veículos com motores a combustão interna tendem a utilizar baterias mais avançadas e que possam fornecer mais energia aos diversos novos sistemas que vão sendo a eles incorporados. A difusão dos veículos elétricos representa ainda uma mudança mais radical na indústria, com a utilização de tecnologias antes restritas à indústria eletroeletrônica. No Brasil, a indústria de baterias automotivas é das poucas de autopeças com predominância de empresas de capital nacional. O presente artigo visa traçar um panorama dessa indústria, apresentar as tecnologias emergentes e discutir as possíveis transformações que o mercado pode sofrer com a introdução dos veículos elétricos. Ainda que eventuais mudanças possam não ser sentidas no curto prazo pela maior parte das empresas brasileiras, o mesmo pode não ocorrer no médio e no longo prazos. A competitividade dessa indústria depende de uma contínua atualização tecnológica e de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D).

* Respectivamente, gerente, economista e estagiária do Departamento de Indústria Pesada da Área Industrial do BNDES. Os autores agradecem os comentários de Haroldo Fialho Prates e Pedro Lins Palmeira Filho, isentando-os da responsabilidade por erros remanescentes.

Introdução

No início do século XX, as baterias automotivas fizeram parte de uma revolução, constituindo-se em uma das diversas indústrias que se estabeleceram com a crescente difusão dos automóveis. Uma das características de uma inovação radical, como foram os automóveis no início do século XX, é possibilitar a criação e o desenvolvimento de novas indústrias, alterando o *status quo* e pondo a indústria tradicional em xeque. No caso, a indústria ameaçada era a de carruagens, bem como sua cadeia produtiva.

Hoje, todos os veículos automotores contêm baterias. Elas foram introduzidas em 1912, quando assumiram um papel semelhante ao atual, substituindo a manivela de ignição e servindo para acionar as luzes. Atualmente, elas servem como fonte de energia para os sistemas auxiliares, que cresceram em quantidade, e para tarefas pontuais, como a ignição.

O início do século XXI indica aspectos semelhantes ao século anterior, com a difusão dos veículos híbridos e elétricos. Assim como a introdução dos veículos a gasolina possibilitou o desenvolvimento dos distribuidores de combustível, com uma grande presença de postos por todo o mundo, a introdução dos veículos elétricos deve, aos poucos, gerar impacto na criação de infraestrutura de recarga.

Ainda que nos veículos híbridos e elétricos a bateria exerça uma função primordial, ela, em geral, é diferente das utilizadas tradicionalmente. Como as baterias passam a ser responsáveis por outras funções, como o próprio funcionamento do motor, a necessidade de energia é cada vez maior, criando uma barreira para a tecnologia tradicional (bateria de chumbo-ácido), presente nos veículos atuais, em que o Brasil dispõe de grande parque industrial. Tal barreira decorre do volume e, sobretudo, do peso dessas baterias, que não seriam compatíveis com um veículo elétrico, embora haja algum espaço para aplicações em alguns tipos de híbridos. Surgem, então, como provável tecnologia dominante, as baterias de íon-lítio, mais leves e com maior densidade energética.

O objetivo do presente trabalho é refletir sobre a indústria de baterias automotivas, buscando identificar caminhos para posicioná-la no novo paradigma da indústria automotiva. Assim, este artigo abarca conceitos do setor automotivo e comentários sobre as tecnologias existentes, o cenário atual de produção de baterias no Brasil, as transformações pelas quais a indústria está passando no mundo e as perspectivas de atuação no novo cenário, su-

gerindo possibilidades de ação do BNDES no posicionamento competitivo das empresas nacionais.

O que é uma bateria?

Uma bateria é um acumulador, que transforma energia química em energia elétrica e vice-versa, normalmente por meio de uma reação de oxirredução. O polo negativo é denominado anodo, no qual ocorre a oxidação, enquanto o positivo é o catodo, em que ocorre a redução. Os elétrons correm do anodo para o catodo, gerando energia elétrica.

As baterias recarregáveis, também chamadas de secundárias, servem a uma grande quantidade de equipamentos portáteis, como celulares, telefones sem fio, *laptops* e máquinas fotográficas, além dos automóveis. Nos automóveis convencionais, a bateria é responsável por alimentar os sistemas elétricos e eletrônicos e é recarregada por um gerador, o próprio motor a combustão que move o veículo. O tipo mais frequente nos automóveis é a chamada bateria de chumbo-ácido (PbA), embora veículos elétricos e híbridos em comercialização, em geral, utilizem outras tecnologias.

Há ainda as baterias primárias, que não são recarregáveis. O Quadro 1 mostra um resumo das tecnologias disponíveis de baterias.

Quadro 1 | Tipos de baterias eletroquímicas selecionadas

	Tipo de bateria	Formato	Exemplos de aplicações
Baterias primárias (descartáveis)	Bateria de zinco-carbono	Cilíndrica ou retangular	Equipamentos portáteis (controles remotos, lanternas, relógios, rádios, brinquedos etc.)
	Bateria alcalina de dióxido de magnésio e zinco	Cilíndrica ou retangular	Equipamentos portáteis (controles remotos, lanternas, relógios, rádios, brinquedos etc.)
	Bateria primária de níquel	Cilíndrica	Câmeras digitais, MP3 <i>players</i>
	Bateria primária de lítio	Cilíndrica, botão, pino ou em módulos	Câmeras digitais compactas, PDA, relógios
	Pilha alcalina de botão	Botão	Jogos e brinquedos eletrônicos portáteis, alarmes de segurança
	Pilha de óxido de prata e zinco	Botão	Termômetros digitais, relógios
	Pilha de zinco-ar	Botão	Aparelhos de audição, <i>paggers</i>
	Pilha de óxido de mercúrio	Botão	Aparelhos de audição, <i>paggers</i>

Continua

Continuação

	Tipo de bateria	Formato	Exemplos de aplicações
Baterias secundárias (recarregáveis)	Bateria de níquel-cádmio	Cilíndrica, retangular ou em módulos	Equipamentos portáteis (controles remotos, lanternas, relógios, rádios, brinquedos etc.), telefones sem fio, ferramentas, luzes de emergência
	Bateria de níquel-hidreto metálico	Cilíndrica, retangular ou em módulos	Equipamentos portáteis (controles remotos, lanternas, relógios, rádios, brinquedos etc.), telefones sem fio, bicicletas elétricas, veículos híbridos
	Bateria de íon-lítio	Cilíndrica, retangular, botão ou em módulos	Incorporadas a equipamentos (barbeadores elétricos, MP3 <i>players</i> , PDA), telefones celulares, filmadoras, câmeras digitais, bicicletas elétricas, ferramentas, jogos eletrônicos, veículos híbridos e elétricos
	Baterias de chumbo-ácido	Retangular	Automóveis, motocicletas, ônibus, caminhões, máquinas agrícolas, empilhadeiras

Fonte: Elaboração própria, com base em Battery Association of Japan (BAJ).

Um automóvel pode conter ainda outros tipos de baterias. Sistemas de abertura sem chave, que permitem o destravamento das portas a distância por meio de um clique em um botão na chave/chaveiro do carro, utilizam normalmente uma bateria de lítio em formato de botão. Esse tipo de bateria também é utilizado para funções de memória, por exemplo, do relógio. Veículos dotados de sensores de pressão dos pneus utilizam baterias de lítio, enquanto luzes de emergência, presentes em alguns modelos, utilizam pilhas comuns.

Para fins do presente estudo, serão abordadas apenas as baterias enquadradas como autopeças, sejam as convencionais, que equipam os automóveis com motor de combustão interna e movidos a gasolina ou álcool, sejam as alternativas, que equipam veículos elétricos e híbridos. A seção seguinte exhibe um panorama da indústria brasileira de baterias automotivas.

A indústria brasileira de baterias automotivas

A indústria brasileira de baterias automotivas é totalmente concentrada na produção de baterias de chumbo-ácido. Embora algumas empresas trabalhem com tecnologias mais modernas, que melhoram o desempenho de seus produtos, não há empresas que produzam baterias de níquel-metal hidreto (NiMH) ou de íon-lítio.

Essa indústria constitui-se em um claro exemplo de indústria de autopeças que sobreviveu ao processo de abertura comercial ocorrido no Brasil nos anos 1990, havendo acentuada presença de empresas de capital nacional, que respondem por cerca de 75% do mercado.

O Brasil possui amplo parque industrial de fabricação de baterias. Os estados de São Paulo e do Paraná concentram as atividades no Brasil. A Moura, maior empresa de capital nacional no setor, produz baterias automotivas em Pernambuco e, portanto, o estado também tem participação relevante na produção do país. O Quadro 2 expõe os principais fabricantes e suas respectivas marcas, trazendo ainda informações como as aplicações dos produtos e os mercados de atuação das empresas.

Quadro 2 | Principais fabricantes de baterias automotivas instalados no Brasil

Empresa	Marcas ¹	Origem do capital	Localização	Aplicações das baterias	Mercados de atuação	Porte estimado ²
Moura	Moura e Zetta	Brasil	Belo Jardim (PE) e Itapetininga (SP)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e tracionárias	OEM, reposição e exportação	Grande
Johnson Controls	Heliar, Bosch, Optima, Varta, Freedom	EUA	Sorocaba (SP)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e tracionárias	OEM, reposição e exportação	Grande
Ajax	Ajax	Brasil	Bauru (SP)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e som automotivo	Reposição e exportação	Médio
Cral	Cral	Brasil	Bauru (SP)	Veículos e tracionárias	Reposição e exportação	Médio
Tudor	Tudor	Brasil	Bauru (SP) e Governador Valadares (MG)	Veículos, motos, estacionárias, tracionárias e som automotivo	Reposição e exportação	Médio
Baterax	Baterax, Woltrax e Energex	Brasil	Umuarama (PR)	Veículos e som automotivo	Reposição	Pequeno
Camarotto	Camarotto	Brasil	Marmeleiro (PR)	n.d. ³	Reposição	Pequeno
Eletran	Eletran	Brasil	Apucarana (PR)	Veículos, tracionária e som automotivo	Reposição	Pequeno

Continua

Continuação

Empresa	Marcas ¹	Origem do capital	Localização	Aplicações das baterias	Mercados de atuação	Porte estimado ²
Enerbrax	Route	Brasil	Bauru (SP)	Motos e <i>jet ski</i>	Reposição e exportação	Pequeno
GNB	Reifor, Herbo e Yokohama	Brasil	Londrina (PR)	Veículos, estacionária, tracionária e som automotivo	Reposição e exportação	Pequeno
Inbracell	Excell	Brasil	Cachoeirinha (RS)	Veículos e tracionária	Reposição e exportação	Pequeno
Júpiter	Júpiter	Brasil	Cianorte (PR)	Veículos, estacionária, tracionária e som automotivo	Reposição	Pequeno
Kania	Kondor, Fort Light e Dutra	Brasil	Rafard (SP)	Veículos e tracionária	Reposição	Pequeno
Newpower	Fulguris	Brasil	Guarulhos (SP)	Estacionárias, tracionárias e industriais especiais	Reposição e exportação	Pequeno
Pioneiro	Pioneiro, Piovox, Conectiva e Arazzo	Brasil	Treze Tílias (SC)	Veículos, motos, estacionária e som automotivo	Reposição	Pequeno
Ranger	Extranger	Brasil	Apucarana (PR)	Veículos, tracionária e som automotivo	Reposição	Pequeno
Rondopar	Max, Fox, Impact e Prac	Brasil	Londrina (PR)	Veículos, motos, barcos, estacionárias e som automotivo	Reposição e exportação	Pequeno

Fonte: Elaboração própria, com base em Batista (2012) e *sites* das empresas.

¹ Inclui marcas com fabricação sob licença.

² Avaliação qualitativa dos autores, não se relacionando com a classificação de porte adotada pelo BNDES.

³ n.d. = não disponível.

O desempenho recente da indústria de baterias automotivas no país é positivo. As vendas vêm crescendo a taxas altas beneficiando-se dos aumentos da produção de veículos e da frota circulante. Conforme será visto, parte da demanda de baterias vem sendo suprida por importações, que se elevaram nos últimos anos.

Produção e vendas

A produção e as vendas de baterias têm como *drivers* os mercados de Original Equipment Manufacturer (OEM) – no caso, as montadoras de veí-

culos –, de reposição e de exportação. De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção e as vendas (incluindo mercado externo) cresceram, respectivamente, 30% e 40% entre os anos de 2005 e 2010, como ilustrado na Tabela 1. Na mesma base de comparação, a produção de novos veículos (incluindo os *completely knock-down* ou *complete knock-down* – CKD)¹ cresceu 44,1% e a frota circulante, da qual depende o mercado de reposição, 39,3%.

Tabela 1 | Produção e vendas de baterias automotivas (em milhões de unidades)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011*	2012*
Produção	14,4	14,5	14,5	16,7	17,4	18,7	19,1	19,6
Vendas	13,1	14,3	13,8	16,1	16,2	18,4	18,7	19,2

Fonte: IBGE/PIA-Produto. Os dados referem-se ao Cnae 2722 (Prodlist 2722.2010).

* Estimativa BNDES.

As vendas para as montadoras são concentradas na empresa brasileira Moura e na norte-americana Johnson Controls. Cada uma tem cerca de metade do mercado de OEM, embora outras empresas eventualmente forneçam para montadoras de menor porte instaladas no Brasil. Em território brasileiro, a Moura possui fábricas em Belo Jardim (PE) e Itapetininga (SP), e a Johnson Controls, que produz baterias com diversas marcas, tem fábrica em Sorocaba (SP).

No mercado de reposição, há maior pulverização, com notável presença de empresas de menor porte de capital nacional. A Moura tem um *market share* de cerca de 30%, contra aproximadamente 25% da Johnson Controls; os 45% restantes estão distribuídos por diversas marcas, com destaque para: Ajax, Cral e Tudor – todas com fábrica própria em Bauru (SP) –, Pioneiro – fábrica em Treze Tílias (SC) –, e Zetta – segunda marca da Moura, produzida em Belo Jardim (PE).

A Tabela 2 exhibe estimativa das dimensões dos mercados de baterias para OEM e para reposição no período de 2005 a 2012.

No período analisado, o mercado de reposição representou cerca de 75% do mercado interno de baterias. De cada quatro baterias comercializadas, calcula-se que três foram destinadas à frota já em circulação.

¹ São conjuntos de peças e/ou componentes de automóveis para exportação que posteriormente serão apenas montados no país receptor.

Tabela 2 | Estimativa do mercado de baterias automotivas* (em milhões de unidades)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
(1) Mercado de OEM	2,5	2,6	3,0	3,2	3,2	3,6	3,4	3,5**
(2) Mercado de reposição	8,2	8,3	8,7	9,3	10,1	11,0	12,2	12,7
(1)+(2) Mercado interno	10,7	10,9	11,7	12,6	13,3	14,7	15,6	16,2

Fonte: Elaboração própria, com base em dados da Anfavea.

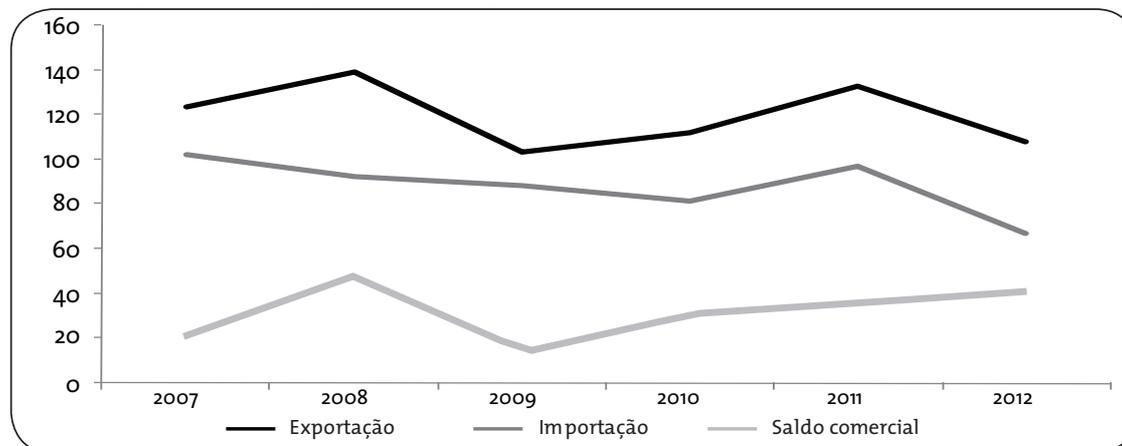
* Considerou-se o mercado de OEM igual à produção de veículos (incluindo CKD) do ano corrente divulgada pela Anfavea. Para o mercado de reposição, com base em dados da Anfavea da frota circulante, estimou-se a frota com mais de três anos (*proxy* para o mercado de reposição potencial) e foi adotada a premissa de que os veículos trocam de baterias a cada dois anos.

** Estimativa BNDES.

Comércio exterior

O comércio exterior de baterias é historicamente superavitário. Isso se deve ao fato de que o Brasil fornece baterias (assim como peças e veículos) em larga escala para o Mercado Comum do Sul (Mercosul), que concentrou 86% das exportações em 2012. Dessas exportações, 60% tiveram como destino a Argentina. No contexto recente, as exportações do setor se recuperaram da crise financeira de 2009, mas ainda estão em patamar abaixo do período pré-crise. Ao mesmo tempo, observa-se um crescimento das importações, sobretudo de origem asiática, que concentrou 85% das importações em 2012 – 52% oriundas da China. Em 2012, o superávit comercial diminuiu em relação a 2011, passando de aproximadamente US\$ 97 milhões para US\$ 67 milhões. A observação dos dados do período recente sugere uma tendência de redução do saldo comercial. O Gráfico 1 aborda a evolução do comércio exterior de baterias no período de 2007 a 2012.

Gráfico 1 | Baterias: * exportação, importação e saldo comercial (em US\$ milhões)



Fonte: MDIC/Secex/Aliceweb2.

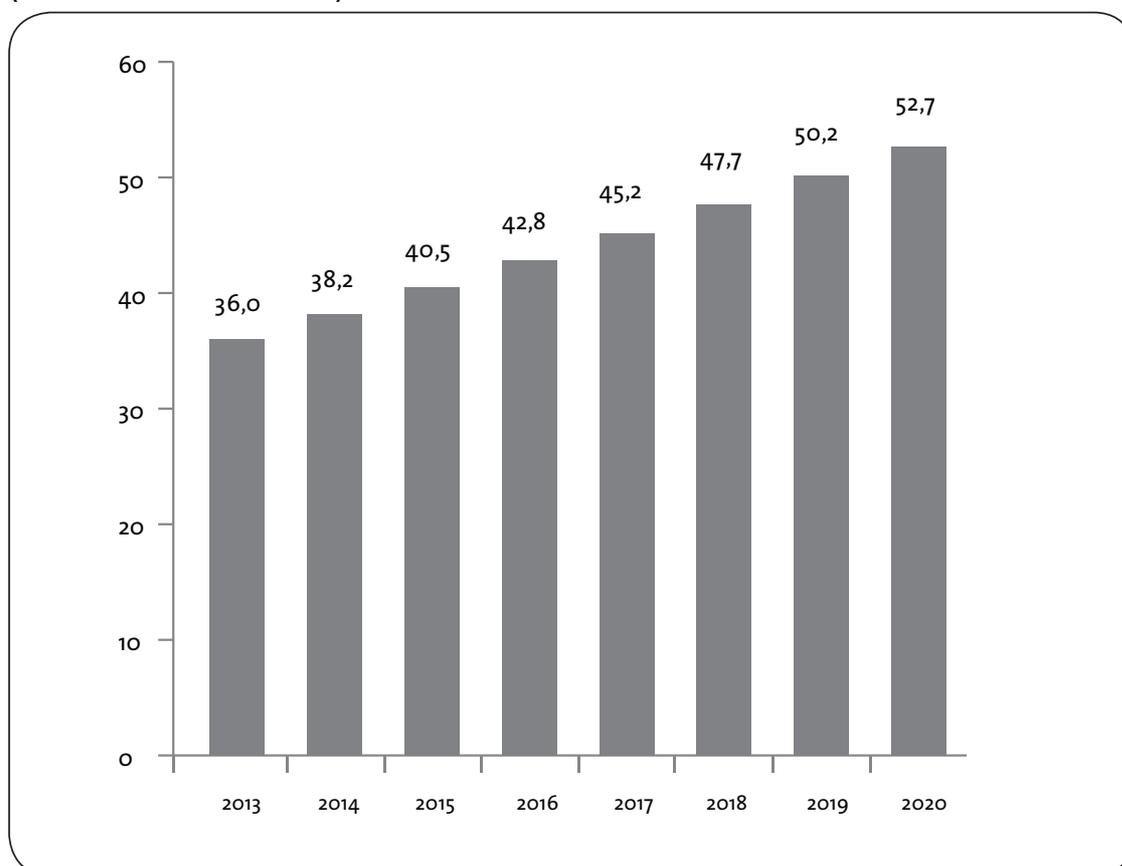
* Os dados se referem a acumuladores elétricos de chumbo, utilizados para arranque dos motores de pistão correspondentes ao NCM 850710.

Obs.: Não inclui as baterias contidas nos veículos exportados e importados.

Perspectivas de mercado

Conforme mencionado, as vendas de baterias estão correlacionadas com o tamanho da frota circulante e com a produção de veículos. As condições macroeconômicas, como o mercado interno dinâmico e crescente, o aumento do poder aquisitivo das famílias de baixa renda e as taxas de juros em níveis mais baixos deverão manter o mercado automotivo aquecido. Com boas perspectivas de vendas de novos veículos, a frota atual, de cerca de 35 milhões de veículos, deverá alcançar 46 milhões em 2016 e 53 milhões em 2020, como aponta o Gráfico 2.

Gráfico 2 | Projeção da frota brasileira de veículos – 2013 a 2020 (em milhões de veículos)



Fonte: MMA e IEMA (2011).

A demanda de baterias deverá, portanto, acompanhar esse movimento ascendente do mercado de veículos. A Tabela 3 apresenta estimativas dos mercados de OEM e de reposição até 2016. Estima-se que, em 2016, o mercado doméstico de baterias vai se aproximar de 20 milhões de unidades, dos quais 15 milhões apenas para abastecer a frota em uso.

Tabela 3 | Perspectiva 2013-2016: estimativa dos mercados de OEM e de reposição* (em milhões de unidades)

	2013	2014	2015	2016
(1) Mercado de OEM	3,7	4,0	4,2	4,4
(2) Mercado de reposição	12,7	13,5	14,3	15,1
(1)+(2) Mercado interno	16,4	17,5	18,5	19,5

Fonte: Elaboração própria, com base em dados do BNDES e de MMA e IEMA (2011).

* O mercado de OEM foi estimado com base na projeção realizada pelos autores da produção de veículos do país. Para o mercado de reposição, partiu-se das projeções da frota circulante divulgadas pela IEMA e, então, foi adotada metodologia semelhante à utilizada na Tabela 2.

Há, portanto, boas perspectivas para o mercado de baterias automotivas no Brasil se considerado o padrão tecnológico vigente. A próxima seção discorre sobre o padrão tecnológico que vem sendo utilizado globalmente nos veículos elétricos e híbridos.

As baterias automotivas nos veículos elétricos

Tanto os veículos elétricos a bateria, como o modelo Nissan Leaf, quanto os híbridos-elétricos, como o modelo Toyota Prius [Toyota (2012a; 2012b)], além de uma bateria para tração (de alta voltagem), dispõem também de uma bateria de chumbo-ácido como as encontradas nos veículos convencionais (de baixa voltagem). A função dessa bateria é essencialmente a mesma, de acionamento dos sistemas auxiliares, incluindo o dos circuitos de controle, que permite que o carro seja ligado. A diferença é que tal bateria não é carregada pelo alternador, como nos carros a gasolina, mas por um conversor DC-DC, por meio da outra bateria. Como exemplo, a bateria de íon-lítio de um Nissan Leaf tem 360 V, que precisam ser convertidos em 12 V para acionar os sistemas auxiliares [Nissan (2010)]. A manutenção de uma segunda bateria nos veículos elétricos tem o provável propósito de dispensar a adaptação dos sistemas auxiliares, não onerando ainda mais o custo desse tipo de veículo, além de mais facilmente compatibilizar os requisitos energéticos de cada sistema às características de cada bateria. Cabe ressaltar que, atualmente, existem conversores que podem substituir a bateria PbA em um veículo elétrico, embora seu custo ainda seja mais elevado.

Os veículos elétricos e híbridos são, em geral, classificados conforme seu grau de hibridização, podendo partir de um convencional (grau zero de hibridização) até um veículo híbrido *plug-in*. À medida que esse grau aumenta, maior é a necessidade de energia, o que provoca o descarte de determinadas tecnologias para algumas aplicações. O Quadro 3 distribui os veículos conforme uma escala de eletrificação, com as funções que normalmente os diferenciam e com as tecnologias de baterias aplicáveis atualmente a cada um dos casos. Destaca-se que, ao longo do presente estudo, ao citarem-se veículos híbridos, vai se estar referindo aos híbridos completos.

Quadro 3 | Aplicações dos diversos tipos de baterias automotivas

Tipo de veículo	Convencional	Micro-híbrido	Híbrido médio (<i>mild hybrid</i>)	Híbrido completo (<i>full hybrid</i>)	Híbrido <i>plug-in</i> e elétricos puros
Funções	- Alimentação dos sistemas elétricos - Ignição	- <i>Start-stop</i> - Frenagem regenerativa (limitada)	- <i>Start-stop</i> - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração	- <i>Start-stop</i> - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração - Propulsão elétrica	- <i>Start-stop</i> - Frenagem regenerativa - Assistência na aceleração - Propulsão elétrica (distância estendida)
Potência típica do motor elétrico	Não tem	Não tem	10 kW-20 kW	30 kW	50 kW (VEH <i>plug-in</i>) 90 kW (VE)
Baterias aplicáveis	PbA	PbA – EFB ¹ melhorada PbA – VRLA ² (se tiver frenagem regenerativa)	PbA avançada NiMH	NiMH Íon-lítio	Íon-lítio Zebra ³

Fonte: Elaboração própria, com base em de Ferreira e Pedrosa (2010) e Gusmão (2011).

¹ EFB significa Enhanced Flooded Battery, bateria convencional melhorada que permite o uso de uma função *start-stop* básica.

² VRLA significa Valve Regulated Lead Acid Batteries, ou seja, baterias de chumbo-ácido reguladas por válvula. São também chamadas de baterias seladas.

³ Zeolite Battery Research Africa Project.

Percebe-se que, mesmo nos micro-híbridos, embora o uso de baterias PbA seja possível, estes requerem tecnologias mais avançadas, o que também acontece com os híbridos médios. Híbridos completos e elétricos puros tendem a utilizar outras tecnologias, como a NiMH, a Zebra e a de íon-lítio.

As baterias NiMH equipam a maior parte dos veículos híbridos vendidos no mundo. Seu custo é inferior ao das baterias de íon-lítio, embora seja muito pressionado pelo custo do níquel, e elas têm como limitação o fato de não poderem ser descarregadas por completo, o que prejudica sua aplicação em veículos elétricos puros. A vantagem é que se trata de uma tecnologia já provada e utilizada em grande escala [Castro e Ferreira (2010)]. O maior cliente é a Toyota, principalmente por ser a líder nas vendas de veículos híbridos. Há apenas duas fabricantes desse tipo de bateria para automóveis repartindo um mercado estimado em US\$ 1,4 bilhão:² a Panasonic, por meio de sua *joint-venture* com a Toyota (Primearth EV Energy – PEVE), e a Cobasys, que foi incorporada pela Bosch [Anderman (2012b) e Stark *et al.* (2010)].

As baterias do tipo Zeolite Battery Research Africa Project (Zebra), também chamadas de baterias de sódio ou de sal fundido, utilizam um sal fundido como eletrólito. Operam em temperaturas altas, normalmente de 270°C, para manter o sal na fase líquida. Apesar do isolamento, a bateria consome energia para compensar a perda de calor para o ambiente. Essas baterias são fabricadas apenas por uma empresa, a FZ Sonick, *joint-venture* entre a FIAMM e a MES-DEA. A Itaipu Binacional tem um projeto de desenvolvimento desse tipo de bateria no Brasil, com recursos federais da ordem de R\$ 32 milhões [Castro e Ferreira (2010); Itaipu Binacional (2012)].

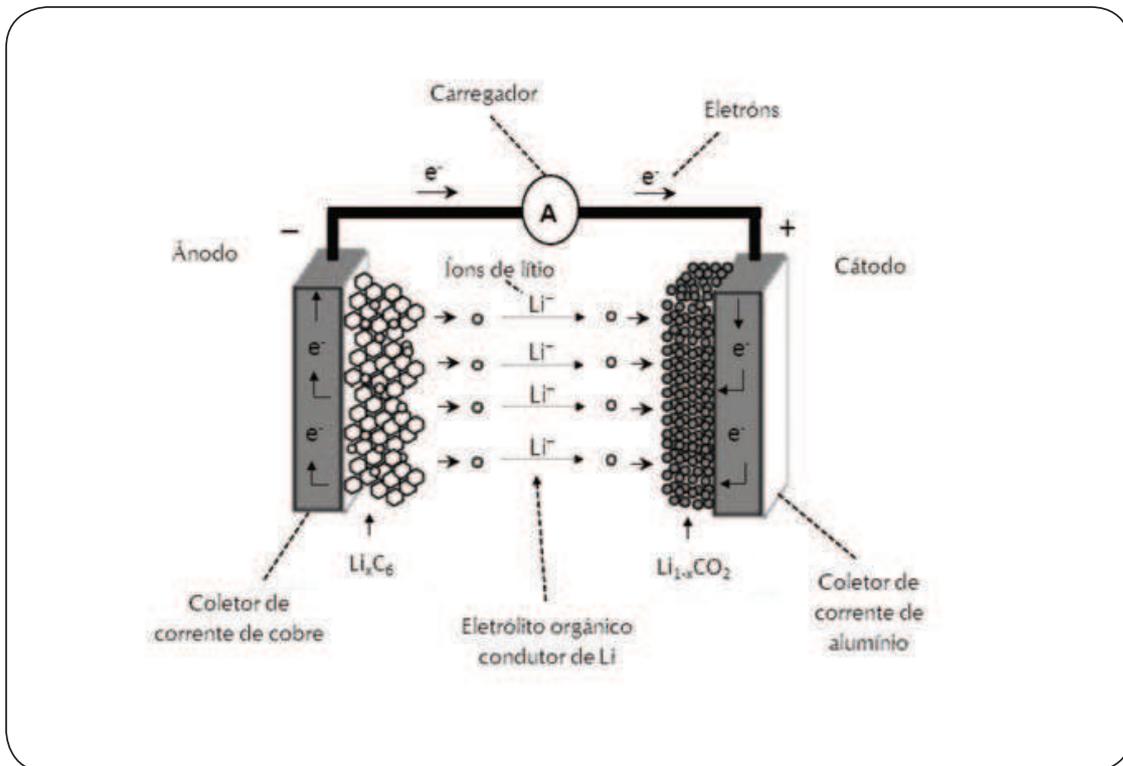
As baterias de íon-lítio constituem a maior aposta para equipar os veículos elétricos e híbridos. No entanto, não constituem um tipo único, mas um conjunto de baterias que contém o lítio como elemento do catodo. Em razão da importância desse tipo de bateria para o setor automotivo, as próximas seções trarão um detalhamento dessa tecnologia e do mercado, a fim de subsidiar as projeções para a indústria de baterias automotivas.

² Havia uma terceira empresa, a Sanyo, de origem japonesa, que foi incorporada pela Panasonic em 2010.

As baterias de íon-lítio e sua cadeia produtiva

Embora o princípio de funcionamento de uma bateria de íon-lítio pareça semelhante ao dos demais tipos de baterias, ele é diferente pelo fato de o íon de lítio não passar por reações de oxirredução. Dessa forma, os íons de lítio são transferidos do eletrodo negativo para o positivo por meio do eletrólito, ou seja, juntam-se aos materiais do anodo e do catodo.³ Essa propriedade é fundamental para o desenvolvimento da tecnologia dessa bateria. A Figura 1 mostra um esquema de operação de uma bateria de íon-lítio.

Figura 1 | Representação esquemática de uma bateria de íon-lítio



Fonte: Rosolem *et al.* (2012).

Como o lítio é um elemento pequeno e leve, as baterias à base de lítio apresentam maiores níveis de potência e energia por unidade de massa. A energia específica dessas baterias é duas vezes maior em comparação à energia das baterias NiMH e quatro vezes maior em relação aos níveis da bateria PbA [Scrosati e Garche (2010) *apud* Rosolem *et al.* (2012)]. Portan-

³ Em uma bateria de chumbo-ácido, por exemplo, há reação entre o chumbo e o ácido sulfúrico produzindo sulfato de chumbo (PbSO₄). Já em uma bateria de íon-lítio, os materiais dos eletrodos entram em fase litiada e deslitiada.

to, para aplicações em que o tamanho e o peso são requisitos importantes, as baterias de íon-lítio tornam-se candidatas naturais. Outra característica relevante é a reduzida agressividade ao meio ambiente quando comparada à provocada por baterias PbA e de níquel-cádmio.

Conforme comentado, as baterias de íon-lítio não são de um tipo único, mas uma categoria de baterias que utiliza o lítio como componente (geralmente no catodo e no eletrólito). Nessas baterias, os anodos e catodos podem conter variados materiais em suas composições. O material mais frequente para os anodos é a grafite (C), enquanto os catodos podem ser de vários tipos. São seis os mais comuns: LCO (óxido de lítio-cobalto), NCA (lítio-níquel-cobalto-alumínio, ou LiNiCoAl), NMC (lítio-níquel-manganês-cobalto, ou LiNiMnCo), LMO/LTO (lítio-manganês spinel), LFP (fosfato de ferro-lítio, ou LiFePO₄) e LVP (fosfato de vanádio-lítio). A bateria mais presente em aplicações comerciais é do tipo LCO, que equipa os telefones celulares e *laptops*, por exemplo. Nos automóveis em comercialização, é possível observar uma relativa variedade de tipos (o modelo Tesla Roadster tem baterias do tipo NCA; os ônibus Orion, da Mercedes, usam LFP; os modelos GM Volt e Nissan Leaf usam LMO; o modelo chinês BYD “e6” e o Toyota Prius *plug-in* usam LFP; e o carro conceito Subaru G4e utiliza LVP). O Quadro 4 mostra vantagens e desvantagens de cada um dos tipos mais difundidos.

Quadro 4 | Vantagens e desvantagens dos principais tipos de baterias de íon-lítio

Tipo (anodo/catodo)	Vantagens	Desvantagens	Maturidade para veículos elétricos
C/LiCoO ₂ (LCO)	- Capacidade específica elevada	- Baixa segurança intrínseca - Reduzida vida cíclica - Custo elevado - Reduzida faixa operacional de temperatura - Baixa disponibilidade de materiais (Co)	- Utilizado nos primeiros veículos do modelo Tesla (baixo volume), mas rejeitado para uso em carros de série de montadoras por problemas de segurança - Utilizada em celulares e <i>laptops</i>

Continua

Continuação

Tipo (anodo/catodo)	Vantagens	Desvantagens	Maturidade para veículos elétricos
C/ LiNiMnCoO ₂ (NMC)	- Baixo custo relativo - Densidade energética 20% superior à da LCO	- Menor eficiência das reações de carga e descarga da bateria em relação ao cobalto, em razão da menor estabilidade do níquel - Limitada estabilidade térmica	- Utilizada em eletrônicos de consumo e protótipos de veículos elétricos
C/ LiNiCoAlO ₂ (NCA)		- Baixa retenção da capacidade durante a ciclagem - Grande pico exotérmico durante a carga (em torno de 200°C)	- Já presente em alguns carros de série
C/LiMn ₂ O ₄ (LMO)	- Preços dos compostos de manganês inferiores aos de cobalto - Abundância do manganês superior à do cobalto - Manganês gera menos impacto ao meio ambiente	- Progressiva perda de capacidade durante a descarga	- Já presente em alguns carros de série (p.e., Nissan Leaf, GM Volt, Mitsubishi iMiEV)
C/LiFePO ₄ (LFP)	- Excelentes características eletroquímicas - Fe é o elemento mais barato de todos - Menor impacto ambiental - Maior estabilidade – atinge mil ciclos de carga e descarga - Menor custo em relação à bateria de Co	- Menor tensão entre os materiais dos eletrodos positivos de lítio - Baixo desempenho nas aplicações que exigem altas taxas de corrente de descarga	- Já presente em alguns veículos de série (p.e., Fisker EV)

Fonte: Elaboração própria, com base em Rosolem *et al.* (2012) e Element Energy (2012).

Hoje, o mercado de baterias de íon-lítio está concentrado no tipo LCO e no NMC, justamente por equiparem os eletrônicos de consumo. O Gráfico 3 expõe o uso, bastante concentrado em *laptops* e telefones, e a participação de cada tipo de bateria.

Gráfico 3 | Aplicação das células de baterias de íon-lítio e segmentação por tipo, em 2010 (em %)

Gráfico 3A | Aplicação das células de baterias de íon-lítio

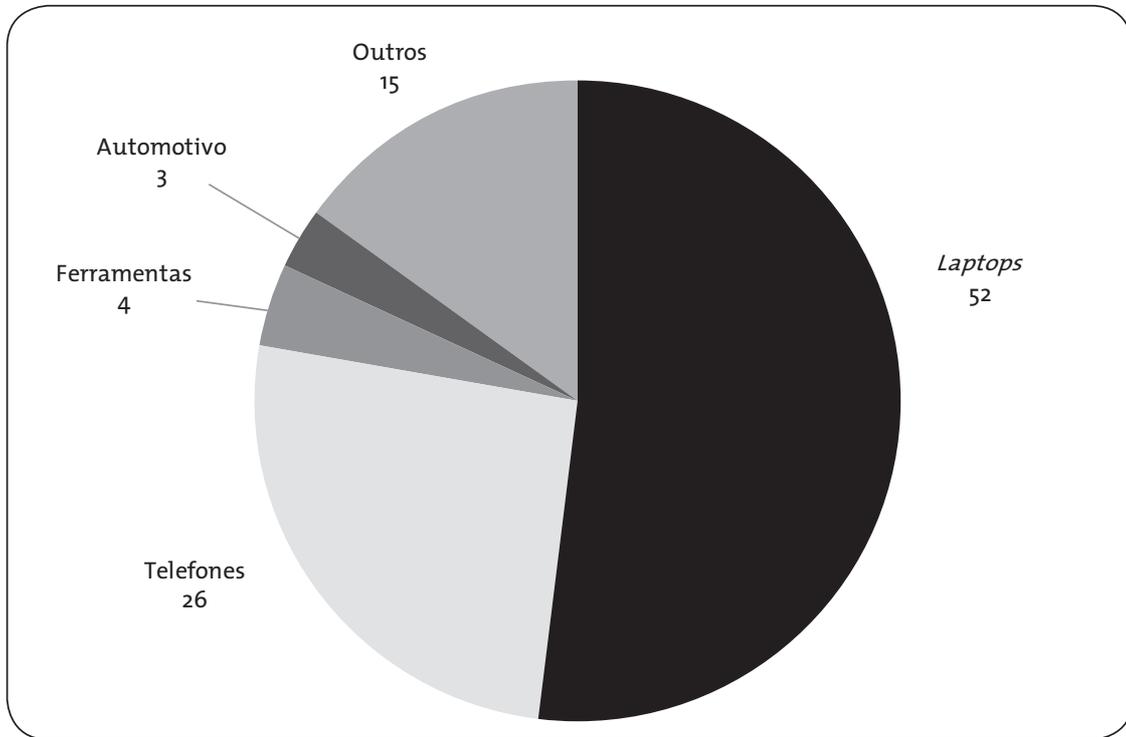
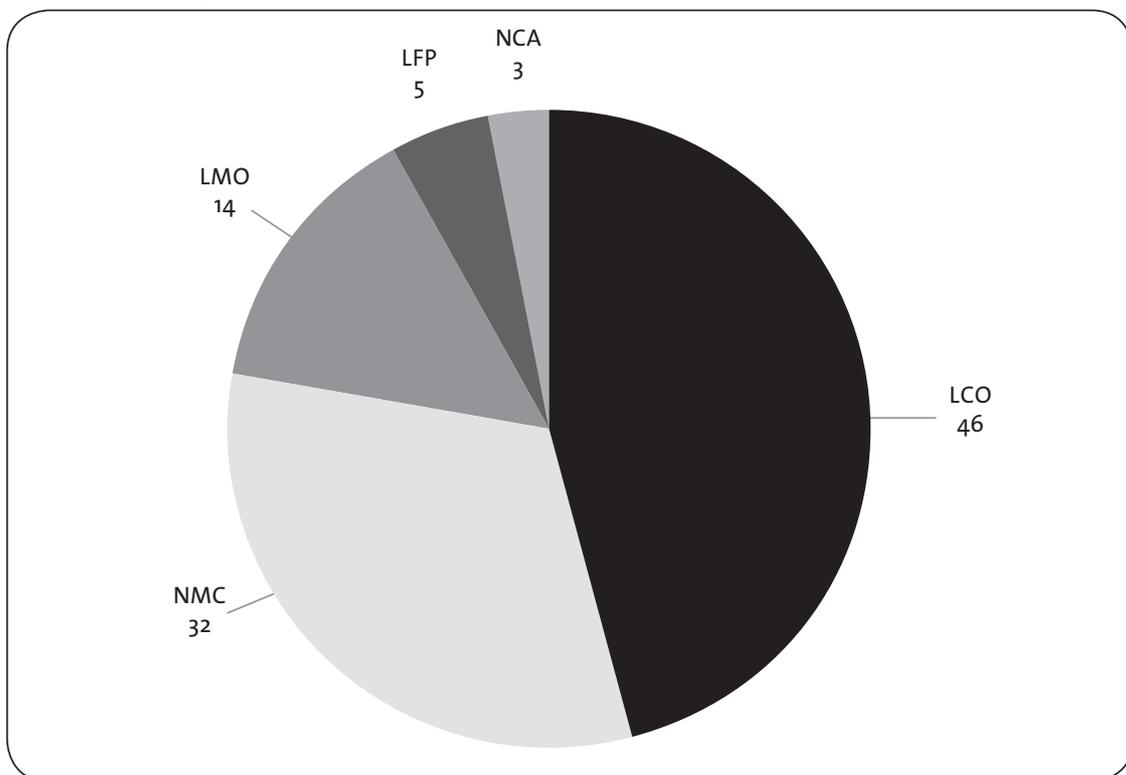


Gráfico 3B | Segmentação por tipo



Fonte: Avicenne *apud* Element Energy (2012).

As tecnologias de baterias de íon-lítio mais adequadas para veículos híbridos são LMO, NMC e LFP. Para veículos *plug-ins*, tanto híbridos quanto elétricos puros, NMC [Vandeputte (2012)].

É importante frisar que, por não haver ainda uma tecnologia dominante nas baterias de íon-lítio para veículos, estão sendo desenvolvidas melhorias das tecnologias disponíveis e outras combinações de materiais para as baterias. Como diretrizes, o desenvolvimento tecnológico em baterias visa maximizar algumas características e minimizar outras, como exposto no Quadro 5.

Quadro 5 | Diretrizes para o desenvolvimento tecnológico das baterias

Maximizar	Minimizar
<ul style="list-style-type: none"> - A confiabilidade; - o tempo de uso até a necessidade de nova carga; - o desempenho; - a densidade energética; - a faixa de temperatura da operação; - a vida útil; - a segurança das baterias. 	<ul style="list-style-type: none"> - O tempo de recarga; - o peso e o volume da bateria; - o custo e a agressividade ao meio ambiente.

Fonte: Elaboração própria, com base em Rosolem *et al.* (2012).

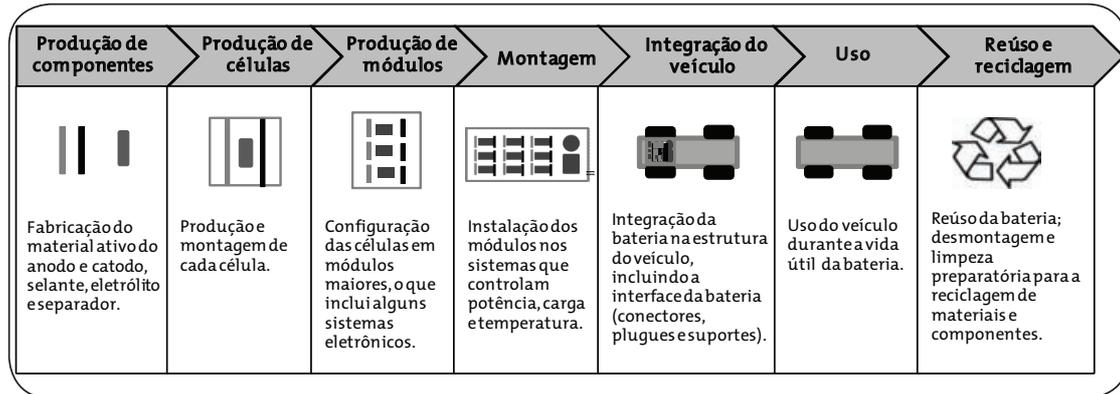
Um dos desafios do desenvolvimento tecnológico está relacionado com a segurança e a operação equilibrada quando as células são interligadas em série e/ou em paralelo, pois o eletrólito opera em uma faixa bem-definida de tensão. Caso os limites sejam ultrapassados, podem ocorrer reações exotérmicas, culminando na explosão e queima da bateria.

Uma maneira de viabilizar a utilização da bateria de íon-lítio é a introdução de um circuito eletrônico na célula, a fim de controlar sua operação, impedindo condições de risco (sobrecarga, subcarga, temperatura elevada, curto-circuito externo etc.). Se um dos limites é ultrapassado, o circuito desabilita a bateria, prevenindo a ocorrência desses riscos. É o sistema conhecido como Battery Management System (BMS), que, além de proteger a bateria, pode monitorar essas condições, comunicando-as ao condutor ou interagindo com os demais sistemas veiculares. O BMS também pode controlar a recarga advinda da frenagem regenerativa e otimizar o uso da energia, maximizando a capacidade da bateria.

Principais componentes das baterias de íon-lítio

O componente básico de uma bateria é a célula. As células são agrupadas em módulos, que posteriormente são agrupados em *packs*. Em geral, a arquitetura dos *packs* varia conforme o modelo do veículo. Uma cadeia de valor de baterias para veículos elétricos é representada na Figura 2.

Figura 2 | Cadeia de valor de baterias para veículos elétricos



Fonte: Traduzido de Dinger *et al.* (2010).

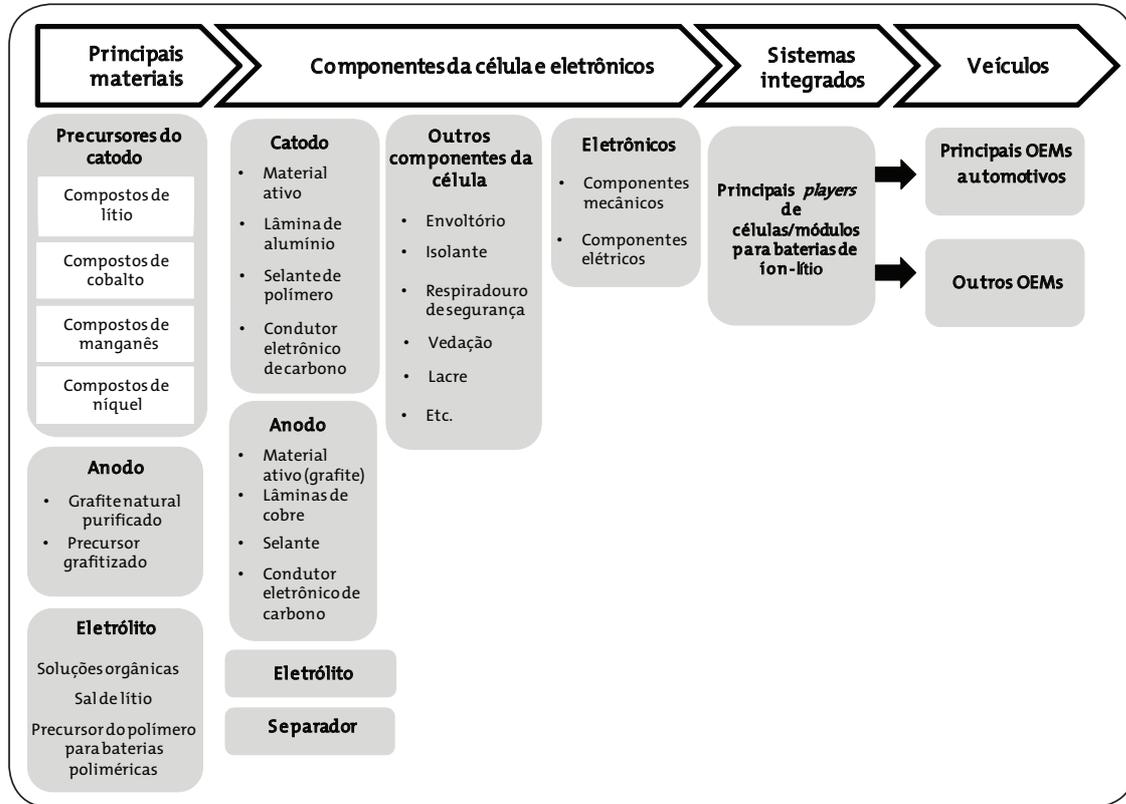
O maior custo está concentrado na matéria-prima e em seu processamento, que responde por 39% do total. As células são compostas por quatro elementos principais: catodos, anodos, eletrólitos e separadores. Os catodos respondem por cerca de 14% do custo de uma célula, enquanto os outros três elementos, por outros 14%. Outros materiais somam 11%. A Figura 3 focaliza as primeiras etapas de produção de componentes e da célula de uma bateria de íon-lítio.

Os principais componentes (catodo, anodo, eletrólito e separador) respondem por cerca de 75% do custo de matéria-prima das células. Assim, como os demais custos de uma célula estão relacionados mais diretamente à escala de produção, é natural uma preocupação dos pesquisadores com o material que compõe o catodo, já que é a matéria-prima mais relevante em custo. O Gráfico 4 detalha essa composição. Estudo da consultoria Roland Berger (2011) aponta para uma expectativa de queda de 5% a 20% nos custos de cada matéria-prima nos próximos anos, sobretudo em função da queda prevista dos preços dos minérios (exceto do lítio) e no aumento da competição entre fornecedores.

Sobre a obtenção de matéria-prima, destaca-se a mineração de lítio. É importante ressaltar que o uso em baterias, incluindo as aplicações não automotivas, é apenas uma das possibilidades do lítio, responsável por cerca de 33% do consumo. Esse elemento é utilizado também nas indústrias de vidro (16% do consumo), graxas lubrificantes (11%), esmaltes (10%), entre outras [SQM

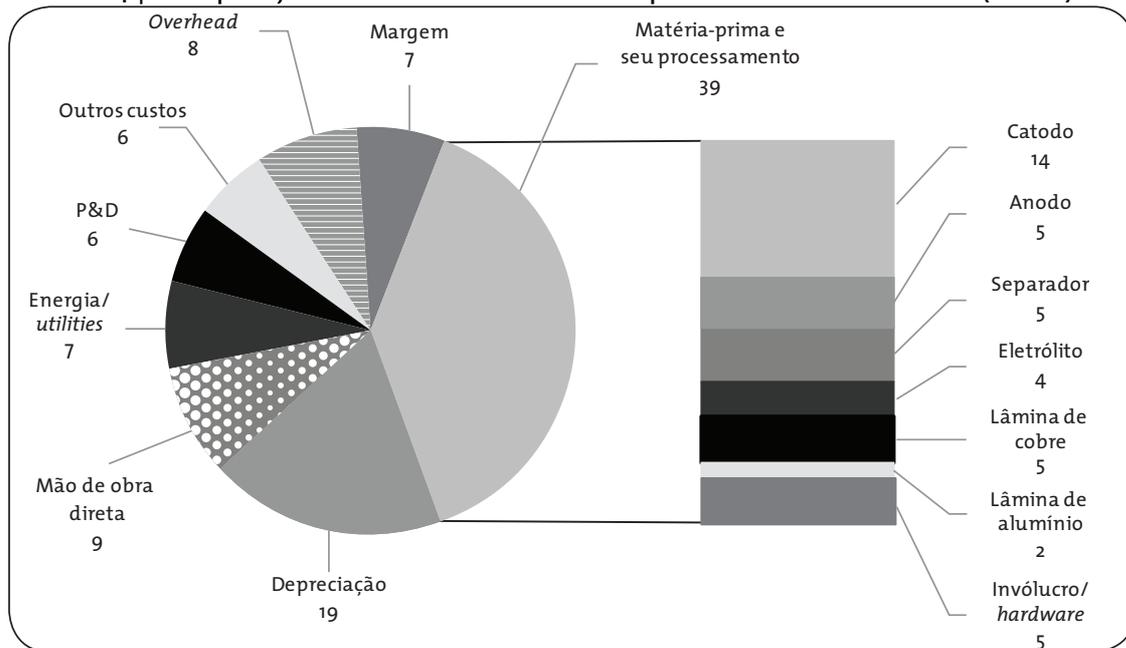
(2012)]. O uso em transportes resulta em menos de 1% do mercado global de lítio. Porém, há projeções apontando para uma inversão dessa participação.

Figura 3 | Componentes de baterias de íon-lítio para veículos elétricos



Fonte: Traduzido de CGGC *apud* Lowe *et al.* (2010).

Gráfico 4 | Composição de custo de uma célula para bateria de íon-lítio (em %)



Fonte: Roland Berger (2011). Com base na tecnologia NMC, excluindo o custo dos módulos e packs.

A produção de lítio é concentrada em quatro empresas.⁴ Esse mercado é estimado em cerca de US\$ 1 bilhão, e os maiores produtores de lítio são: Talison (australiana, com participação no mercado global de 28%), SQM (chilena, com 25%), Chemetall (alemã, com 17%) e FMC (norte-americana, com 14%) [Talison Lithium (2011)]. O custo de entrada é relativamente alto, o que reduz a atratividade para mineradoras maiores.⁵ Com o crescimento do mercado, que deve triplicar até 2020, é possível que se torne atrativo para empresas como a Vale.

A Tabela 4 mostra um panorama da disponibilidade de lítio no mundo, observando-se uma concentração das reservas e da produção no Chile, na China e na Austrália.

Tabela 4 | Panorama mundial da produção e reservas de lítio

	Produção mineral (t)		Reservas (t)	Recursos* (t)
	2010	2011 (estimativa)		
Chile	10.510	12.600	7.500.000	9.000.000
Austrália	9.260	11.300	970.000	1.800.000
China	3.950	5.200	3.500.000	5.400.000
Argentina	2.950	3.200	850.000	2.600.000
Portugal	800	820	10.000	n.d.
Zimbábue	470	470	23.000	n.d.
Brasil	489	336	46.000	1.000.000
Estados Unidos	n.d.	n.d.	38.000	4.000.000
Bolívia	n.d.	n.d.	n.d.	7.500.000
Congo	n.d.	n.d.	n.d.	1.000.000
Sérvia	n.d.	n.d.	n.d.	1.000.000
Canadá	n.d.	n.d.	n.d.	360.000
Total mundial (arredondado)	28.100	34.000	13.000.000	34.000.000

Fonte: Elaboração própria, com base em Jaskula (2012) e Garcia (2012).

* Recursos compreendem fontes existentes de determinado mineral para eventual extração. Reservas compreendem apenas as que têm viabilidade técnica, econômica e legal para extração.

n.d. = não disponível.

⁴ Houve uma tentativa de aquisição da Talison pela Chemetall (por meio da subsidiária Rockwood), em agosto de 2012, por cerca de US\$ 732 milhões, que foi reconsiderada em função de nova oferta feita pela chinesa Chengdu Tianqi Industry, por um valor 15,4% maior [Talison Lithium (2013)].

⁵ A título de comparação, a Vale produziu 322 milhões de toneladas de minério de ferro em 2011, que, ao preço de US\$ 136,46/tonelada, gerariam quase US\$ 44 bilhões.

Há outros minerais de importância na produção das baterias de íon-lítio. A bateria do modelo Nissan Leaf, com 24 kWh, contém, além de 4 kg de lítio, 62 kg de manganês. A do modelo GM Volt, com a mesma tecnologia e 16 kWh, tem cerca de 2 kg de lítio e 30 kg de manganês. O modelo Tesla Roadster, que utiliza outra tecnologia, usa 21 kg de cobalto por veículo.

Outro elemento presente em quase todos os tipos de baterias de íon-lítio é a grafite, que compõe o material do anodo em boa parte dos tipos de baterias. Sua demanda, considerando o uso nas baterias, deve crescer a uma taxa composta de 9% a.a., contra 3% se for desconsiderado esse mercado. Estima-se que, em 2012, a demanda global tenha somado 1,2 milhão de toneladas, número que deve dobrar até 2020. A China é o principal produtor mundial, com cerca de 80% do mercado.

O manganês eletrolítico, outro importante insumo de algumas baterias de íon-lítio, requer um nível de pureza bastante elevado para seu uso. A China é o principal produtor desse insumo, com 97% de uma oferta de cerca de 1,3 milhão de toneladas anuais.

Cerca de um quarto da demanda de cobalto é destinado ao uso em baterias, e a maior parte é utilizada nas baterias do tipo LCO, presentes em equipamentos portáteis como celulares, *laptops* e máquinas fotográficas. As tecnologias NCA e NMC utilizam muito menos cobalto em sua composição, se comparadas à LCO [Hykawy e Lee (2011)]. Segundo Element Energy (2012), usam entre três e seis vezes menos cobalto.

Produção de células e de seus componentes

A produção dos principais componentes de uma célula é concentrada na Ásia, em algumas empresas, com notável presença de japonesas. A Tabela 5 exibe uma dimensão da atual concentração de mercado. Os três maiores *players* em cada elemento concentram entre 60% e 80% das vendas mundiais. São empresas químicas em sua maior parte, que beneficiam os componentes de forma a atingir as especificações necessárias às baterias.

Tabela 5 | Participação de mercado das principais empresas fabricantes de componentes para baterias de íon-lítio em 2010 (em %)

Catodo		Anodo		Separador		Eletrólito	
Umicore (BEL)	32	Hitachi (JAP)	34	Asahi Kasei (JAP)	28	Cheil (COR)	33

Continua

Continuação

Catodo		Anodo		Separador		Eletrólito	
Nichia (JAP)	24	Nippon Carbon (JAP)	19	Celgard (EUA)	26	Ube (JAP)	21
Toda Kogyo (JAP)	5	BTR Energy (CHI)	12	Tonen/Toray (JAP)	24	Mitsubishi Chem (JAP)	15
Demais	39	Demais	35	Demais	22	Demais	35

Fonte: Roland Berger (2011).

Nota: BEL=Bélgica; EUA=Estados Unidos; CHI=China; COR=Coreia do Sul; e JAP=Japão.

A produção das células também é realizada, em sua maior parte, por empresas asiáticas, embora seja muito menos concentrada que a produção dos componentes. As principais fabricantes são: AESC, Sanyo e Li Energy (japonesas); SB LiMotive e LG Chem (coreanas); A123 e Tesla (norte-americanas); BYD e Lishen (chinesas); além de outras chinesas menores, como Calb, HYB e Yuntong.

Produção de baterias de íon-lítio

A produção de baterias de íon-lítio é concentrada na Ásia, especialmente no Japão. Os Estados Unidos têm cerca de 1% do mercado. A Tabela 6 lista os maiores produtores mundiais.

Tabela 6 | Participação de mercado dos principais fabricantes de baterias de íon-lítio (em %)

2000				2005				2008			
1	Sanyo	JAP	33,0	Sanyo	JAP	28,0	Sanyo	JAP	23,0		
2	Sony	JAP	21,0	Sony	JAP	13,0	Samsung	COR	15,0		
3	Panasonic	JAP	19,0	Samsung	COR	11,0	Sony	JAP	14,0		
4	Toshiba	JAP	11,0	Panasonic	JAP	10,0	BYD	CHI	8,3		
5	NEC-TOKIN	JAP	6,4	BYD	CHI	7,5	LG Chem	COR	7,4		
6	Hitachi-Maxwell	JAP	3,4	LG Chem	COR	6,5	BAK	CHI	6,6		
7	BYD	CHI	2,9	Tianjin Lishen	CHI	4,5	Panasonic	JAP	6,0		
8	LG Chem	COR	1,3	NEC-TOKIN	JAP	3,6	Hitachi-Maxwell	JAP	5,3		
9	Samsung	COR	0,4	Hitachi-Maxwell	JAP	3,3	ATL	CHI	1,0		
	Demais		1,6	Demais		12,6	Demais		13,4		

Fonte: Hawamoto (2010).

Obs.: Inclui as baterias de aplicação não automotiva.

Nota: CHI=China; COR=Coreia do Sul; e JAP=Japão.

O mercado global de baterias vem crescendo a um ritmo médio de 13% a.a., devendo atingir mais de US\$ 11 bilhões em 2013, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7 | Mercado global de baterias de íon-lítio (em US\$ bilhões)

2008	2009	2010*	2011*	2012*	2013**
6,1	6,8	7,7	8,8	10,2	11,2

Fonte: Tung (2010).

* Estimativa.

** Projeção.

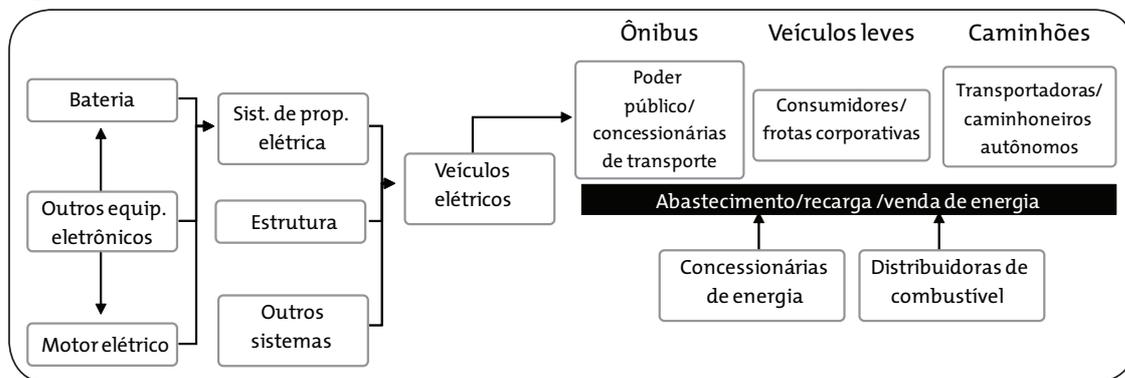
Embora menor que o mercado de baterias PbA, o de baterias de íon-lítio vem alcançando um grande crescimento. Com a mudança de paradigma na indústria automotiva, é esperado que o mercado de baterias de íon-lítio supere o de baterias PbA.

Transformações no mercado global de baterias automotivas

A difusão dos veículos elétricos e híbridos e seus desdobramentos trazem questões que permitem vislumbrar profundas transformações na indústria. Nos veículos elétricos, o sistema de armazenamento de energia, assim como o de tração, faz parte do sistema de propulsão elétrica. A incorporação de um motor elétrico ao automóvel abre um novo mercado para fornecedores não tradicionais da indústria automotiva. Da mesma forma, os produtores de baterias de íon-lítio, frequentemente voltados à indústria eletroeletrônica, vêm estruturando braços de negócio para essa indústria.

A Figura 4 é um esquema resumido da cadeia de valor dos veículos elétricos, desde a produção dos sistemas principais até o consumidor, incluindo a operação de abastecimento e/ou recarga do veículo.

Figura 4 | Cadeia de valor dos veículos elétricos



Fonte: Elaboração própria.

As baterias, bem como seus controles eletrônicos, em especial os sistemas de gerenciamento (BMS, na sigla em inglês), destacam-se na cadeia em função de se constituírem na principal questão tecnológica a ser resolvida. Soluções alternativas, como supercapacitores⁶ e células-combustível,⁷ também são levadas em conta. Os motores elétricos e seus controles eletrônicos constituem outra importante frente de desenvolvimento, na medida em que estão presentes até mesmo nos sistemas de frenagem regenerativa.

Com a progressiva eletrificação da frota, espera-se um desenvolvimento simultâneo da infraestrutura de recarga. Além de adicionar um novo uso para a energia elétrica, a difusão dos sistemas de armazenamento pode se transformar em uma oportunidade de negócios para as concessionárias, por meio de modelos que ajudem o usuário na gestão energética de sua residência (*smart grids*).

Pelo lado do usuário, a integração do veículo à rede elétrica constitui uma oportunidade para mitigar seu custo de aquisição. Com a regulamentação da microgeração, que é a geração de energia elétrica de fontes renováveis por meio de unidades consumidoras, distribuída no Brasil, o veículo elétrico, em especial sua capacidade de armazenamento de energia, adiciona flexibilidade ao sistema ao permitir um melhor gerenciamento da energia cogenerada. Ao retornar a sua residência em horário de pico, o consumidor poderia vender a energia armazenada ao sistema e recarregar a bateria de madrugada, quando há demanda reduzida de energia e a tarifa pode ser menor.

Por envolver mudanças em relação a vários atores, a eletrificação da frota de veículos pode gerar oportunidades para a criação de novos negócios. Como a difusão dos veículos elétricos e híbridos é elemento central das potenciais transformações no mercado de baterias automotivas, as subseções seguintes trazem o *status* das vendas desses veículos mundialmente.

Difusão dos veículos elétricos e híbridos

O crescimento do mercado de veículos elétricos e híbridos vem se concentrando em três regiões: nos Estados Unidos, no Japão e na Europa. Embora essas regiões sejam responsáveis por 39% do mercado mundial de veícu-

⁶ De forma simplificada, supercapacitores são componentes elétricos que armazenam energia elétrica.

⁷ Célula-combustível (ou célula de combustível, ou célula a combustível, ou pilha a combustível) é um dispositivo que gera energia elétrica por meio de uma reação química com oxigênio e um agente oxidante, comumente hidrogênio.

los leves, estimado em 76,8 milhões de unidades, elas concentram quase a totalidade das vendas de veículos elétricos e híbridos.

O Japão é hoje o maior mercado para veículos híbridos. Lá, 17% dos veículos vendidos são híbridos. Da montadora japonesa Toyota, principal fabricante de veículos híbridos, 8,5% dos aproximadamente 7,4 milhões de veículos vendidos no mundo são híbridos. Até 2020, todos os modelos produzidos pela montadora contarão com uma versão híbrida.

Nos Estados Unidos, onde cerca de 3% das vendas de veículos leves é composta por veículos híbridos, outras montadoras, como Ford, GM, Honda e Kia, aparecem com destaque. Embora alguns modelos ainda contem com incentivos governamentais,⁸ sobretudo abatimento no imposto de renda, os mais antigos já não dispõem desses incentivos por terem atingido um volume de produção considerado alto. Assim, de forma gradual, o custo inicialmente mais elevado de um veículo híbrido vai sendo diluído com o aumento na escala de produção.

Já os veículos puramente elétricos têm uma difusão mais lenta. Enquanto os modelos híbridos já reduziram as questões tecnológicas que os cercavam, os puramente elétricos ainda têm um caminho a percorrer. Os veículos em comercialização ainda dispõem de autonomia limitada quando comparada à dos veículos a gasolina (cerca de 160 km com carga completa). Essa questão tecnológica, bem como o alto preço,⁹ reflete-se em vendas baixas. A estimativa é que as vendas globais de veículos puramente elétricos, embora crescentes, girem em torno de 40 mil unidades anuais.

No entanto, há perspectivas de aceleração da difusão, com a entrada em vigor de metas de eficiência energética mais rígidas, a superação dos gargalos tecnológicos e os ganhos de escala. Estima-se que o mercado global de veículos elétricos e híbridos saltará dos US\$ 21,1 bilhões de 2011 para cerca de US\$ 103 bilhões em 2017, um crescimento de quase cinco vezes ou de 30% a.a. [MarketsandMarkets (2012)].

⁸ Nos Estados Unidos, pessoas que comprarem um veículo elétrico podem ter um abatimento de até US\$ 7.500 no imposto de renda, dependendo do veículo e de seu volume de vendas. Alguns estados norte-americanos dispõem de incentivos semelhantes, elevando o benefício ao comprador. Detalhes sobre os incentivos norte-americanos estão disponíveis em <<http://www.fueleconomy.gov/feg/taxcenter.shtml>>. Para uma descrição de incentivos disponíveis em outros países, *vide* Castro e Ferreira (2010).

⁹ Como exemplo, no mercado norte-americano, o modelo Nissan Leaf tem preço a partir de US\$ 35.200, enquanto outro modelo *hatchback* da montadora, o Nissan Versa (Tiida no Brasil), feito na mesma plataforma, tem preço a partir de US\$ 14.670, ou seja, há uma diferença de 140%.

Na Europa, houve crescimento nas vendas de veículos híbridos, de 81 mil, em 2008, para cerca de 92 mil, em 2011, e nas vendas de veículos puramente elétricos, que passaram de 1,3 mil em 2010 para 9,2 mil em 2011. Representando ainda uma parcela muito pequena da frota, os incentivos públicos para veículos elétricos puros vêm sendo alvo de crítica. Alguns levantamentos apontam que, embora haja programas de subsídio à compra de veículos elétricos em quase todos os países europeus, eles variam bastante em relação ao montante do benefício. No entanto, não há uma clara relação entre o subsídio e o desempenho das vendas.

As vendas de veículos puramente elétricos na Europa, todavia, são bastante condizentes com o desempenho em outras regiões, como nos Estados Unidos, no Japão e na China.

A China vem experimentando um elevado crescimento nesse segmento, com montadoras como a BYD, embora, em termos gerais, a presença de veículos elétricos e híbridos nas vendas chinesas seja estimada em cerca de 0,06%.

De uma forma geral, os veículos elétricos e híbridos têm participação crescente nas vendas de veículos nos principais mercados. Mesmo com cenários de crise econômica e problemas operacionais sérios em plantas importantes, como os que aconteceram no Japão em 2011, as vendas vêm se mantendo em patamar crescente. No Brasil, sua participação ainda é muito pequena, mas também crescente, como será visto mais adiante. A Tabela 8 mostra um panorama da participação de veículos elétricos e híbridos nos principais mercados.

Tabela 8 | Participação das vendas de veículos elétricos e híbridos sobre as vendas de veículos leves em regiões selecionadas

2011	Vendas de veículos leves (milhões)	Vendas de veículos híbridos (mil)	Vendas de veículos elétricos (mil)	Participação dos VEs e VHEs no total de veículos vendidos (%)
EUA	12,7	276,0	10,1	2,30
Japão	4,0	666,0	16,7	17,00
Europa	13,1	92,0	9,2	0,80
China	14,5	2,6	5,6	0,06
Brasil	3,5	0,2	-	0,01
Total (regiões selecionadas)	47,8	1.036,0	41,6	2,30

Fonte: Elaboração própria, com base em Anfavea, CAAM (2013), HybridCars.com, Jama (2012), JD Power, Mock (2012), ScotiaCapital e Yoshioka (2012).
n.d. = não disponível.

O Japão e os Estados Unidos ainda são os principais responsáveis pela média de 1,4% de participação das vendas de veículos híbridos e elétricos sobre o total no mundo. A Europa se torna cada vez mais relevante, e outras regiões vêm seguindo essa tendência, embora de forma mais lenta. A Tabela 9 expõe a evolução dessa participação nos últimos cinco anos.

Tabela 9 | Evolução anual da participação das vendas de veículos híbridos e elétricos sobre as vendas de veículos leves em regiões selecionadas (em %)

	2008	2009	2010	2011	2012
EUA	2,4	2,8	2,40	2,30	3,40
Japão	2,8	8,9	10,80	17,00	n.d.*
Europa	0,5	0,5	0,60	0,80	0,70
China	-	-	0,01	0,06	n.d.
Brasil	-	-	-	0,01	0,01**
Mundo	1,0	1,5	1,70	1,40	1,70-2,00**

Fonte: Elaboração própria, com base em Anfavea, CAAM (2013), EDTA, HybridCars.com, IEA (2012), Jama (2013), JD Power, Mock (2012), Pike Research e ScotiaCapital e Yoshioka (2012).

* n.d. = não disponível.

** Estimativas.

Principais modelos de automóveis em comercialização

Com vendas concentradas regionalmente e em algumas montadoras de veículos, convém destacar alguns modelos que vêm estabelecendo padrões para a indústria automotiva.

O principal modelo em comercialização é o Toyota Prius. Não obstante, há ainda diversos outros modelos que compartilham da mesma configuração, como outros da própria Toyota (por exemplo, o Yaris e o Camry), da Lexus (marca pertencente à Toyota) e da Ford (por exemplo, o Escape e o Fusion). O Nissan Leaf e o Mitsubishi iMiEV constituem os principais modelos puramente elétricos em comercialização, respondendo por quase todo o mercado mundial. Por fim, o GM Volt é o principal veículo híbrido em comercialização que conta com uma arquitetura em série.¹⁰ Um panorama da produção de cada um é detalhado a seguir.

¹⁰ Na arquitetura em série, o motor a combustão interna é ligado a um gerador, e não diretamente ao trem de acionamento. O motor elétrico é que movimenta as rodas.

Toyota Prius

O modelo de mais sucesso no segmento continua sendo o Toyota Prius, que lidera o *ranking* de vendas mundiais. O Prius é um veículo híbrido combinado série-paralelo,¹¹ fabricado no Japão, na Tailândia e na China.¹² Nesses três países, a capacidade, compartilhada por outros modelos da empresa, é, respectivamente, de 929 mil, 508 mil e 30 mil veículos por ano. Seu consumo é de 21,7 km/l no ciclo urbano.¹³ Em Honsha, no Japão, são fabricadas partes do sistema híbrido.

As baterias que equipam o Toyota Prius são fornecidas pela empresa Primearth EV Energy (PEVE), antiga Panasonic EV Energy. Trata-se de uma *joint-venture* entre a Toyota e a Panasonic, cujo principal cliente, com a quase totalidade das vendas, é a própria Toyota. A empresa começou a produção em escala dos módulos de baterias do tipo Ni-MH¹⁴ em 1997. Em 2000, a empresa passou também a fabricar as unidades de controle eletrônico da bateria (ECU). São três plantas no Japão: em Omori (capacidade de 400 mil baterias por ano), em Sakaijuku (capacidade de 400 mil baterias por ano) e em Miyagi (capacidade de 200 mil baterias por ano, operando desde 2010).

Nissan Leaf

O Leaf é um veículo puramente elétrico fabricado pela Nissan na planta de Oppama, no Japão, cuja capacidade de produção anual é de 50 mil veículos. A aposta da empresa no modelo é grande, e já foram anunciadas duas outras fábricas, uma em Smyrna, no estado do Tennessee, nos Estados Unidos, com capacidade para 150 mil veículos por ano, e outra em Sunderland, na Inglaterra, para 50 mil veículos por ano. O modelo foi lançado ao mesmo tempo nos Estados Unidos e no Japão, em dezembro de 2010, alcançando vendas acumuladas de mais de 49 mil veículos até dezembro de 2012. As baterias do Leaf, de íon-lítio, são fornecidas pela Automotive Energy Supply Company (AESC), uma *joint-venture* entre a Nissan e a NEC, e fabricadas em Zama, no Japão (capacidade de 65 mil unidades por

¹¹ No sistema em paralelo, tanto o motor elétrico quanto o motor a combustão podem movimentar as rodas, conjuntamente ou independentemente. O sistema série-paralelo conjuga características das arquiteturas em série e em paralelo, incorporando a possibilidade de recarga da bateria pelo motor a combustão mesmo quando ele estiver tracionando o veículo.

¹² Há modelos híbridos da Toyota fabricados em outros países, como o Camry Hybrid (Austrália, China, Estados Unidos e Tailândia) e o Auris Hybrid (Reino Unido).

¹³ Fonte: www.fueleconomy.gov. Toyota Prius 2011, 1,8 l, quatro cilindros, automático, com gasolina.

¹⁴ Níquel-metal hidreto, um tipo de bateria utilizado em veículos híbridos e aplicações domésticas.

ano). Sua autonomia é de 160 km. Em Yokohama, no Japão, a empresa ainda fabrica motores elétricos e inversores.

Mitsubishi iMiEV

Também vendido na Europa com o nome de Citroën C-Zero e Peugeot iOn, o iMiEV é um veículo puramente elétrico fabricado em Mizushima, no Japão, e lançado em junho de 2009. As baterias do iMiEV, de íon-lítio, são fornecidas pela Lithium Energy Japan, uma *joint-venture* entre a Mitsubishi e a GS Yuasa, e fabricadas em Kusatsu (desde junho de 2009, com capacidade para equipar 6.800 veículos por ano), em Kyoto (desde dezembro de 2010, com capacidade para 11 mil), e em Ritto (com capacidade para 50 mil), todas no Japão. Há uma quarta planta em construção, também em Ritto, adjacente à existente, com capacidade para equipar 75 mil veículos por ano, o que deve dobrar a capacidade produtiva da empresa, totalizando 150 mil [Lithium Energy Japan (2011a); Lithium Energy Japan (2011b)]. Até dezembro de 2012, suas vendas acumulavam mais de 20 mil unidades, concentradas na Europa (65%) e no Japão (34%).

GM Volt

O Volt é um veículo híbrido em série fabricado em Detroit/Hamtramck, estado de Michigan, nos Estados Unidos, a cerca de 5 km da sede da GM. A expectativa, baseada nas intenções, levantadas pela empresa, dos consumidores em 2010, era de atingir cerca de 25 mil unidades vendidas em 2011. A meta foi atingida apenas em 2012, acumulando vendas, desde seu lançamento, em dezembro de 2010, até dezembro de 2012, de 31.458 unidades nos Estados Unidos. O preço inicial, de US\$ 41.000 (antes dos incentivos),¹⁵ foi revisto para US\$ 39.145. Suas versões para o mercado europeu, Opel Ampera e Vauxhall Ampera, que compartilham da mesma mecânica e eletrônica, foram lançadas em 2012 e acumularam vendas de 5.293 unidades, número alinhado à expectativa da empresa, ante a manifestação de interesse em sua aquisição. As vendas totais dos modelos atingiram 30.090 veículos vendidos em 2012 [Voelcker (2013)].

A capacidade da fábrica de Hamtramck pode chegar a 250 mil veículos por ano, rodando em três turnos. As baterias do Volt, de íon-lítio, são fa-

¹⁵ O GM Volt pode ter incentivo federal de US\$ 7.500 de rebate no imposto de renda, além de eventuais incentivos estaduais.

bricadas em Brownstown, estado de Michigan, nos Estados Unidos, onde se montam os módulos e os *packs* por meio de células produzidas pela LG Chem na Coreia do Sul. A LG Chem dispõe de um financiamento aprovado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos para instalação de uma fábrica de células em Michigan.

Ainda que, no momento, os modelos GM Volt e Nissan Leaf possam ser considerados de nicho pelas montadoras, em função do volume atual de vendas, a afirmação não vale para o Toyota Prius. Nos Estados Unidos, as versões do Prius ocupam a 15ª posição entre os mais vendidos. Proporcionalmente, as vendas se assemelham às do modelo Corolla no Brasil, com 1,5% de participação em seus respectivos mercados.

Evolução do mercado de baterias de íon-lítio para veículos

O mercado global de baterias de íon-lítio para uso veicular é estimado em US\$ 2 bilhões (2011), e estima-se que atinja US\$ 14,6 bilhões em 2017. O crescimento de mercado está atrelado à difusão dos veículos híbridos e elétricos e também a uma expectativa de queda no preço em pelo menos um terço. Na China, estima-se uma redução ainda maior, da ordem de 60% até 2020, o que levaria a um custo estimado entre US\$ 200 e US\$ 320 por kWh [World Bank e PRTM (2011)], muito próximo da meta estabelecida para os Estados Unidos pelo United States Advanced Battery Consortium (USABC), de US\$ 250 por kWh em 2020 [Dinger *et al.* (2010)].

Atualmente, o maior mercado de veículos elétricos é o de bicicletas (US\$ 7,1 bilhões), com 30,6 milhões de unidades vendidas. A China é o principal mercado para bicicletas, *scooters* e motocicletas elétricas, tanto em produção quanto em vendas. Estima-se que esse mercado cresça para cerca de US\$ 12 bilhões em 2018.

O mercado de veículos elétricos leves a bateria (automóveis e comerciais leves) é de cerca de 40 mil unidades por ano. O de veículos leves híbridos é substancialmente maior, atingindo cerca de um milhão de unidades por ano, mas ainda concentrado em outra tecnologia de bateria (NiMH).¹⁶ Com necessidade de baterias de maior capacidade e menores dimensões, bem como da inclusão de dispositivos *plug-in*, espera-se uma migração para as

¹⁶ NiMH – bateria de níquel-hidreto metálico, utilizada no modelo Toyota Prius (primeira e segunda gerações). A terceira geração (*plug-in*) utiliza baterias de íon-lítio.

baterias de íon-lítio, o que deve levar a aumento do mercado para cerca de 3 milhões de unidades em 2017, entre híbridos e elétricos puros [Gartner e Dehamna (2012)].

As vendas de veículos pesados giram em torno de 3 mil unidades anuais, e há projeções que elevam esse número para 14,5 mil em 2017. Como um veículo maior necessita de mais energia, as baterias são consequentemente maiores.

Uma síntese do mercado global de veículos elétricos é apresentada na Tabela 10, dando uma dimensão do crescimento esperado para os próximos anos.

Tabela 10 | Mercado global de veículos elétricos (em US\$ bilhões)

	2011	2015 ¹	2018 ¹	CAGR 2011-2018 (%)
Bicicletas, <i>scooters</i> e motocicletas	7,1	9,4	12,0	8
Automóveis e comerciais leves ²	21,1	n.d. ³	103,1 ⁴	30 ⁴

Fonte: Elaboração própria, com base em Pike Research *apud* Hurst *et al.* (2012) e Marketsandmarkets (2012).

¹ Projeções.

² Inclui híbridos.

³ n.d. = não disponível.

⁴ 2017.

Organização dos novos fornecedores

Pela própria lógica da indústria automotiva, destacam-se dois grupos de arranjos entre empresas: as *joint-ventures* com participação acionária de montadoras de veículos e os acordos de fornecimento entre montadoras e fabricantes de baterias. No entanto, mesmo no segundo caso, as montadoras tendem a estar integralmente envolvidas no projeto e na produção das baterias, visto que é preciso uma integração completa entre bateria e veículo. Diferentemente das baterias de chumbo-ácido que equipam os automóveis atuais, de tamanho e formato padronizados, as baterias para veículos elétricos assumem diversos formatos. Por ainda serem grandes em relação ao veículo, mas modulares, há uma tendência a projetá-las de forma personalizada.

Verifica-se que as *joint-ventures* são formadas, em geral, por montadoras com uma posição já bem estabelecida no segmento de veículos elétricos e híbridos ou cujo produto é um elétrico puro, em que a bateria compõe parte significativa do custo do veículo. Há também *joint-ventures* entre sistemistas e fabricantes de baterias de íon-lítio, provavelmente buscando um melhor posicionamento no mercado. A Tabela 11 exibe um extrato de alianças identificadas.

Tabela 11 | Relação de *joint-ventures* para fornecimento de baterias de íon-lítio

Região	Empresas	Tecnologias	Montadoras
Japão	PEVE (Toyota + Panasonic)	NCA, NMC	Toyota
	AESC (Nissan + NEC + NEC Tokin)	LMO, NMC, NCA	Nissan, Renault, Subaru
	Lithium Energy Japan (Mitsubishi + GS Yuasa)	LMO, NCA	Mitsubishi, PSA
	Blue Energy (Honda + GS Yuasa)	n.d.	Honda
Japão/Alemanha	Degussa Enax (Enax + Degussa)	LMO, NMC	Honda
Alemanha	Deutsche Automotive (Evonik + Daimler)	n.d.	Daimler
Coreia do Sul/ Alemanha	SB LiMotive (Samsung + Bosch)	LMO, NMC	Hyundai, Ford
Europa	JCS (Johnson Controls + Saft)	NCA	Daimler, BMW, Ford, GM
EUA/China	ATBS (A123 + SAIC)	n.d.	SAIC

Fonte: Elaboração própria, com base em Ketterer *et al.* (2009) e *sites* das empresas.
n.d. = não disponível.

Por ser a bateria uma peça central, assim como ocorre com outras autopeças, algumas montadoras optaram por firmar contratos de fornecimento, normalmente com mais de um fabricante de bateria. A Tabela 12 mostra uma lista de relações de fornecimento identificadas.

Tabela 12 | Contratos de fornecimento de baterias de íon-lítio

Região	Fabricante	Tecnologia	Montadora
Japão	Sanyo	LMO, NMC	Volkswagen
	Hitachi	LMO	GM
Europa	GAIA	LFP, NCA	Daihatsu, Smart
	Continental	n.d.	Daimler
Coreia do Sul	LG Chem	LMO	GM, Hyundai
	SK Energy	LMO	Hyundai
EUA	A123	LFP	GM, Think City
	EnerDel	LMO	Think City, Fisker, Volvo
	Altair Nanotechnologies	NMC	Phoenix Motocars
	Valence	LFP	EnergyCS
Canadá	Eletrovaya	n.d.	Chrysler

Fonte: Elaboração própria, com base em Ketterer *et al.* (2009), Michaeli *et al.* (2011) e *sites* das empresas.
n.d. = não disponível.

Há ainda montadoras que produzem suas próprias baterias, como a chinesa BYD Auto, e as que fazem a montagem final internamente, como as norte-americanas GM e Tesla.

Analistas apontam para um possível movimento de consolidação dos fabricantes de baterias para veículos híbridos e elétricos, concentrando-se em algo em torno de seis a oito empresas com um tamanho típico de US\$ 1 bilhão de faturamento em 2015. Dinger *et al.* (2010) sugerem ainda que as atuais alianças entre montadoras e fabricantes de baterias devem, no médio prazo, ser substituídas por alianças entre esses fabricantes e os sistematistas. Ou seja, se, no momento, a diferença entre as alianças reside na química das baterias, no futuro, com a padronização das baterias, as diferenças passarão a estar na eletrônica.

Novos modelos de negócio

A eletrificação da frota gera algumas oportunidades para novos negócios. Atualmente, algumas grandes cidades mantêm serviços de aluguel de veículos elétricos, em sistema de *car sharing*.¹⁷ *Car sharing* é um sistema de aluguel de veículos por curtos períodos, cobrados por hora ou até por minuto. A grande vantagem é a comodidade, pois os veículos contam com espaços para estacionamento já definidos, o que auxilia o motorista a enfrentar o problema de escassez de vagas nas grandes cidades.

Não há necessidade de que os veículos disponibilizados em sistema de *car sharing* sejam elétricos (na maior parte, não são),¹⁸ porém isso se torna um diferencial para o consumidor e sua operacionalização pode se tornar mais simples, já que ele pode ser abastecido no próprio local de estacionamento. Além disso, algumas grandes cidades vêm adotando restrições de circulação a veículos com motores a combustão interna em algumas áreas e os veículos elétricos contam com trânsito livre. Há algumas iniciativas com frotas exclusivamente elétricas e várias empresas com modelos elétricos e híbridos em suas frotas (Quadro 6).

¹⁷ Há um sistema chamado de *peer-to-peer car sharing*, em que os próprios donos de automóveis disponibilizam seus veículos para aluguel por curto período de tempo, que não abordaremos no artigo.

¹⁸ No Brasil, há uma empresa de *car sharing*, a ZazCar, sediada em São Paulo, que não dispõe de veículos elétricos em sua frota.

Quadro 6 | Panorama das operações de *car sharing* que utilizam veículos elétricos ou híbridos

Frota	Empresa	Localização da operação
Apenas veículos elétricos	Autolib'	Paris e arredores
	Twizy Way (programa-piloto da Renault)	França
	ifRenting	Barcelona (Espanha)
Disponibilizam veículos elétricos	Car2go (Daimler)	Alemanha, Canadá e EUA
	DriveNow (BMW e Sixt)	Alemanha e EUA
Disponibilizam veículos elétricos e híbridos	Enterprise Car Share	EUA
	WeCar (Enterprise)	EUA
	GoGet	Austrália
	I-GO	Chicago (EUA)
Disponibilizam veículos híbridos	City Car Club	Reino Unido
	Statt Auto	Alemanha

Fonte: *Sites* das empresas.

Obs.: Lista não exaustiva.

Outros modelos de negócio envolvem a recarga dos veículos, que pode ser realizada em postos com função semelhante à dos de gasolina, porém com uma infraestrutura bastante diferente, ou ainda com a troca rápida das baterias, como o sistema da empresa israelense Better Place. O alto custo atual das baterias vem levando a soluções como o aluguel ou o *leasing* das baterias, diluindo assim o custo de aquisição do veículo.

A própria recarga em si constitui uma demanda adicional para as distribuidoras de energia e, por estarem equipados com acumuladores de energia, os veículos elétricos podem fornecer energia ao sistema se integrarem um *smart grid*.

Por fim, a eletrificação dos veículos gera a possibilidade do desenvolvimento de serviços móveis, como aplicativos para celulares que informam e administram a recarga dos veículos.

Panorama da difusão dos veículos elétricos no Brasil

O setor de transporte rodoviário é o que, individualmente, mais consome energia no Brasil (26,5% do total) [EPE (2012)]. Como consequência, o setor é um grande responsável pelas emissões de CO₂ de combustíveis fósseis, respondendo por 40,9% do total [Brasil (2010)]. O volume de emissões está

diretamente relacionado à eficiência energética, e a busca dessa eficiência, por sua vez, vem se tornando um importante catalisador da evolução tecnológica dos veículos em todo o mundo.

No Brasil, os maiores avanços na indústria automotiva estão, em uma perspectiva histórica, mais relacionados à segurança energética do país¹⁹ do que propriamente à eficiência energética. Com uma agenda ambiental mais em evidência, a eficiência energética ganha importância no Brasil.

No que se refere a veículos leves, poucos são os modelos híbridos e elétricos disponíveis para venda no Brasil. Entre os elétricos puros, excluindo eventuais adaptações nos veículos, a frota nacional ao fim de 2012 era de menos de cem unidades, grande parte adquirida ou desenvolvida por empresas do setor de energia (Itaipu possuía 28; e a CPFL, 3) ou frotas de demonstração [Dal Poggetto (2011)].

Quanto aos híbridos, estima-se que as vendas giram em torno de duzentas unidades por ano, decorrentes principalmente da baixa disponibilidade de modelos para venda no Brasil (apenas três até o momento),²⁰ de seu posicionamento, voltado ao mercado de luxo, das elevadas tarifas de IPI e de imposto de importação. Para comparação, em setembro de 2012, havia 44 modelos híbridos, de 11 montadoras, para comercialização nos Estados Unidos.

Não há produção de veículos leves híbridos no país. Os elétricos têm clientes corporativos, enquanto os modelos híbridos lançados destinam-se a um público de alta renda. Os custos associados à importação desses modelos decerto influenciam a estratégia de lançamento dos modelos híbridos pelas montadoras no Brasil e são parte importante do problema da baixa difusão desses veículos no país. Contudo, ainda que a disponibilidade de veículos híbridos e elétricos seja bastante restrita no Brasil, percebe-se um crescente interesse nesses veículos, em função dos diversos eventos, feiras e publicações com esse tema.

Entre os modelos disponíveis para venda no Brasil, o Ford Fusion é o líder de mercado. Trata-se de um *full hybrid*, em que o automóvel roda apenas com o motor elétrico até atingir os 75 km/h, quando entra em ação

¹⁹ A crise do petróleo foi um importante motivador do lançamento do Proálcool, em 1975.

²⁰ Os modelos comercializados no Brasil até outubro de 2012 eram o Ford Fusion Híbrido, o Mercedes S400 Híbrido e o BMW 7 ActiveHybrid.

o motor de combustão interna a gasolina. Já o modelo da Mercedes é considerado um *mild hybrid*, pois o motor elétrico atua somente para melhorar o desempenho do automóvel, fazendo um motor a combustão menor, uma vez que está conjugado com o motor elétrico, ter o mesmo desempenho de um motor a combustão maior. Das 22 unidades do modelo Toyota Prius, vinte foram disponibilizadas no âmbito do Programa de Táxis Híbridos da Prefeitura de São Paulo e duas foram importadas de forma independente pela empresa de logística Ouro Verde, com sede em Curitiba (PR). A Tabela 13 relaciona os principais modelos da frota brasileira e alguns dados técnicos selecionados.

Tabela 13 | Veículos híbridos e elétricos disponíveis no Brasil

Tipo	Híbrido médio	Híbrido completo		Elétrico puro ¹				
Modelo	Mercedes S400 Hybrid	Toyota Prius	Ford Fusion Híbrido	Nissan Leaf	Palio Weekend Elétrico	Mahindra Reva i	Think City	Mitsubishi i-MiEV
Fabricação	Alemanha	Japão	México	Japão	Brasil	Índia	Finlândia e EUA	Japão
Lançamento no Brasil	Jul. 2010	Jan. 2013	Nov. 2010	Não lançado	2007	2008	2010	2010
Vendas acumuladas até dez. 2011	44	22 ²	175	2 ²	58	9	3	2
Motor a combustão	Gasolina 3.5 (279cv) – Ciclo Atkinson	Gasolina 1.8 (98cv) – Ciclo Atkinson	Gasolina 2.5 (158cv) – Ciclo Atkinson	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem
Motor elétrico	20cv. Combinada: 299cv	60 kW Combinada: 138cv	107cv. Combinada: 193cv	80 kW (107cv)	15 kW (20cv)	13 kW (18cv)	34 kW- 37 kW (50cv)	49 kW (65cv)
Bateria	Íon-lítio	Ni-MH	Ni-MH	Íon-lítio	Zebra	Pb-Ácida	Íon-lítio ou Zebra	Íon-lítio
Autonomia (km)	945	978	1.120	175	120	80	160	160
Tanque (litros)	90	45	66	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem	Não tem
Preço	R\$ 406 mil	R\$ 120 mil	R\$ 134 mil	US\$ 35 mil	R\$ 140 mil	US\$ 30 mil	US\$ 30 mil	R\$ 200 mil
Peso (kg)	1.950	1.397	1.687	1.535	1.029	660	1.038	1.100
Peso das baterias (kg)	20	41	65	300	165	200	245-260	220

Continua

Continuação

Tipo	Híbrido médio	Híbrido completo			Elétrico puro ¹			
Velocidade máxima (km/h)	250	180	180	145	100	80	110	130
Consumo (km/l)	10,5	21,7	17,4 ³	-	-	-	-	-

Fonte: Elaboração própria, com base em Florêncio (2012) e *sites* dos fabricantes.

¹ Nenhum é vendido ao consumidor, apenas adquirido ou desenvolvido pelos parceiros dos projetos.

² Referência: dez. 2012.

³ Segundo os parâmetros da Agência Ambiental Norte-Americana (www.fueleconomy.gov). Segundo os parâmetros do Inmetro, o consumo é de 12,6 km/l. A título de comparação, a versão convencional consome 9,8 km/l.

Além dos dois modelos híbridos citados, outro foi lançado no mercado brasileiro em outubro de 2011, o BMW 7 ActiveHybrid. Da mesma forma que o modelo da Mercedes, ele também pode ser classificado como um *mild hybrid* e tem preço divulgado de R\$ 546 mil.

A Toyota lançou o modelo Prius no Brasil em 2012, com início de vendas em janeiro de 2013. Seu preço foi definido em R\$ 120 mil, com uma expectativa de vendas em torno de cinquenta a cem unidades/mês, o que aumentaria a participação dos veículos híbridos nas vendas brasileiras entre 2,5 e cinco vezes.

Ainda que a disponibilidade de veículos híbridos e elétricos seja bastante restrita no Brasil, percebe-se uma crescente entrada desses veículos. Nenhum dos modelos citados é produzido no país, mas eles têm aparecido em mercados de nicho. Os elétricos têm clientes corporativos, enquanto os modelos híbridos lançados se destinam a um público de alta renda. Os custos associados à importação desses modelos certamente influenciam a estratégia de lançamento dos modelos híbridos pelas montadoras no Brasil, mas não parecem ser o único problema para uma difusão desses veículos no país.

A participação do Ford Fusion Híbrido sobre as vendas totais do modelo no Brasil, que também está disponível em versão convencional a gasolina, chegou a 1,8% no acumulado até dezembro de 2011. Nos Estados Unidos, essa participação, no mesmo período, foi de 4,5%. Naquela época, o modelo híbrido no Brasil tinha preço 60%²¹ superior ao modelo

²¹ Preços divulgados de R\$ 83.660 para a versão convencional e de R\$ 133.900 para a híbrida.

básico do Ford Fusion, ao passo que, nos Estados Unidos, essa diferença era de 40%²² (sem considerar os incentivos). A diferença não pode ser atribuída aos impostos, visto que ambos são fabricados no México, portanto sujeitos aos acordos de livre-comércio e sujeitos à mesma alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) vigente à época, de 25%.²³ A diferença parece estar mais relacionada a um posicionamento de preço pela montadora. Como o Ford Fusion é um veículo de nicho no Brasil, diferentemente dos Estados Unidos, onde ele se encontrava entre os dez modelos mais vendidos, sua versão híbrida passa a ser um opcional em um mercado de luxo. É importante destacar que, nos Estados Unidos, desde abril de 2010, o modelo não dispõe mais do incentivo federal de US\$ 3.400 de redução no imposto de renda.

Com uma redução de preço, é possível que as vendas do Ford Fusion Híbrido se elevem, embora isso não seja esperado, visto que a economia de combustível normalmente não é um atributo importante na escolha de veículos no segmento de alta renda.

Para os veículos pesados, entretanto, o cenário brasileiro é diferente. Há produção comercial de dois modelos de ônibus híbridos e expectativa de lançamento de outros. A frota de ônibus híbridos em setembro de 2012 era de 55 veículos.²⁴ O Brasil também produziu o primeiro protótipo de ônibus híbrido a etanol. Embora não contem com baterias, os trólebus, que são ônibus elétricos, são razoavelmente difundidos, com frota estimada em 282 veículos.²⁵ Há também experiências com ônibus a pilha-combustível.

Para os próximos anos, é esperado um aumento no lançamento de modelos híbridos de veículos leves no Brasil, impulsionando as vendas, sobretudo pelo efeito demonstração dos usuários iniciais (*early adopters*).²⁶ Pelo

²² Preços divulgados de US\$ 20.995 para a versão convencional e de US\$ 29.495 para a híbrida.

²³ O Ford Fusion estava disponível apenas em versões com motores 2.5 l e 3.0 l a gasolina, portanto não sujeitos às reduções de impostos para os motores *flex-fuel* ou de menor potência.

²⁴ Dos quais 45 produzidos pela Eletra e dez pela Volvo. A Volvo anunciou a entrega de mais vinte ônibus híbridos em 2012 e trinta em 2013 em Curitiba. O município de São Paulo planeja a aquisição de cem veículos, o que elevaria a frota brasileira para, pelo menos, 205 veículos em 2013.

²⁵ Atualmente, há três corredores em operação no Brasil: Santos (seis veículos), São Paulo/capital (190 veículos) e São Paulo/corredor ABD (86 veículos).

²⁶ Terminologia criada por Everett Rogers (1962) para uma das categorias iniciais do ciclo de difusão de determinada inovação.

lado dos veículos pesados, questões relacionadas ao custo de manutenção dos veículos elétricos (teoricamente inferior ao dos veículos a combustão), à vida útil superior e à inclusão da agenda ambiental pelos poderes públicos municipais e estaduais podem servir de estímulo à difusão dos veículos híbridos e elétricos, como já vem ocorrendo em algumas capitais.²⁷ Alguns municípios estudam a utilização, ainda que parcial, de ônibus híbridos para os corredores de transporte que estão sendo construídos para os grandes eventos esportivos (Copa do Mundo e Olimpíada).

Pesquisa e desenvolvimento em veículos elétricos no Brasil

O Brasil já vivenciou algumas experiências de desenvolvimento de veículos elétricos. Em 1974, a Gurgel chegou a lançar um carro elétrico, o Itaipu, que utilizava dez baterias de chumbo-ácido de 12 V ligadas em série, que pesavam 320 kg (41% do peso do veículo). Seu problema principal era a autonomia, entre 60 km e 80 km [Pereira (2007)], que continua sendo uma questão importante não resolvida. Em 1978, parceria entre a Universidade Estadual Paulista (Unesp) e a Ajax Baterias também desenvolveu um protótipo de veículo elétrico. Várias outras iniciativas pontuais também surgiram nessa época.

Atualmente, a atividade de P&D realizada sobre o tema ainda está concentrada nas Instituições Científicas e Tecnológicas (ICT), mesmo com várias concessionárias de energia dispondo de programas de avaliação dos veículos elétricos. Os desenvolvimentos em montadoras no Brasil são bastante pontuais e, via de regra, estão concentrados nas matrizes. A geração de novas patentes relacionadas a veículos elétricos e híbridos está concentrada no Japão e nos Estados Unidos, em algumas empresas japonesas, como Toyota, Nissan, Honda e Hitachi.

Há desenvolvimentos realizados localmente em empresas da cadeia, sobretudo em motores elétricos e baterias, itens centrais no novo paradigma, assim como em engenharia de novos modelos.

É possível listar algumas iniciativas locais no segmento. As de maior destaque estão expostas no Quadro 7.

²⁷ Notadamente São Paulo e Curitiba, embora haja outras cidades avaliando as alternativas tecnológicas disponíveis.

Quadro 7 | Iniciativas em veículos elétricos e híbridos no Brasil

Campo	Breve descrição	Empresas e ICT envolvidas
Sistema de tração	Desenvolvimento de sistema de tração elétrica para veículos pesados	Weg
	Produção de sistemas de tração híbrido-elétricos para ônibus	Eletra
Bateria	Desenvolvimento de bateria de íon-lítio	Electrocell/Ipen
	Desenvolvimento de baterias do tipo Zebra	Itaipu
	Desenvolvimento e produção de baterias tracionárias de chumbo-ácido	Moura
Veículos	Desenvolvimento de veículo elétrico para pequenas distâncias	Edra, CPFL
	Desenvolvimento de veículos leves e caminhões leves elétricos	Fiat, Iveco, Itaipu
	Protótipos de ônibus a pilha-combustível	Coppe/UFRJ
	Testes de operação de ônibus a pilha-combustível	EMTU/SP (coordenação)
	Desenvolvimento de trólebus com autonomia a bateria	Eletra
	Produção de ônibus híbridos	Eletra, Volvo
	Protótipo de ônibus híbrido a etanol	Itaipu (coordenação)

Fonte: Elaboração própria, com base em informações divulgadas na imprensa.

Obs.: Lista não exaustiva.

Políticas públicas para os veículos elétricos e híbridos no Brasil

Veículos a etanol, especialmente os *flex-fuel*, já são bastante difundidos, respondendo por cerca de 85% das vendas no Brasil. Entretanto, os veículos elétricos e híbridos não contam com a mesma difusão. Vários são os motivos, dentre os quais se destaca um desincentivo tributário, na medida em que os veículos disponíveis são importados (algumas vezes de países com os quais o Brasil não dispõe de acordo automotivo, sendo tributados com uma alíquota de 35% a título de imposto de importação) e não dispõem de categoria específica na Tabela do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), sendo tributados muitas vezes pela alíquota máxima, de 55%.²⁸

No entanto, a melhoria das condições de comercialização para esses veículos tem a simpatia de alguns entes públicos. Há estudos voltados a esse

²⁸ Por estarem na categoria “Outros” na tabela vigente do IPI, 25%; acrescidos de 30% previstos no Inovar-Auto para veículos importados de países sem acordo automotivo com o Brasil. O Inovar-Auto é uma política de longo prazo destinada a atrair investimentos para o setor automotivo no Brasil.

tipo de motorização e às possibilidades de inserção do Brasil na nova realidade, além do incentivo ao aumento do conteúdo nacional para os componentes eletrônicos dos veículos. No âmbito do BNDES, diversas iniciativas vêm reduzindo o custo de financiamento para aquisição de ônibus híbridos e elétricos, bem como para a implantação de empreendimentos industriais, em especial o Programa BNDES de Sustentação do Investimento (BNDES PSI) e o Fundo Nacional sobre Mudança do Clima (Fundo Clima).

Em nível municipal, há iniciativas, como o Programa Ecofrota, de São Paulo, que incluem incentivos à difusão de veículos híbridos e elétricos nas concessões de ônibus e táxis no município. Da mesma forma, vários estados garantem isenção ou redução do Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA) para proprietários de veículos elétricos. A Tabela 14 exibe uma compilação dos incentivos realizada pela Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE).

Tabela 14 | Incentivos selecionados a veículos elétricos no Brasil por UF

UF	IPVA	Outros incentivos
Ceará	Isento	-
Maranhão	Isento	-
Pernambuco	Isento	-
Piauí	Isento	-
Rio Grande do Norte	Isento	-
Rio Grande do Sul	Isento	-
Sergipe	Isento	-
Mato Grosso do Sul	Redução de até 70%	-
Rio de Janeiro	Alíquota de 1% (redução de 75% em relação aos automóveis a gasolina)	-
São Paulo	Alíquota de 3% (redução de 25% em relação aos automóveis a gasolina)	Veículos elétricos não participam do rodízio de placas

Fonte: ABVE (2013).

Espera-se, contudo, que o maior incentivo à eletrificação seja a implementação de regulamentações cada vez mais rígidas para emissões, nos níveis nacional, estadual e municipal.

Posicionamento do Brasil no mercado de baterias de íon-lítio

No que se refere às baterias de íon-lítio, que constituem a possível tecnologia dominante para os veículos elétricos, o Brasil dispõe de pesquisas

acadêmicas sobre o tema e de uma *start-up*, incubada no Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia (Cietec), localizado na Universidade de São Paulo (USP) – a Electrocell, que produz baterias de íon-lítio em pequena escala. Mesmo nos eletrônicos de consumo (especialmente celulares), as baterias são importadas, embora haja infraestrutura para testes em instituições como o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD), em Campinas (SP).

A fabricação local de baterias para automóveis necessitaria de uma expectativa de ampla difusão de veículos elétricos na América Latina, o que não é cogitado no momento. Espera-se um crescimento do mercado, mas em ritmo aquém dos demais países, em função, sobretudo, da ausência de estímulos tributários.

Estima-se que a escala econômica para a produção de baterias no Brasil seja semelhante à de produção de automóveis, calculada em cerca de 50-80 mil unidades por ano.²⁹ Como critério de comparação, a fábrica da AESC, em Zama (Japão), para fornecimento de baterias para a Nissan, tem capacidade de 65 mil unidades por ano, enquanto a da Panasonic, em Miyagi (Japão), para fornecimento para a Toyota, tem capacidade de 200 mil por ano. Assim, se houver iniciativas para a produção local de veículos elétricos, principalmente se esta for de alto volume, é possível a produção local de baterias, por meio de células importadas, bem como a integração da bateria aos veículos, em sistemistas.

A fabricação de células, os elementos centrais das baterias, parece mais distante, levando em consideração que seu principal quesito de competitividade é o custo de produção, o que transforma a questão da escala em algo determinante. A escala econômica é de difícil estimativa, porém, tomando como base os projetos em andamento, avalia-se que gire em torno de 360 MWh por ano, o que equiparia cerca de 15 mil veículos elétricos puros ou 80 mil híbridos *plug-in*. Outro obstáculo para a fabricação local de células é que, segundo estimativa da consultoria Roland Berger, a capacidade de produção de células anunciada no mundo é de cerca de três vezes a demanda estimada (Tabela 15).

²⁹ Tomando por base a bateria do modelo Nissan Leaf (24 kWh) e o custo médio atual (US\$ 500/kWh) e comparando com o faturamento médio apontado pela consultoria Roland Berger, chegou-se a 83 mil unidades por ano.

Tabela 15 | Panorama da capacidade produtiva em células para baterias de íon-lítio

	Fabricante	País	Capacidade planejada para 2014 (MWh)
1	Nissan-AESC	Japão	9.400
2	BYD	China	4.000
3	A123	EUA	2.000
4	Lishen	China	1.400
5	Johnson-Controls	EUA	1.200
6	LG Chem	Coreia do Sul	900
7	Li Energy	Japão	800
8	SB LiMotive	Coreia do Sul	800
9	Dow Kokam	EUA	600
10	Sanyo	Japão	500
11	Litech	China	500
12	EnerDel	EUA	450
	Total		22.550

Fonte: Anderman (2012a).

Para os componentes das células, a capacidade produtiva está alinhada à demanda. Há presença de grande número de empresas químicas. No entanto, uma avaliação das possibilidades para o Brasil dependeria de uma análise mais detalhada sobre a produção de cada componente.

A mineração de lítio pode se constituir em um importante braço para uma mineradora nacional entrar no mercado de produção de componentes das células. Porém, a forma mais adequada de entrada de uma mineradora brasileira na mineração de lítio parece ser via aquisição de uma empresa no exterior, já posicionada e com jazidas de baixo custo de extração.

Perspectivas e oportunidades para atuação do BNDES

O BNDES vem trabalhando na construção de uma gama de instrumentos voltados a posicionar a economia brasileira no novo paradigma de eletrificação veicular. A difusão é financiada por meio de linhas destinadas à comercialização de ônibus elétricos, híbridos ou outros modelos com tração elétrica, no âmbito do Programa BNDES PSI. A pesquisa e o desenvolvimento de novos modelos de veículos podem ser apoiados pela Linha BNDES de Apoio à Inovação, bem como pelo Programa BNDES de Apoio à Engenharia (BNDES Proengenharia), conforme as características do projeto. A implantação de capacidade produtiva também é apoiada pelo Banco.

O BNDES Fundo Tecnológico (BNDES Funtec), instrumento destinado ao financiamento não reembolsável de projetos de pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação executados por instituição tecnológica, dispunha, desde 2010, de foco voltado à redução da poluição ambiental em transportes coletivos, e, a partir de 2011, passou a ter um foco específico para veículos elétricos. Em 2011, o foco era “Veículos elétricos: desenvolvimento de dispositivos destinados ao armazenamento de energia para uso em propulsão veicular”. Em 2012, o foco foi ampliado para “Veículos Elétricos: desenvolvimento de dispositivos e tecnologias destinados ao armazenamento, recarga e gerenciamento de energia para uso em propulsão veicular, à geração de energia elétrica em veículos automotores e à motorização elétrica”, passando a apoiar o desenvolvimento de outros dispositivos além da bateria.

Vislumbra-se uma oportunidade para a entrada de fabricantes não tradicionais como fornecedores para montadoras, especialmente de motores elétricos. Dessa forma, o fomento a parcerias se torna um importante instrumento de aproximação desses novos *players* na cadeia automotiva. Além disso, uma difusão de veículos elétricos e híbridos no Brasil pode promover o estabelecimento de atividades de pesquisa nessas rotas nas subsidiárias brasileiras, fortalecendo a capacidade da engenharia do país.

Especificamente no tocante a baterias para veículos elétricos e híbridos, como visto, a indústria brasileira não dispõe de tecnologia adequada para equipá-los. Assim, o BNDES busca apoiar projetos que envolvam o *catch-up* tecnológico das empresas nacionais.

Considerações finais

O segmento de veículos elétricos e híbridos vem aumentando sua participação em todo o mundo, com cada vez mais modelos disponíveis e projeções de crescimento.

O mercado brasileiro, todavia, tem pouca representatividade no segmento, com automóveis restritos a versões de modelos voltados a um público de alto poder aquisitivo, ainda que, em relação aos ônibus, a situação seja positiva. Esse posicionamento em veículos leves aparentemente não decorre apenas da carga tributária incidente sobre esse tipo de veículo, mas de características do próprio mercado brasileiro.

Os incentivos governamentais parecem ainda desempenhar um papel relevante na difusão dos veículos elétricos e híbridos, embora cada vez menos importante no caso dos híbridos. Nos Estados Unidos, por exemplo, vários modelos híbridos já são vendidos sem incentivo federal.

O cenário atual envolve uma antecipação de lançamentos pelas montadoras, principalmente como reação à ação de seus concorrentes. Não houve anúncios de desistências em relação a projetos de veículos híbridos e elétricos. As projeções das montadoras e das consultorias especializadas no setor continuam apontando para uma tendência de crescimento em todos os mercados.

Provavelmente em função da escala ainda pequena, mas crescente, a produção de veículos híbridos e elétricos é concentrada em alguns poucos países. É possível que um aumento das vendas e mudanças nas estratégias empresariais levem a uma desconcentração da produção. Na produção de baterias, há também concentração, assim como na fabricação de células e de seus componentes.

O Brasil é o país em que, em tese, os benefícios ambientais da adoção dos veículos elétricos são mais importantes, pois haveria uma redução substancial na poluição nas cidades sem deslocá-la para as usinas de geração de energia, visto que a matriz energética brasileira é concentrada em fontes renováveis. Em vários outros países, um veículo puramente elétrico poderia ter impacto ambiental menos relevante, dependendo da forma pela qual a energia utilizada no veículo seria gerada.

A pouca disponibilidade de modelos contribui para uma baixa penetração desses veículos no Brasil. Além disso, os veículos disponíveis estão posicionados em segmentos de baixo volume e alto conteúdo. Uma gradativa eletrificação da frota traria uma redução das emissões, principalmente em função do menor consumo de combustível. A fim de se valorizar o significativo esforço realizado na difusão de veículos *flex-fuel* no Brasil, o ideal seria que houvesse incentivos governamentais direcionados não a tecnologias específicas, mas a padrões de eficiência e metas de redução das emissões pelos automóveis.

É importante ressaltar que, ainda que, pelo lado do consumidor, a posse de um veículo elétrico possa lhe conferir uma imagem de preocupação ambiental e a economia de combustível possa ser relevante em alguns casos, há

motivações que transcendem isso. O estímulo a veículos elétricos no Brasil deve fazer parte de uma ação desenvolvimentista que permita ao Brasil ter competência e relevância no desenvolvimento de veículos, que tem uma lógica global. Assim, um alinhamento ao que é realizado em P&D na fronteira tecnológica permitiria ao Brasil a chance de protagonizar a geração de conhecimento, com desdobramentos para outras indústrias.

A indústria brasileira de baterias automotivas tem capital majoritariamente nacional. A maior parte das empresas, no entanto, fornece para o mercado de reposição. Ainda que haja uma aceleração da difusão de veículos elétricos e híbridos, seu percentual na frota circulante deve aumentar de forma lenta, o que não configura uma ameaça, no curto prazo, às empresas estabelecidas. Além disso, os veículos elétricos e híbridos disponíveis hoje consomem também baterias do tipo PbA. Empresas que fornecem para o mercado de OEM tendem a sofrer um impacto mais rápido, sobretudo se os novos modelos de veículos elétricos e híbridos passarem a prescindir da bateria de chumbo-ácido. Assim, é fundamental promover a capacitação dessas empresas na provável tecnologia dominante, ou seja, em baterias de íon-lítio.

No curto prazo, uma difusão de micro-híbridos deve requerer a atualização tecnológica das empresas nacionais, já que é necessário, para a operação de sistemas *start-stop* e de frenagem regenerativa, que as baterias de chumbo-ácido disponham de tecnologias mais avançadas. A difusão desses veículos, alta na Europa, tende a chegar ao Brasil, principalmente em decorrência da utilização de metas de emissões mais rígidas. Dessa forma, uma atualização tecnológica das empresas menores é também fundamental para a manutenção de sua competitividade no curto prazo.

O fato de a indústria brasileira de baterias automotivas ser ainda pulverizada pode representar uma oportunidade de consolidação e formação de um novo *player* nacional ou mesmo de parcerias, aproveitando-se, sobretudo, da concentração regional dessa indústria, o que pode resultar em uma redução de seus custos logísticos. Além disso, *players* mais capitalizados podem iniciar movimentos de internacionalização, considerando, até mesmo, o investimento direto em países vizinhos, o que já é uma realidade para as empresas líderes.

No longo prazo, à medida que os sistemas auxiliares que equipam os veículos convencionais forem sendo substituídos por modelos desenvolvidos especificamente para veículos elétricos, empresas que utilizam exclusiva-

mente a tecnologia PbA tendem, aos poucos, a perder mercado. Por isso, o investimento no desenvolvimento tecnológico é fundamental. Um sinal de que o caminho não deve ser simples para os produtores da tecnologia tradicional é que há companhias lançando no mercado baterias que unem a tecnologia PbA à de íon-lítio. Há também, mundialmente, alguns casos de empresas fabricantes de baterias PbA que passaram a produzir e pesquisar baterias de íon-lítio.

A fabricação local de baterias de íon-lítio não é algo de implantação imediata, levando-se em conta a realidade global dessa indústria. Embora o consumo de baterias de íon-lítio no Brasil seja relevante, ele se concentra em eletrônicos de consumo, que, em geral, utilizam tecnologia inviável para a tração de veículos. A entrada no mercado requer capacitação, a fim de que possam surgir parcerias com montadoras instaladas no Brasil, visto que a entrada por um eventual mercado de reposição deve ser mais complicada. As baterias de íon-lítio automotivas têm arquitetura específica por modelo, e sua vida-útil atualmente é maior que as de chumbo-ácido (cinco a dez anos contra 2,5 a três anos). No entanto, como as montadoras tendem a estabelecer alternativas de fornecimento para a maior parte das autopeças, um licenciamento para reposição não é algo totalmente improvável.

Por fim, cabe salientar que a difusão de veículos elétricos e híbridos no mundo deve aquecer a indústria de componentes para as baterias, configurando-se em uma oportunidade para empresas brasileiras de diversos segmentos, entre mineradoras, siderúrgicas e químicas. Como exemplo, vários cenários indicam que, com a difusão de veículos elétricos e híbridos, deve haver um descasamento entre oferta e demanda de lítio. Nesse caso, convém a realização de diagnósticos centrados em cada um dos componentes, de forma a avaliar as oportunidades para o Brasil.

Referências

ABVE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO VEÍCULO ELÉTRICO. *Incentivos para veículos elétricos no Brasil*. Disponível em: <<http://www.abve.org.br/incentivos.asp>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

ANDERMAN, M. Automotive battery business. In: ELECTROMOBILITY 2012. FKG, 8 mar. 2012a. Disponível em: <<http://www.fkg.se/assets/Uploads/Andermanbatterybusiness.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013

- _____. Battery technologies. In: ELECTROMOBILITY 2012. FKG, 8 mar. 2012b. Disponível em: <<http://www.fkg.se/assets/Uploads/Andermanbatterytechnology.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- BATISTA, B. Introdução da história da bateria automotiva do Brasil. *Revista Chumbo Brasil*, n. 4, Ed. Especial, dez. 2012.
- BRASIL. MCT – Ministério de Ciência e Tecnologia. *Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima*. 2010.
- CASTRO, B. H. R.; FERREIRA, T. T. Veículos elétricos: aspectos básicos, perspectivas e oportunidades. *BNDES Setorial*, n. 32, p. 267-310. Rio de Janeiro, BNDES, set. 2010.
- DAL POGGETTO, P. Brasil tem 72 automóveis elétricos emplacados em quatro anos. *Auto Esporte*, 27 jul. 2011. Disponível em: <<http://g1.globo.com/carros/noticia/2011/07/brasil-tem-71-automoveis-eletricos-emplacados-em-quatro-anos.html>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- DINGER, A. *et al.* Batteries for electric cars: challenges, opportunities, and the outlook to 2020. *BCG Focus*, 2010.
- EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Balanço Energético Nacional: 2011*. 2012.
- ELEMENT ENERGY. *Cost and performance of EV batteries: final report for The Committee on Climate Change*. Cambridge, 21 mar. 2012.
- FERREIRA, T.; PEDROSA, S. Baterias chumbo-ácido para veículos elétricos e híbridos: programa de pesquisa da Alabc. In: WORKSHOP BATERIAS PARA VEÍCULO ELÉTRICO. CPqD: Campinas, 29 set. 2010.
- FLORÊNCIO, L. Brasil vai contra a onda dos carros verdes. *Carsale: canal de análise de mercado*, 13 abr. 2012. Disponível em: <<http://carsale.uol.com.br/editorial/mercado/9217-brasil-vai-contra-a-onda-dos-carros-verdes>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- GARCIA, I. J. Lítio. *Sumário Mineral*. DNPM, 2012. Disponível em: <https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7395>. Acesso em: 15 jan. 2013.

GARTNER, J.; DEHAMNA, A. Challenges & complexities of the lithium battery sector: grid storage and electric vehicle markets. *Pike Research Webinar*, 21 fev. 2012. Disponível em: <<http://www.pikeresearch.com/webinarvideos/challenges-and-complexities-of-the-lithium-battery-sector-webinar-replay>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

GUSMÃO, J. Automóveis micro-híbridos: evolução ou revolução no nosso mercado? In: XIV ENBAT – ENCONTRO NACIONAL DE PRODUTORES DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO. Curitiba, 2 dez. 2011.

HAWAMOTO, H. Trends of R&D on materials for high-power and large-capacity lithium-ion batteries for vehicles applications. *Science & Technology Trends*, Quaterly Review, n. 36, jul. 2010, p. 34-54. Disponível em: <<http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/stfc/stt036e/qr36pdf/STTqr3603.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

HURST, D. *et al.* Smart transportation: where are the opportunities. *Pike Research Webinar*, 3 abr. 2012. Disponível em: <<http://www.pikeresearch.com/webinarvideos/webinar-replay-smart-transportation>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

HYKAWY, J.; LEE, J. Batteries: why we need them, and what we need to make them. In: 2011 ELECTRIC METALS CONFERENCE. Toronto, 12 abr. 2011. Disponível em: <<http://www.byroncapitalmarkets.com/wp-content/uploads/2011/02/5-Jon-Hykawy-Jonathan-Lee-key-notes-04-11-2011.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

ITAIPU BINACIONAL. *Entrevista com o diretor Jorge Samek*. Sala de imprensa, 5 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/itaipunamidia/entrevista-com-o-diretor-jorge-samek>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

JASKULA, B. W. Lithium. *U.S. Geological Survey*, Mineral Commodity Summaries, jan. 2012. Disponível em: <<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/lithium/mcs-2012-lithi.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

KETTERER, B. *et al.* *Lithium-Ionen Batterien: Stand der technik und anwendungspotenzial in hybrid-, plug-In hybrid- und elektrofahrzeugen*. Forschungszentrum Karlsruhe, out. 2009.

LITHIUM ENERGY JAPAN. Lithium Energy Japan steadily increasing lithium-ion battery production. *News Release*, 6 jun. 2011a. Disponível em: <<http://lithiumenergy.jp/en/newsrelease/pdf/20110706e.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

_____. Lithium Energy Japan to commence work on Ritto plant. *News Release*, 13 dez. 2011b. Disponível em: <<http://lithiumenergy.jp/en/newsrelease/pdf/20111213e.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

LOWE, M. *et al.* *Lithium-ion batteries for electric vehicles: the U.S. value chain*. CGGC, 5 out. 2010.

MARKETSANDMARKETS. MarketsandMarkets global low (zero) emission vehicle market worth \$ 103.13 billion by 2017. *PRNewswire*, 25 mai. 2012. Disponível em: <<http://www.prnewswire.com/news-releases/marketsandmarkets-global-low-zero-emission-vehicle-market-worth-10313-billion-by-2017-154001525.html>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

MICHAELI, I. *et al.* U.S. autos and auto parts: electric vehicles: perspectives on a growing investment theme. *Citi Equities*, 23 fev. 2011.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; IEMA – INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. *1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários: Relatório Final*. Jan. 2011.

MOCK, P. (ed.). *European vehicle market statistics: pocketbook 2012*. ICCT – International Council on Clean Transportation, 2012. Disponível em: <http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Pocketbook_2012_opt.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

NISSAN. 100% Electric Zero-emission Nissan LEAF debuts in Japan: start of sales on December 20th. *Nissan News Release*, 3 dez. 2010. Disponível em: <http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2010/_STORY/101203-01-e.html>. Acesso em: 15 jan. 2013.

PEREIRA, F. Gurgel Itaipu. *Revista Quatro Rodas*, abr. 2007. Disponível em: <http://quatorrodas.abril.com.br/classicos/brasileiros/conteudo_229224.shtml>. Acesso em: 15 jan. 2013.

ROGERS, E. M. *Diffusion of innovations*. Glencoe: Free Press, 1962.

ROLAND BERGER. *Powertrain 2020: the li-ion battery value chain – trend and implications*. Roland Berger, ago. 2011.

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

SCROSATI, B.; GARCHE, J. Lithium batteries: Status, prospects and future. Elsevier B. V., *Journal of Power Sources*, v. 195, n. 9, p. 2.419-2.430, 2010. In: ROSOLEM, M. F. N. C. *et al.* Bateria de íon-lítio: conceitos básicos e potencialidades. *Cad. CPqD Tecnologia*, Campinas, v. 8, n. 2, p. 59-72, jul.-dez. 2012.

SECEX/MDIC – SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR/MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. *Balança comercial brasileira: dados consolidados*. Brasília, 2012.

SQM. *Annual Report: 2011*. SQM, 2012. Disponível em: <http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/en/AnnualReport/SQM-Annual_Report_2011_EN.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

STARK, M. *et al.* *Betting on science: disruptive technologies in transport fuels: full study*. Accenture, 2010. Disponível em: <<http://www.accenture.com/SiteCollectionDocuments/PDF/Accenture-Betting-Science-Disruptive-Technology-Transport-Fuels.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

TALISON LITHIUM. Talison Lithium. In: WEDBUSH CLEAN TECHNOLOGY & INDUSTRIAL GROWTH CONFERENCE, 15 set. 2011. Disponível em: <<http://www.talisonlithium.com/docs/investors-centre-documents/talison-lithium-wedbush-conference.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

_____. *Scheme booklet for the schemes of arrangement between Talison Lithium Limited and the holders of Talison Securities in relation to the acquisition by Windfield Holdings Pty Ltd, a subsidiary of Chengdu Tianqi Industry (Group) Co., Ltd., of 100% of the shares and options in Talison Lithium Limited that it does not already own*. Talison, 7 jan. 2013. Disponível em: <http://www.talisonlithium.com/docs/investors-centre-documents/130107_tianqi-scheme-booklet.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

TOYOTA. *Toyota Prius: plug-in hybrid 2010 model revised (includes 2012 model): emergency response guide*. Toyota Motor Corporation, 22 fev. 2012a. Disponível em: <<https://techinfo.toyota.com/techInfoPortal/staticcontent/en/techinfo/html/prelogin/docs/priusphv.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

_____. Worldwide Sales of TMC hybrids top 4 million units. *Toyota News*, 22 mai. 2012b. Disponível em: <<http://www2.toyota.co.jp/en/news/12/05/0522.html>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

TUNG, C. M. *Lithium battery industry*. MOEA – Ministry of Economic Affairs, Taiwan, 31 dez. 2010. Disponível em: <<http://investtaiwan.nat.gov.tw/doc/20110119/2-3-3e.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

VANDEPUTTE, K. *Key developments in rechargeable battery materials*. In: CAPITAL MARKETS EVENTS. Seul, 24 mai. 2012. Disponível em: <http://www.unicore.com/investorrelations/en/newsPublications/presentations/2012/2012CMD_RBM_EN.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

VOELCKER, J. Chevy Volt and Opel Ampera: Europe and China sales too. *Green Car Reports*, 24 jan. 2013. Disponível em: <http://www.greencarreports.com/news/1081897_chevy-volt-and-opel-ampera-europe-and-china-sales-too>. Acesso em: 25 jan. 2013.

WORLD BANK; PRTM. *The China new energy vehicles program: challenges and opportunities*. World Bank, abr. 2011. Disponível em: <http://siteresources.worldbank.org/EXTNEWSCHINESE/Resources/3196537-1202098669693/EV_Report_en.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

YOSHIOKA, K. Growth in new cars sales in China running near empty. *The Asahi Shimbun*, 13 jan. 2012. Disponível em: <<http://ajw.asahi.com/article/asia/china/AJ201201130056>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

Sites consultados

AJAX BATERIAS – <www.ajax.com.br>.

ALICEWEB – ANÁLISE DE INFORMAÇÕES DE COMÉRCIO EXTERIOR – <aliceweb2.mdic.gov.br>.

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – <www.anfavea.com.br>.

BAJ – BATTERY ASSOCIATION OF JAPAN – <www.baj.or.jp/e/>.

BEST SELLING CARS BLOG – <bestsellingcarsblog.com>.

CAAM – CHINA ASSOCIATION OF AUTOMOBILE MANUFACTURES – <www.caam.org.cn/english>.

ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY – <www.fueleconomy.gov>.

FENABRAVE – FEDERAÇÃO NACIONAL DA DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – <www.fenabrave.org.br>.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – <www.ibge.gov.br>.

HYBRIDCARS – <www.hybridcars.com>.

TOYOTA – <www.toyota-global.com>.