



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo

AUTOMOTIVO



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

PROJETO INDÚSTRIA 2027

Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas

ESTUDO DE SISTEMA PRODUTIVO
AUTOMOTIVO

FOCO SETORIAL
Veículos leves

Indústria
2027
mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Brasília
2018

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade

Presidente

Diretoria de Educação e Tecnologia – DIRET

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti

Diretor de Educação e Tecnologia

Instituto Euvaldo Lodi – IEL

Robson Braga de Andrade

Presidente do Conselho Superior

IEL – Núcleo Central

Paulo Afonso Ferreira

Diretor-Geral

Gianna Cardoso Sagazio

Superintendente



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo

AUTOMOTIVO

©2018. IEL – Instituto Euvaldo Lodi

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

IEL/NC

Superintendência IEL

FICHA CATALOGRÁFICA

I59e

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central.

Estudo de sistema produtivo automotivo / Instituto Euvaldo Lodi, Mario Sérgio Salerno, Cristiane Matsumoto, Guilherme Amaral. -- Brasília: IEL/NC, 2018.

97 p. il. (Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas)

1. Cluster Tecnológico 2. Sistemas Produtivos 3. Automotivo 4. Veículos Leves
I. Título

CDU: 338.45

IEL

Instituto Euvaldo Lodi
Núcleo Central

Sede

Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3317-9000
Fax: (61) 3317-9994
<http://www.portaldaindustria.com.br/iel/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC

Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992

sac@cni.org.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
INDÚSTRIA 2027	9
RESUMO EXECUTIVO	13
INTRODUÇÃO	17
1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA	21
1.1 Panorama internacional	21
1.2 Panorama no Brasil	27
2 OS CLUSTERS TECNOLÓGICOS RELEVANTES	33
2.1 Identificação das tecnologias relevantes	33
2.2 Experiência internacional	39
2.3 Experiência brasileira	54
2.4 Conclusão	65
3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL	69
3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais	69
3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas	71
3.3 Desafios e implicações para indústria brasileira	73
REFERÊNCIAS	77
ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP AUTOMOTIVO	81
A1 Caracterização do painel de respondentes	81
A2 Resultados	84
A3 Considerações finais	97



APRESENTAÇÃO

A convergência tecnológica presente em nossas vidas passa pela indústria, cada vez mais movida pela inovação. Esse espírito inovador, por sua vez, alimenta a competitividade e impulsiona novos modelos de negócios. O *Projeto Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas* avalia não só os impactos de inovações potencialmente disruptivas sobre a indústria nos próximos dez anos, como também a capacidade de o Brasil e suas empresas superarem riscos e aproveitarem oportunidades derivadas de novas técnicas. Além disso, fornece subsídios para as estratégias corporativas e a formulação de políticas de inovação.

O projeto é uma iniciativa da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), coordenada pelo Instituto Euvaldo Lodi (IEL), com execução técnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

O Indústria 2027 identificou oito *Clusters Tecnológicos* – como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Nanotecnologia e Materiais Avançados –, inovações cujos efeitos na economia e na sociedade são um caminho sem volta. Lançou, ainda, uma pesquisa inédita que mostrou o nível de adoção das tecnologias 4.0 nas empresas brasileiras. Agora é o momento de ressaltar o impacto das tecnologias delineadas pelo projeto nos dez sistemas produtivos analisados e o comportamento dos setores frente à adoção de técnicas avançadas.

De grande importância para a indústria e para a economia brasileiras, o setor automotivo está em transformação, com os desafios que veículos elétricos e autônomos, por exemplo, podem trazer nos próximos anos. A nota técnica do setor traz, também, os principais resultados de pesquisa de campo com empresas do segmento.

A competitividade da indústria é feita com inovação; cooperação entre o setor produtivo, o governo e os centros de conhecimento; e estratégia de longo prazo para o desenvolvimento do país.

A indústria brasileira pode desenvolver competências, aproveitar oportunidades de competir em melhores condições, gerar empregos, criar novos serviços e contribuir para a ascensão da qualidade de vida da população brasileira.

Boa leitura.

Robson Braga de Andrade
Presidente da Confederação Nacional da Indústria (CNI)



INDÚSTRIA 2027

O projeto **Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas** tem como objetivos avaliar os impactos de um conjunto de novas tecnologias com alto potencial transformador sobre a competitividade da indústria nacional no horizonte de cinco a dez anos. Além disso, busca fornecer subsídios para o planejamento corporativo de empresas e para a formulação de políticas públicas, visando estratégias de emparelhamento da indústria *vis-à-vis* às melhores práticas competitivas internacionais.

O projeto **Indústria 2027** tem como objetos de análise *Clusters Tecnológicos* Sistemas Produtivos e, nesses últimos, Focos Setoriais (Quadro A1). Os *Clusters Tecnológicos* compreendem um conjunto de tecnologias-chave agrupadas por proximidade tecnológica e de bases de conhecimento envolvidas.

Os Sistemas Produtivos correspondem a grupos de setores industriais selecionados pela sua participação na estrutura industrial brasileira. Os principais critérios para identificação dos Focos Setoriais foram o potencial de impactos disruptivos a serem aportados pelas novas tecnologias e a relevância do setor em termos de geração de produto, empregos, exportações e inovação.

Quadro A1 – Clusters Tecnológicos, Sistemas Produtivos e Focos Setoriais

		Sistemas Produtivos	Focos Setoriais
		Agroindústrias	Alimentos Processados
		Insumos Básicos	Siderurgia
		Química	Química verde
		Petróleo e Gás	E&P em Águas Profundas
		Bens de Capital	Máquinas e Implementos Agrícolas, Máquinas Ferramenta, Motores Elétricos e Outros Seriadados, Equipamentos de GTD
		Complexo Automotivo	Veículos Leves
		Aeroespacial, Defesa	Aeronáutica
		TICs	Sistemas e Equipamentos de Telecom Microeletrônica Software
		Farmacêutica	Biofármacos
		Bens de Consumo	Têxtil e Vestuário

O diagrama ilustra os Clusters Tecnológicos. No centro, um hexágono verde contém o texto 'PRODUTOS, PROCESSOS, GESTÃO E MODELOS DE NEGÓCIO'. Às voltas deste hexágono, há sete retângulos azuis que representam as tecnologias-chave: 'TICS: COMPUTAÇÃO EM NUVEM, BIG DATA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL' (topo), 'TICS: REDES' (direita), 'TICS: LOT, SISTEMAS E EQUIPAMENTOS' (esquerda superior), 'BIOPROCESSOS BIOTECNOLOGIAS AVANÇADAS' (esquerda inferior), 'NANOTECNOLOGIA' (inferior esquerda), 'MATERIAIS AVANÇADOS' (inferior), e 'PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA' (direita inferior) e 'ARMAZENAMENTO DE ENERGIA' (inferior direita).

Fonte: Elaboração própria.

O projeto **Indústria 2027** está construído ao longo de três etapas sequenciais: (i) na primeira etapa, especialistas nos distintos *Clusters* produziram análises sobre tendências e impactos potenciais de tecnologias emergentes sobre sistemas produtivos¹; (ii) estas reflexões serviram como insumo para a segunda etapa, quando especialistas setoriais avaliaram o processo de geração, absorção e difusão destas tecnologias em Sistemas e Focos Setoriais e seus impactos sobre a competitividade empresarial; (iii) as análises de *Clusters* e Sistemas Produtivos servirão para a reflexão sobre estratégias públicas e privadas.

As trajetórias dos *Clusters* Tecnológicos

A avaliação dos oito *Clusters* Tecnológicos identificou as tecnologias-chave que, introduzidas comercialmente em até dez anos, podem iniciar mudanças em Sistemas Produtivos, alterando modelos de negócios, padrões de concorrência e a atual configuração de posições de liderança das empresas. Nesse horizonte temporal essas tecnologias podem constituir ameaças e oportunidades para empresas estabelecidas ou novas, bem como implicar no surgimento de novos segmentos de mercado.

A avaliação dos *Clusters* indicou as seguintes trajetórias: (i) integração: qualquer solução tecnológica usa, intensivamente, outras tecnologias e bases de conhecimento distintas, em especial aquelas associadas às tecnologias de informação e comunicação (TIC); conectividade: o potencial das tecnologias aumenta pela geração, absorção e difusão por meio de redes digitais e; inteligência: crescente incorporação de conhecimentos científicos (“inteligência”) nas aplicações comerciais destas tecnologias; (ii) os impactos sobre empresas se diferenciam ao longo do tempo: algumas aplicações tecnológicas já produzem impactos disruptivos hoje e continuarão assim em dez anos; outras somente os produzirão no futuro próximo, enquanto outras impactam empresas e setores com intensidade moderada (otimizando processos, induzindo a geração de novos produtos, por exemplo) no presente, mas poderão causar impactos disruptivos no futuro.

Questões orientadoras das análises de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais

Os estudos de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais foram ancorados no conhecimento de especialistas, em estudos recentes feitos por centros de investigação e empresas de consultoria, em entrevistas qualitativas e, em alguns casos, quantitativas, junto a empresas e em uma pesquisa de campo junto a uma amostra representativa de Sistemas Produtivos (em torno de 750 empresas), onde se buscaram informações sobre o uso atual e esperado de tecnologias digitais e impactos sobre atributos competitivos, em diferentes funções organizacionais das empresas.

1. Fonte: Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/10/nota-tecnica-etapa-i-do-projeto-industria-2027/>.

A avaliação dos Sistemas Produtivos e Focos Setoriais está estruturada em três partes: (i) análise da estrutura econômica, competitiva, tecnológica e produtiva do sistema e foco setorial no mundo e no Brasil; (ii) identificação das tecnologias relevantes para a competitividade do sistema e foco, no processo de geração, absorção e difusão destas tecnologias e seus impactos sobre modelos de negócio, padrões de concorrência e estruturas de mercado; (iii) riscos, oportunidades e desafios para a indústria brasileira.

Em particular procurou-se responder: (i) Quais são as tecnologias relevantes para cada sistema produtivo? Como elas impactarão cada sistema produtivo? Quais os maiores riscos e oportunidades para o Brasil?; e (ii) Qual a capacidade de resposta atual e potencial do sistema empresarial? Quais são os requisitos técnicos, empresariais, institucionais e financeiros para aproveitar oportunidades e defletir os riscos que as inovações disruptivas podem representar?



RESUMO EXECUTIVO

É unânime, entre os analistas e dirigentes consultados, que as transformações no sistema automotivo induzidas pelos *Clusters* Tecnológicos abordados no Projeto I2027 serão lentas e graduais. Entretanto, a antecipação das oportunidades e das ameaças potenciais já movimentam as empresas e os governos, com efeitos disruptivos já visíveis hoje e com tendência a se acentuarem no horizonte de dez anos.

O complexo automotivo mundial vive, no momento, em grande ebulição. Está em construção um cenário que vem sendo criado por importantes atores – governos de países centrais e de determinadas regiões (como Califórnia, EUA), empresas, grupos de pesquisadores e ONGs – que tende a consolidar a motorização elétrica, em suas diversas variações.

As incertezas relacionadas à tecnologia (baterias, sobretudo) e ao mercado (demanda, suprimento energético, comportamento do consumidor etc.) vêm sendo mitigadas pela criação de uma visão comum de futuro, na qual se atribui à motorização elétrica inúmeras virtudes, comprovadas ou não.

Ainda que, por motivos eventualmente diferentes, importantes atores privados e públicos já tenham definido que o futuro será construído ao redor da motorização elétrica, disputa-se agora qual o *design* dominante do veículo desse futuro (elétrico puro, híbridos etc.). Os veículos leves são o foco dessa mudança.

O carro conectado, ou seja, o veículo com inúmeras conexões internéticas, seja para lazer (música, entretenimento, navegadores de Internet), seja para apoio à condução (GPS e outros), seja para venda de serviços (manutenção, compras de serviços diversos, para consumo imediato ou posterior), também está em desenvolvimento, com grandes possibilidades de criação de novos negócios.

Já o veículo autônomo está cercado de inúmeras incertezas, tecnológicas, regulatórias e de mercado, e sua difusão em maior escala parece ser bastante restrita no horizonte do presente projeto.

Além disso, novos modelos de negócio, como o compartilhamento de veículos, tendem a redefinir o uso dos carros.

Dado o peso do sistema automotivo na economia e na indústria brasileiras, esses impactos podem ser de grande magnitude, extrapolando mesmo as fronteiras da indústria automobilística. A mudança da motorização traz inúmeras consequências e desafios e, talvez, poucas oportunidades para o complexo automotivo brasileiro.

Até o momento, a indústria brasileira se mantém da mesma maneira que foi delineada após a reestruturação dos anos 1990 e início dos 2000. Naquele período, a indústria automobilística global introduziu novas formas de organizar a cadeia de valor, com modularidade e condomínios industriais.

As respostas à pesquisa de campo revelam que, embora o atual grau de difusão da manufatura avançada seja ainda incipiente, as empresas têm clara percepção do potencial de aumento da competitividade, com redução de custos de desenvolvimento, maior customização dos produtos para os clientes e melhor relacionamento com fornecedores. Apesar das ações efetivas serem, até o momento, relativamente escassas, a expectativa dominante entre os fabricantes é de rápida evolução na incorporação das novas tecnologias de Produção Inteligente e Conectada até 2027.

Ainda que o Brasil seja importante como mercado, local de produção e de engenharia e projeto de derivativos, o País está fora, até o momento, dos circuitos que estão definindo o futuro do complexo automobilístico por não haver montadoras locais ou P&D relativo ao desenvolvimento de tecnologias.

Uma eventual mudança de motorização no Brasil não teria a redução da emissão de gases de efeito estufa como indutor importante. Ao menos para veículos leves, não há pressão ambiental significativa, uma vez que o Brasil conta com o etanol como combustível competitivo, tanto em preço quanto em emissões de gases de efeito estufa. O mesmo não se pode dizer quanto a caminhões e ônibus, importantes no Brasil e movidos a diesel.

O veículo elétrico representa grande desafio, principalmente para as empresas de autopeças, cujo negócio principal está ligado ao motor de combustão interna. Ainda que a motorização *flex* possa vir a retardar a difusão mais generalizada de híbridos e elétricos no Brasil, é esperável que venha a surgir um mercado crescente desses últimos nas próximas décadas, o que pode implicar numa diminuição das vendas de veículos à combustão interna.

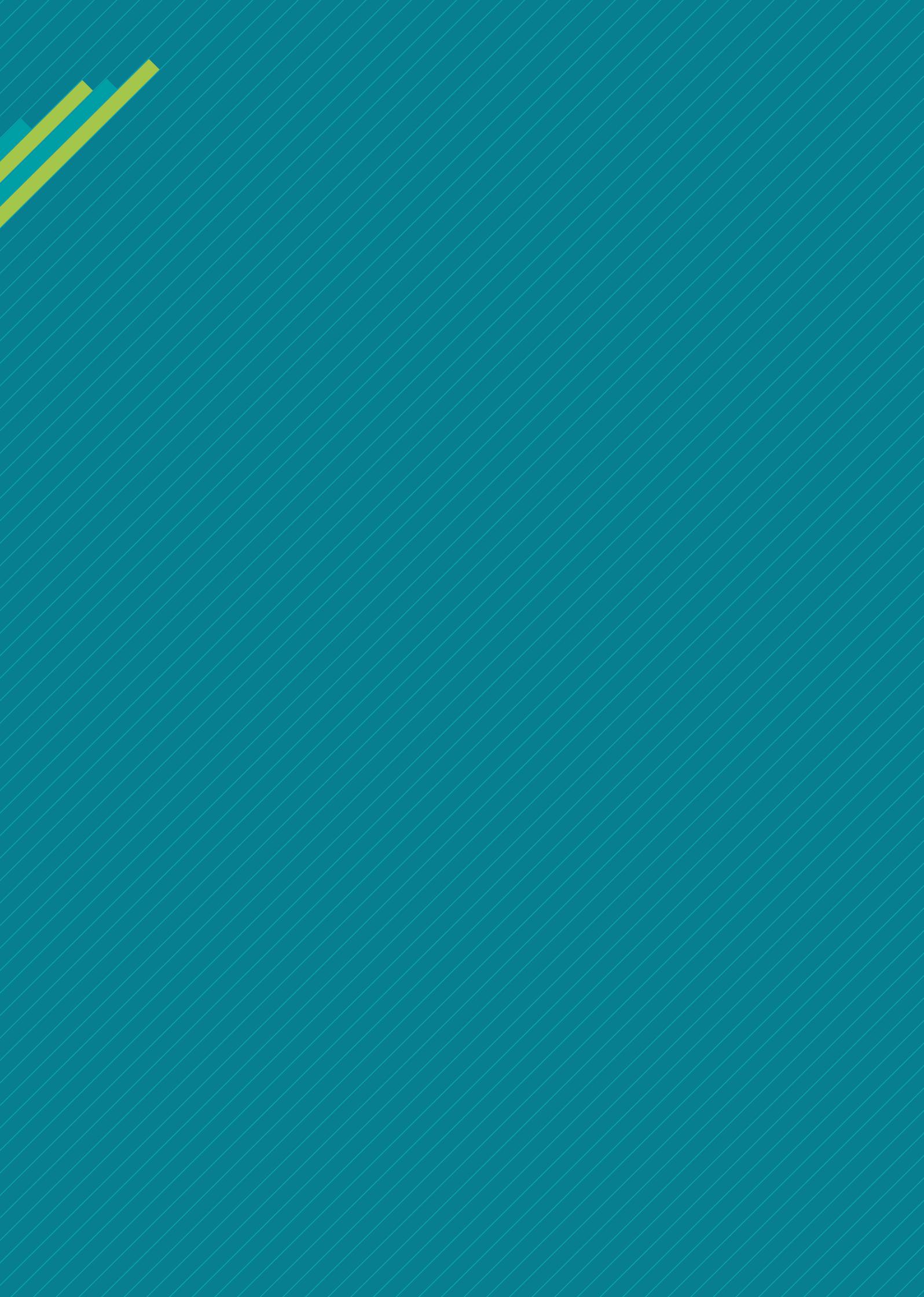
Assim, o Brasil se defronta com várias alternativas para a evolução do seu sistema de produção de veículos automotores, no contexto das rupturas em curso no mundo. As possibilidades abrangem desde a manutenção do foco no motor de combustão interna, movido a etanol, até o desenvolvimento de motorização híbrida, também movida a etanol, ou a transição para os veículos elétricos.

Todos esses cenários enfrentam desafios e devem exigir iniciativas contundentes e convergentes dos atores públicos e privados envolvidos. Assim como os outros países, o Brasil precisará construir o futuro do seu sistema automotivo se pretender continuar sendo um protagonista nesse mercado.

Ainda que tais mudanças tendam a ocorrer de forma gradual, é necessário estabelecer desde já objetivos desejáveis para o Brasil, que orientem as iniciativas públicas e privadas no médio e longo prazo, tais como:

- Considerando que o Brasil não sedia matrizes nem centros principais de P&D, manter algum patamar da atividade de engenharia veicular no País, que tem um acúmulo relevante na área.
- Reconverter a base instalada, com um mínimo de perda de empregos e atividade empresarial.
- Aproveitar as oportunidades de criação de novos negócios associados ao automóvel e à mobilidade possibilitada por veículos conectados.
- Aproveitar a capacidade instalada de engenharia e produção de veículos pesados, bem como estimular parcerias, para avançar e buscar alguma liderança nesse nicho.
- Disponibilizar uma rede elétrica que tenha padrões compatíveis com a motorização elétrica.
- Disponibilizar força de trabalho com qualificação suficiente e em volume adequado.
- No segmento de veículos pesados a nova motorização pode representar uma oportunidade para inovações desenvolvidas no Brasil.
- No segmento de veículos leves, o desenvolvimento de soluções híbridas com base no etanol pode constituir uma oportunidade a ser explorada ao longo do período de substituição da atual frota com motores flex de combustão interna.
- Em ambos os casos será preciso construir alianças sólidas entre atores públicos e privados para avançar.

A mobilização empresarial é parte essencial do esforço para construir uma visão compartilhada do futuro do sistema automotivo na sociedade e no ambiente governamental.



INTRODUÇÃO

A presente nota técnica discute o sistema automotivo e o potencial disruptivo relacionado às tecnologias emergentes. O Foco Setorial é em veículos leves, que dá dinâmica no complexo.

O sistema automotivo deve incorporar desdobramentos de praticamente todos os *Clusters* Tecnológicos selecionados no Projeto Indústria 2027. Os avanços na Inteligência Artificial, Internet das Coisas e Redes de Comunicações resultam em inovações nos produtos e nos processos de fabricação (Produção Inteligente e Conectada). Os desenvolvimentos em Materiais Avançados, Nanotecnologia e Armazenamento de Energias e traduzem em novos produtos: veículos mais leves, mais eficientes e seguros. A Biotecnologia oferece novas oportunidades para o uso de combustíveis a partir de biomassa.

O impacto disruptivo mais relevante, entretanto, é o das mudanças de produto, particularmente pela tendência à mudança da motorização (*powertrain*) elétrica, em suas diversas vertentes – elétrico puro e híbrido – e também pela crescente incorporação de tecnologias de informação e comunicação que alteram perspectivas de apoio à condução, lazer e de serviços no interior do veículo. Há também a possibilidade, mais remota em termos temporais e mais incerta, de desenvolvimento comercial de veículos autoguiados, ou seja, sem motoristas. A essas rupturas, soma-se a possibilidade de mudanças importantes na forma de uso do carro, com o avanço do compartilhamento e de restrições à circulação (carro ou veículo compartilhado).

A compreensão do caráter disruptivo das mudanças passa pela caracterização do sistema produtivo e de suas formas organizacionais, no mundo e no Brasil. A atual estrutura, com o advento dos fornecedores sistematistas e de fornecedores de produtos com tecnologia proprietária, normalmente ligados à eletrônica, é bem mais concentrada do que a verificada até os anos 1980. A mudança na motorização pode causar grande impacto nas empresas estabelecidas da cadeia de suprimento, pois o número de peças do motor elétrico é bem menor – um grande conjunto de peças-chave poderia perder proeminência. As próprias montadoras também poderão sofrer mudanças em suas configurações internas, independentemente de tecnologias que venham a ser incorporadas aos processos produtivos, pois são reduzidas substancialmente todas as atividades de montagem de motor, transmissão (câmbio, embreagem etc.), alimentação e exaustão.

As incertezas relativas à motorização baseada em eletricidade estão sendo reduzidas. Há um avanço tecnológico em baterias, item que tem sido um gargalo na difusão dos carros elétricos. Mas, para além do avanço tecnológico, que por si só não viabilizaria a difusão do carro elétrico nos dias atuais, há um futuro sendo construído por diversos

atores, futuro esse que tende a condenar a motorização baseada em combustão interna, independentemente de qual seja o combustível, exaltando as características da motorização alternativa, principalmente de elétricos híbridos.

A inevitabilidade da substituição do motor de combustão externa está sendo construída rapidamente, transformando-se num futuro quase certo, independentemente das incertezas tecnológicas ainda presentes. O carro elétrico vem carregado de conotações positivas – ele levaria à diminuição da poluição, seria mais eficiente energeticamente e simbolizaria o declínio da civilização do petróleo. A mudança para *powertrain* elétrico acarreta um conjunto importante de impactos ambientais.

O Brasil tem uma boa base produtiva de veículos à combustão interna, boa engenharia de adaptação de produto e desenvolvimento de derivados a partir de plataformas, mas não tem empresas de porte que estejam desenvolvendo motorizações alternativas para veículos leves, atividade que é concentrada nas matrizes. Os impactos disruptivos dessa mudança na estrutura produtiva brasileira e no emprego podem ser significativos, a depender da sua intensidade, de sua duração e do papel que as subsidiárias de montadoras e autopeças vierem a exercer. No segmento de veículos pesados a nova motorização pode constituir uma oportunidade para inovações desenvolvidas no Brasil. No segmento de veículos leves, o desenvolvimento de soluções híbridas com base no etanol pode representar uma oportunidade a ser explorada ao longo do período de substituição da atual frota equipada com motores *flex*. Em ambos os casos será preciso construir alianças sólidas entre atores públicos e privados para avançar.



1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA

1.1 Panorama internacional

A partir dos anos 1980², a indústria automobilística mundial passou por importantes transformações. Ao longo daquela década, a indústria procurou adequar-se ao padrão de eficiência de operações estabelecido pelas empresas japonesas do setor, sendo a Toyota o ícone e o modelo de referência. *Just in time*, trabalho em equipes, círculos de qualidade (CCQ) e qualidade total (TQC/TQM) simbolizaram, ao lado da automação microeletrônica, a busca desse padrão, que induziu uma profunda reestruturação do sistema produtivo automobilístico em todo o mundo.

Como a definição do produto é decisiva no sucesso do negócio automotivo, envolvendo consideráveis quantias, da ordem de grandeza de bilhão de dólares, e prazos relativamente longos (de dois a quatro anos ou mais), a atividade de projeto recebeu especial atenção. A transformação ocorrida ao longo desse período contou com uma onda de reestruturação das fábricas e das atividades de projeto. Contribuíram para esse processo as estações de CAD/CAM/CAE, que automatizaram e integraram atividades de projeto das empresas e de seus fornecedores.

Recuperar custos de desenvolvimento de produtos via sua produção em diversos países passou a ser o objetivo perseguido pelas empresas do setor. Isto impulsionou o surgimento de estratégias como a do carro mundial (ou seja, a utilização do mesmo projeto de veículo em diferentes países, buscando economias de escala em projeto, ferramental e produção) e da plataforma mundial (uma base comum mundial envolvendo chassi, motor, mecânica básica, partes da carroceria). Tais estratégias visavam a possibilitar adequações e adaptações para mercados com diferentes características.

As estratégias de carro e plataforma mundiais levantaram a possibilidade de uma recentralização das atividades de projeto de produto desenvolvidas em países periféricos, recolocando a questão da divisão internacional do trabalho nessa atividade, que é fundamental para o enraizamento local dessa e de outras indústrias. A discussão sobre recentralização ganhou corpo novamente com a concentração de P&D nas matrizes, referente à mudança de *powertrain* para as diversas formas de híbridos e elétricos.

Dessa maneira, a partir do início dos anos 1980 e 1990, as profundas transformações na indústria automotiva mundial perpassaram a organização do trabalho nas fábricas, a atividade de projeto e a própria organização industrial do setor. Essas transformações encontraram no Brasil um campo fértil para experimentações de arranjos organizacionais que atribuem a determinado tipo de empresa de autopeças um novo papel: capitanear a chamada modularidade, um modelo conhecido como sistemista

2. No Brasil o processo teve início nos anos 1990.

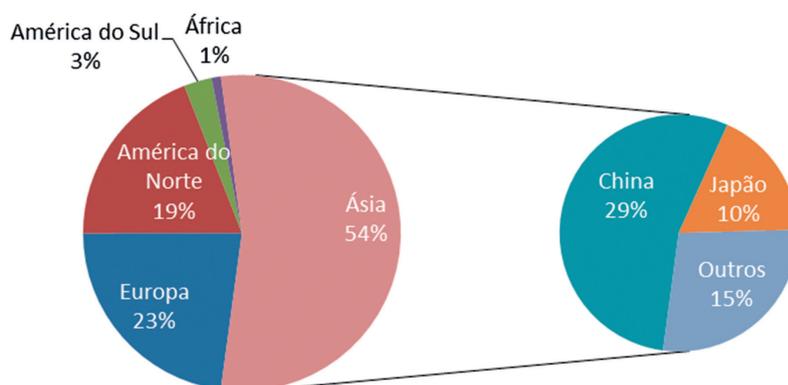
(ou modulista, ou moduleiro, conforme o jargão local). A reestruturação produtiva no setor automotivo tem nos sistemistas um de seus ícones, e o esquema de fornecimento modular é uma das formas mais avançadas de relacionamento na cadeia.

Os sistemistas são responsáveis por entregar módulos, subconjuntos e/ou sistemas pré-montados diretamente nas fábricas das montadoras, geralmente instalando unidades no mesmo terreno, ou mesmo dentro do prédio da montadora. Esses arranjos são conhecidos como consórcio modular ou condomínio industrial, sendo o Brasil o país mais avançado no experimento. Essas estratégias, nas quais um pequeno número de empresas fornece subconjuntos, módulos ou sistemas diretamente às linhas de montagem, em boa parte não apenas *just in time*, mas também *just in sequence* (conforme a sequência exata da montagem num dado momento), impactaram a organização industrial do setor, sobretudo em novas fábricas. Nesse condomínio industrial, a posição de fornecedor de subconjuntos, módulos ou sistemas para as montadoras passou a ser estratégica na cadeia, sendo inserida, inclusive, no próprio arranjo de suas plantas industriais.

Com base nesse novo arranjo produtivo, o setor automotivo se expandiu ao longo dos anos 2000, com maior distribuição espacial da produção e a emergência da China como grande ator global na produção automotiva para veículos leves. Esse arranjo passa a enfrentar, a partir do início do século XXI, novas pressões, advindas de novas oportunidades em processos produtivos atrelados à produção inteligente e conectada (PIC) e a inovações de produto, como os veículos elétricos, carros conectados e carros autônomos.

O complexo automotivo é uma das indústrias mais poderosas e influentes do mundo. Segundo dados da Organização Internacional das Montadoras de Automóveis (*Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles* – OICA), em 2016 foram produzidos aproximadamente 95 milhões de veículos, um crescimento de 46% em relação a 2006. Os números do setor demonstram uma escala de produção concentrada, sobretudo, nas economias asiáticas e europeias, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Distribuição da produção mundial de veículos, 2016



Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

Como mostra a Tabela 1, em 2016 a China liderava a produção mundial de veículos, seguida pelos Estados Unidos, pelo Japão e pela Alemanha. Nesse mesmo ano, o Brasil era o décimo produtor mundial, com pouco mais de dois milhões de unidades de veículos³.

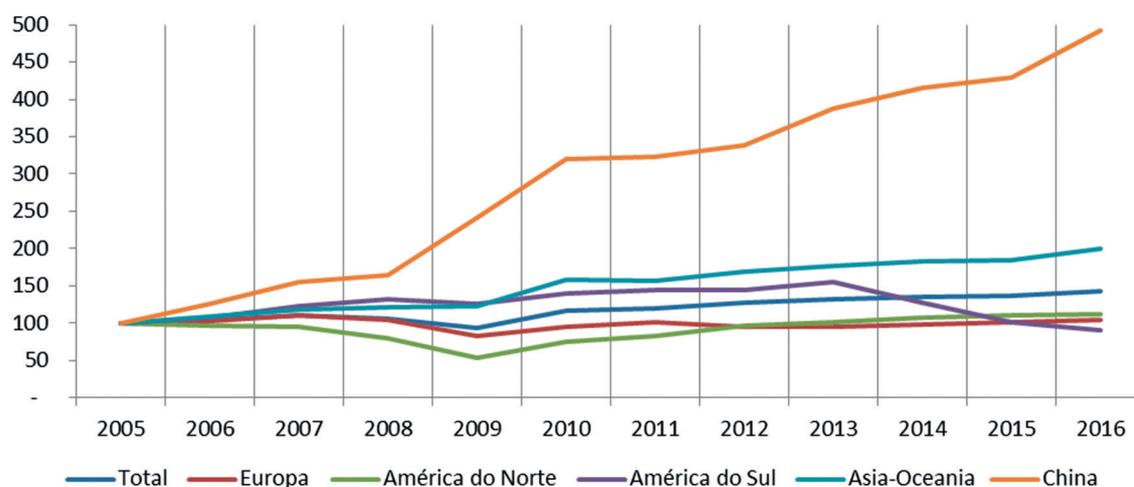
Tabela 1 – Produção mundial de veículos, países destacados, 2016

	Milhões de unidades
1 China	28,1
2 Estados Unidos	12,2
3 Japão	9,2
4 Alemanha	6,0
5 Índia	4,5
6 Coreia do Sul	4,2
7 México	3,6
8 Espanha	2,9
9 Canadá	2,4
10 Brasil	2,2

Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

Da mesma forma que em diversos outros setores, destaca-se o crescimento da China, que tem sido capaz de manter um aumento acelerado de sua capacidade produtiva, saltando de aproximadamente seis milhões de veículos por ano, em 2006, para 28 milhões, em 2016. A Figura 2 apresenta o crescimento relativo da indústria automotiva no mundo e na China.

Figura 2 – Crescimento da capacidade produtiva da indústria automotiva (2005 = 100)

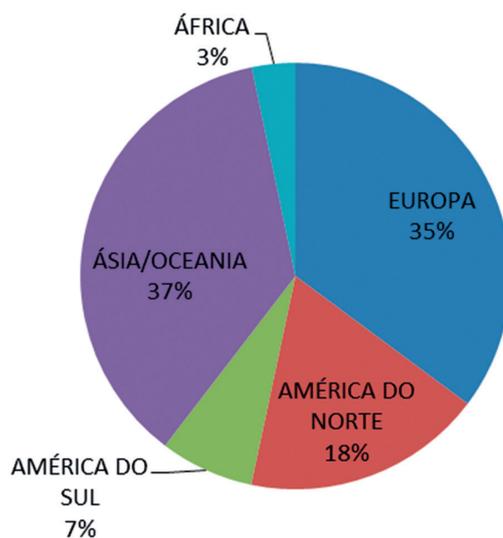


Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

3. Em 2012 o Brasil ocupava a sétima posição no ranking, com 3,4 milhões de unidades produzidas.

Em 2015, o estoque mundial de veículos era de 947 milhões, distribuídos conforme mostra a Figura 3. Esse estoque representava, naquele ano, uma taxa de 182 veículos para cada mil habitantes.

Figura 3 – Distribuição do estoque de veículos em uso no mundo



Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

O setor automotivo pode ser considerado um oligopólio organizado em torno de grandes montadoras, que concentram grande parte da produção e comercialização mundial. Em 2015, as dez maiores montadoras foram responsáveis pela fabricação de 70% de todos os veículos produzidos. O setor é composto por 50 montadoras, segundo dados da OICA, sendo as 20 maiores apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Participação das 20 principais montadoras na produção mundial de veículos, 2015

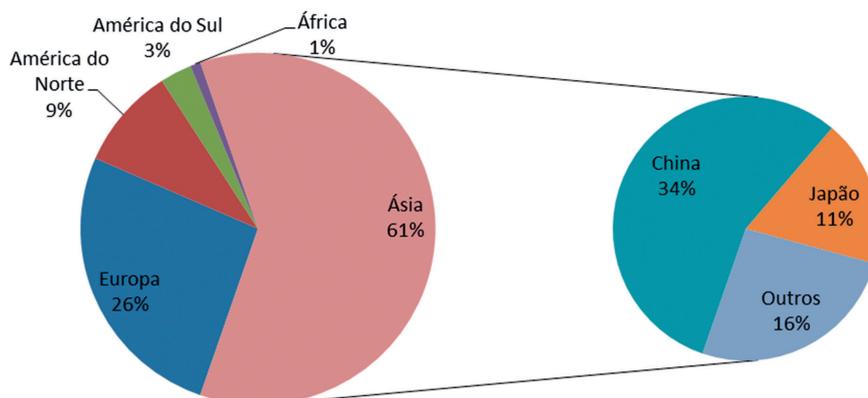
Montadora	Veículos	% do total	% acumulada
1 TOYOTA	10.083.831	11,19%	11,19%
2 VOLKSWAGEN	9.872.424	10,96%	22,15%
3 HYUNDAI	7.988.479	8,87%	31,02%
4 G.M.	7.485.587	8,31%	39,33%
5 FORD	6.396.369	7,10%	46,43%
6 NISSAN	5.170.074	5,74%	52,17%
7 FIAT	4.865.233	5,40%	57,57%
8 HONDA	4.543.838	5,04%	62,61%
9 SUZUKI	3.034.081	3,37%	65,98%
10 RENAULT	3.032.652	3,37%	69,35%
11 PSA	2.982.035	3,31%	72,66%
12 B.M.W.	2.279.503	2,53%	75,19%
13 SAIC	2.260.579	2,51%	77,70%
14 DAIMLER AG	2.134.645	2,37%	80,07%
15 MAZDA	1.540.576	1,71%	81,78%
16 CHANGAN	1.540.133	1,71%	83,49%
17 MITSUBISHI	1.218.853	1,35%	84,84%
18 DONGFENG MOTOR	1.209.296	1,34%	86,18%
19 BAIC	1.169.894	1,30%	87,48%
20 TATA	1.009.369	1,12%	88,60%

Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

Segundo a OICA, a indústria automotiva emprega 5% do total dos setores da indústria manufatureira, o que representa, aproximadamente, nove milhões de empregos diretos em todo o mundo. Para cada emprego gerado diretamente por uma montadora, estima-se que são gerados mais cinco indiretos em outros setores relacionados à indústria, como o siderúrgico, plástico, têxtil, de vidros etc.

O segmento de veículos leves é o maior do sistema automotivo e representa 76% de todos os veículos produzidos em 2016. Pode-se afirmar que este segmento determina a dinâmica de todo o setor automotivo, e suas características dominam o perfil do conjunto da indústria, na distribuição e na produção. A produção de veículos leves, em 2016, foi de aproximadamente 72 milhões de unidades, também concentrada na Ásia (Figura 4).

Figura 4 – Distribuição da produção mundial de veículos leves, 2016



Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

Assim como na produção total de veículos, é impressionante o crescimento da indústria chinesa de veículos leves: no ano 2000 apresentava uma produção anual de 604 mil de unidades, enquanto em 2016 já chegava a 24 milhões (Tabela 3). Nesse mesmo período, a capacidade produtiva de veículos leves de toda a Europa se expandiu de 17 milhões de unidades para aproximadamente 19 milhões.

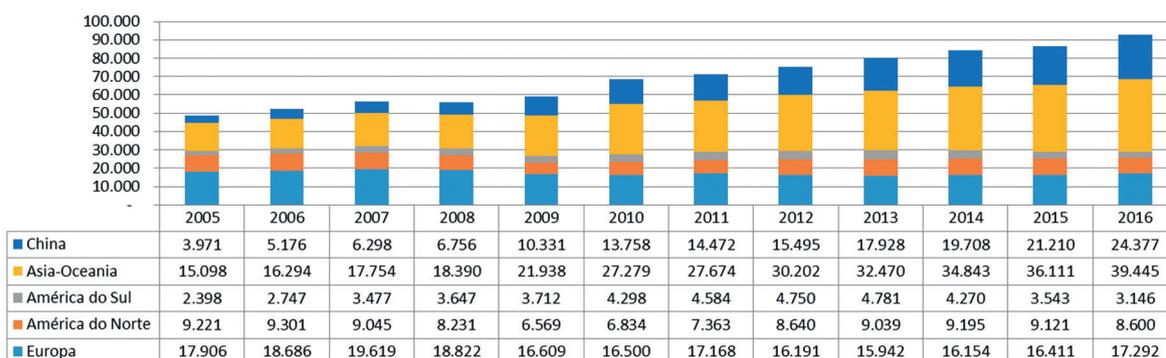
Tabela 3 – Produção mundial de veículos leves, 2016

	Milhões de unidades
1 China	24,4
2 Japão	7,8
3 Alemanha	5,7
4 Estados Unidos	3,9
5 Coreia do Sul	3,8
6 Índia	3,7
7 Espanha	2,3
8 México	2,0
9 Brasil	1,8
10 Reino Unido	1,7

Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

O mercado mundial apresentou um volume de vendas de aproximadamente 70 milhões de veículos leves. A Figura 5 mostra que a maior parte da expansão ocorreu no mercado asiático, que em 2016 concentrava mais da metade da demanda mundial.

Figura 5 – Vendas de veículos leves no mundo (x 1.000)



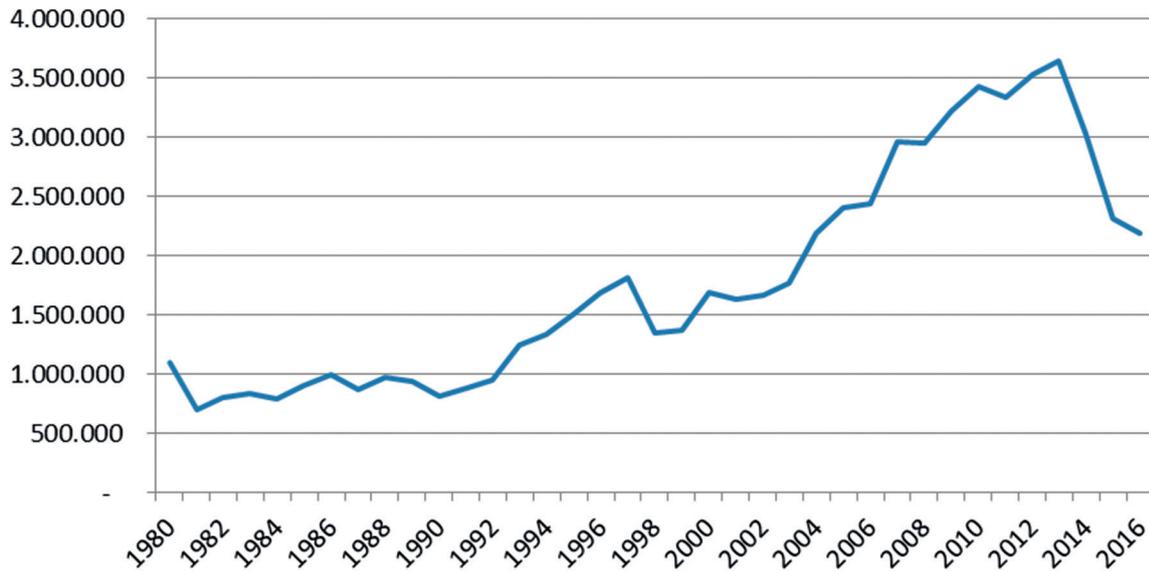
Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

1.2 Panorama no Brasil

Nos anos 90, as grandes empresas do setor iniciaram um processo intenso de concentração e internacionalização para contrabalançar o baixo crescimento dos mercados norte-americano e europeu. O Brasil foi um dos países que mais recebeu unidades industriais de montadoras, seja de entrantes, como Renault, Mercedes-Benz Automóveis, Chrysler, PSA-Peugeot/Citroën e unidades pequenas da Honda, Toyota e Mitsubishi, seja de novas fábricas da Volkswagen, VW Veículos Comerciais, Ford, GM, além da remodelação de unidades preexistentes das empresas já localizadas aqui.

O dinamismo potencial do mercado doméstico brasileiro e os incentivos fiscais para produtores e consumidores foram determinantes para que as empresas montadoras de veículos ampliassem sua capacidade de produção no País. A Figura 6 apresenta a evolução da produção total de veículos no Brasil de 1980 a 2016.

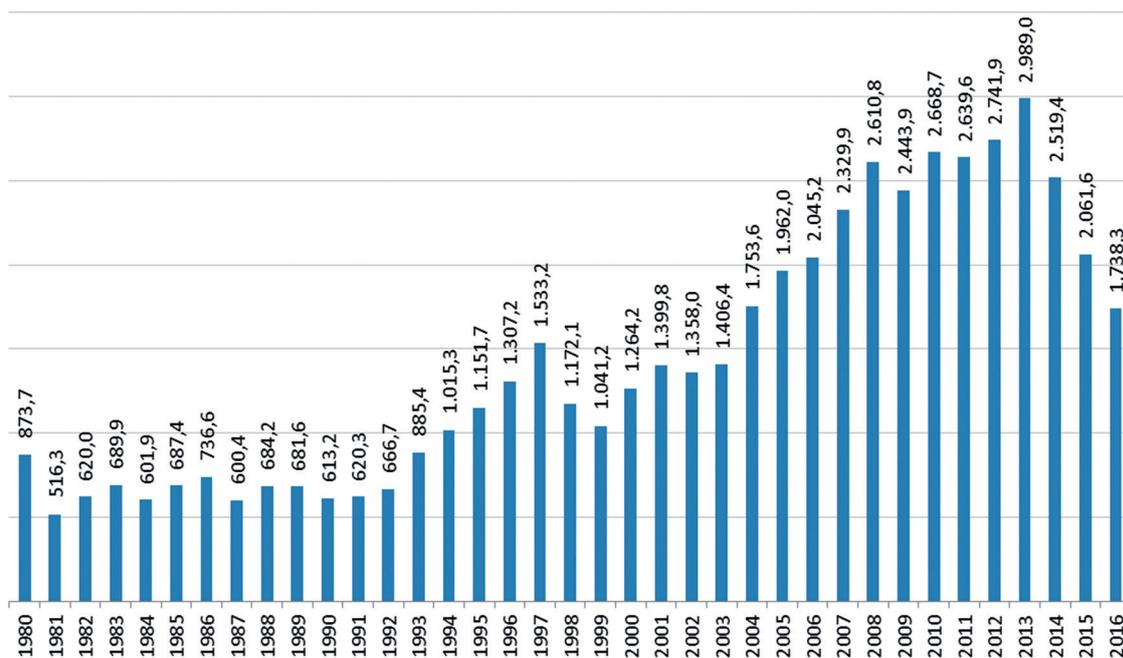
Figura 6 – Evolução da produção de veículos no Brasil



Fonte: Elaboração própria com base em dados de ANFAVEA.

No Brasil, tal como nos outros países, o segmento de veículos leves também é responsável por grande parte da produção e pela própria dinâmica do sistema. A Figura 7 apresenta a evolução na produção de veículos leves no Brasil.

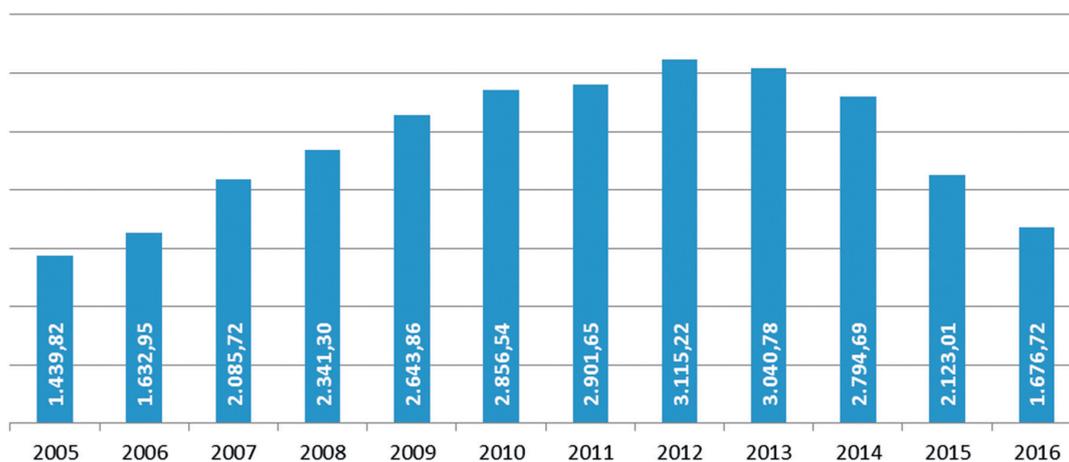
Figura 7 – Evolução da produção de veículos leves no Brasil (em mil unidades)



Fonte: Elaboração própria com base em dados de ANFAVEA.

No que se refere a vendas, o otimismo em relação ao potencial do mercado brasileiro se materializou efetivamente no período de crescimento econômico de 2005 a 2012. O Brasil tornou-se um dos grandes mercados mundiais para veículos leves, embora distante das dimensões dos grandes mercados asiáticos. A Figura 8 apresenta a evolução das vendas no País.

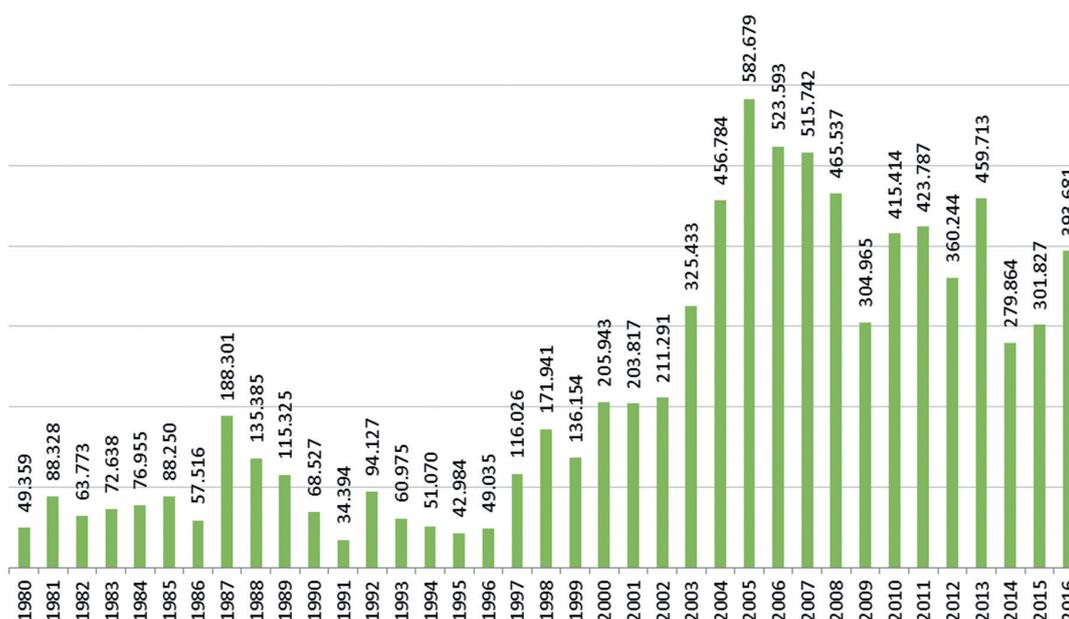
Figura 8 – Evolução da venda de veículos leves no Brasil (em mil unidades)



Fonte: Elaboração própria com base em dados de OICA.

O principal destino da produção no Brasil é o mercado doméstico. As exportações de veículos leves representam uma parcela relativamente reduzida da produção (Figura 9).

Figura 9 – Evolução das exportações de veículos leves no Brasil (em mil unidades)

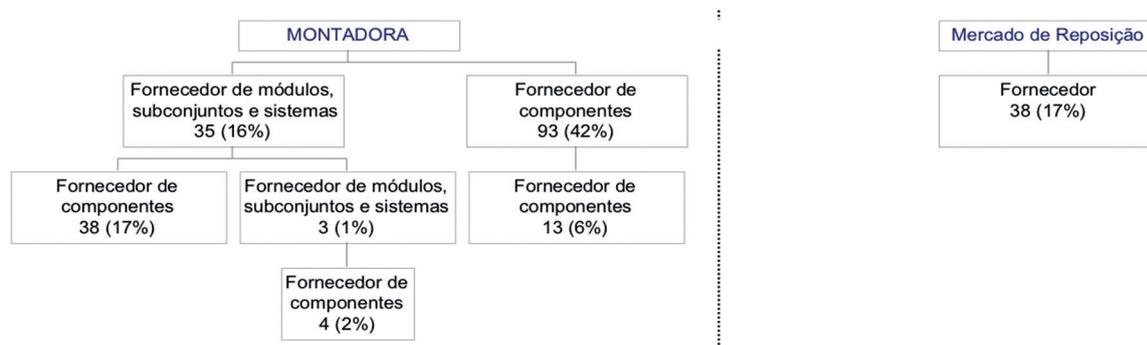


Fonte: Elaboração própria com base em dados de ANFAVEA.

Paralelamente aos investimentos das montadoras estrangeiras, houve enorme desnacionalização dos ativos no setor de autopeças, refletindo as tendências internacionais. Essa estratégia de plataformas mundiais, com a definição de fornecedores *global players*, que preferencialmente devem seguir a montadora para onde quer que realize a produção de um modelo oriundo de determinada plataforma, também foi constatada em outros países.

Além das mudanças na estrutura de propriedade do capital, houve alterações profundas na organização da cadeia produtiva e nas relações entre montadoras e fornecedores. A Figura 10 representa os níveis de articulação entre montadoras e fornecedores ao longo da cadeia automotiva no Brasil.

Figura 10 – Estrutura da cadeia automotiva no Brasil



Fonte: Zilbovicius, Marx e Salerno (2003).

O primeiro nível – empresas que fornecem diretamente às montadoras – é composto por fornecedores de subconjuntos, sistemas e módulos, os chamados sistemistas ou modulistas, e por fornecedores de componentes. Entre estes últimos existem aqueles com tecnologia de produto exclusiva, principalmente ligada à eletrônica embarcada, sistemas de segurança (*airbags*, freios ABS), instrumentos e outras inovações. Geralmente são grandes empresas que, se formalmente não são enquadrados como sistemistas, e às vezes nem mesmo como fornecedores de primeiro nível, podem estar entre as que participam desde cedo do projeto do produto (como os fornecedores de partes elétricas e eletrônicas para painéis e jogos de seta, dadas as questões de estilo envolvidas) e podem apresentar fortíssimos laços com as montadoras.

A hegemonia na cadeia de fornecimento é das empresas estrangeiras, que ocupam as posições-chave, têm relacionamento mais direto com as montadoras e estão estrategicamente situadas para comandar o poder de compra numa situação de produção modular. A montadora estabelece um relacionamento preferencial com esses fornecedores, que passam a entregar subconjuntos, módulos ou sistemas. Conhecidos também como nível 0,5, seu advento deslocou inúmeras empresas para posições inferiores da cadeia produtiva.



2 OS *CLUSTERS* TECNOLÓGICOS RELEVANTES

2.1 Identificação das tecnologias relevantes

Todos os *Clusters* Tecnológicos selecionados no Projeto Indústria 2027 impactam em algum grau o sistema produtivo automotivo. Os avanços na Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e Redes de Comunicações geram inovações nos produtos e também nos processos de fabricação (Produção Inteligente e Conectada- PIC). Os desenvolvimentos em Materiais Avançados (MA), Nanotecnologia (NANO) e Armazenamento de Energia (AE) viabilizam inovações de produtos. A Biotecnologia (BIO) oferece novas oportunidades na produção e uso de combustíveis a partir de biomassa.

No horizonte de cinco a dez anos, o impacto disruptivo mais importante decorrerá dos avanços nas tecnologias de Armazenamento de Energia (AE), da IoT e das Redes de Comunicações. O desenvolvimento tecnológico desses *Clusters* viabiliza inovações de produto que já impactam de forma visível as estratégias das empresas e a estrutura de mercado.

O impacto disruptivo mais relevante é a mudança para a motorização (*powertrain*) elétrica dos veículos, em suas diversas vertentes – elétrico puro e híbrido –, além da crescente incorporação de tecnologias de informação e comunicação, que alteram perspectivas de apoio à condução, lazer e de serviços no interior do veículo. Há ainda a possibilidade, mais remota em termos temporais e mais incerta quanto ao desenvolvimento comercial, de veículos autoguiados, ou seja, sem motoristas. A essas rupturas, soma-se a possibilidade de mudanças importantes nas formas de uso dos carros, com o avanço do compartilhamento e de restrições à circulação (veículos compartilhados).

Os processos produtivos tendem a seguir a evolução geral da indústria mecânica em direção à PIC – como automação, manufatura aditiva (impressão 3D), utilização de *big data* e de aprendizado de máquina (*machinelearning*), conexão, Internet das Coisas. Trata-se de avanços importantes, mas de modo geral não configuram mudanças disruptivas tão intensas como nos veículos.

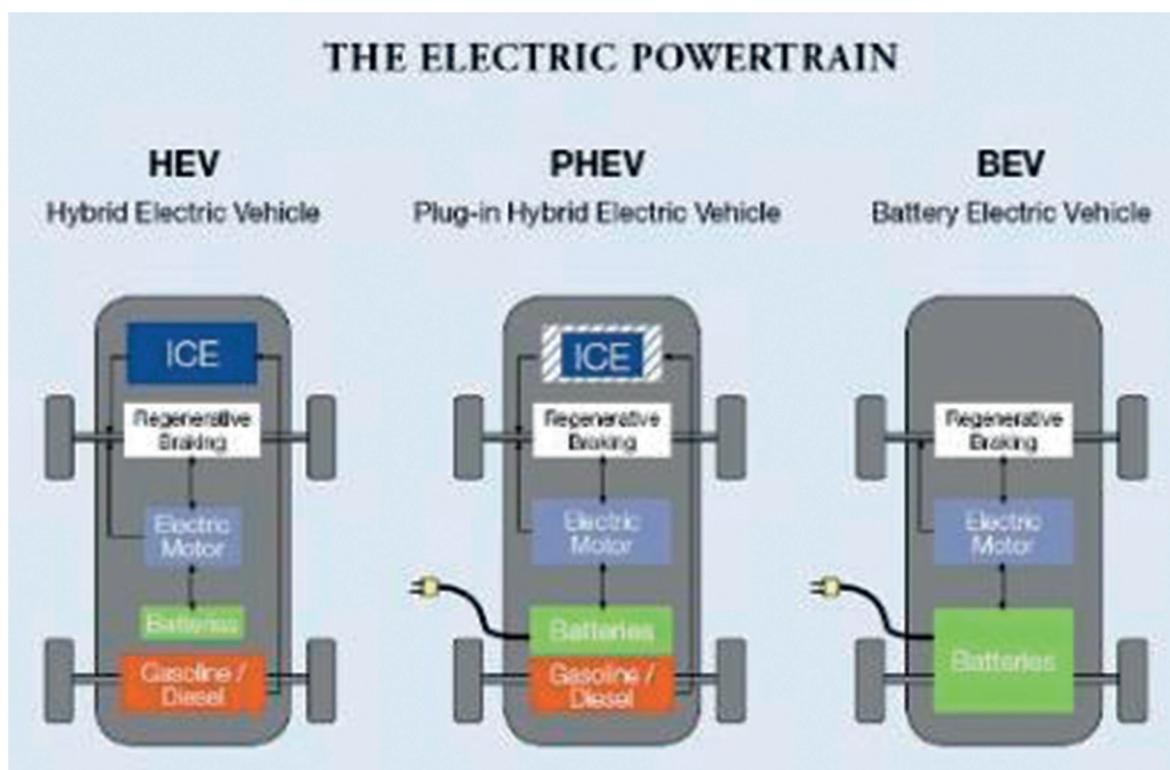
Nestes, o efeito disruptivo decorre de três grandes mudanças, que não são mutuamente excludentes, mas apresentam diferentes estágios de maturidade e atratividade. São elas: carro elétrico, carro compartilhado e carro conectado ou autônomo. Tais inovações deverão passar por um período de inserção em nichos, e a velocidade e profundidade de sua difusão deverá estar relacionada às políticas públicas, sobretudo as regulações.

2.1.1 Veículos elétricos

Os veículos que possuem tecnologia de propulsão por motores elétricos podem ser categorizados em *hybrid electric vehicle* (HEV), *battery electric vehicle* (BEV ou EV), (*plug in hybrid electric vehicle* (PHEV). Há ainda o *fullcell vehicle* (FCV), baseado em células de combustível para geração de energia (Figura 11). Essa classificação e a descrição dos sistemas provêm de informações da Agência Internacional de Energia (IEA), em seu Programa de Colaboração Tecnológica para Veículos Híbridos e Elétricos (IEA-HEV, 2017) e do Departamento de Energia dos Estados Unidos (*One Million Electric Vehicles by 2015*, 2011).

Alguns fatores, como os efeitos das emissões de gases de efeito estufa (GEE), a crescente urbanização, a dependência de petróleo e sua imprevisibilidade de preço, são os principais condicionantes no debate atual sobre a difusão de veículos limpos, principalmente o elétrico. As motivações por parte dos governos estão ligadas às possibilidades de aproveitamento de recursos renováveis, à promoção de indústria local (como no caso da China), à redução de emissões e ao alívio da poluição localizada.

Figura 11 – Estrutura de propulsão dos diferentes tipos de veículos elétricos



Fonte: *ShockingSolutions* (2009).

Segundo dados da IEA (2017), o setor de transportes foi responsável por 27% das emissões mundiais de gases de efeito estufa em 2015. Alguns países estão impondo padrões cada vez mais rígidos às montadoras (economia de combustível e emissões de CO₂),

o que impulsiona a demanda por tecnologias de veículos mais eficientes. Desde o final do século passado, aumentaram as preocupações sobre os efeitos das emissões de GEE, e a Organização das Nações Unidas (ONU) desenvolveu programas permanentes relacionados ao efeito estufa. Uma de suas iniciativas é Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), com conferências periódicas e contribuição ativa dos países-membros. Ao longo dos anos, as principais nações do mundo se comprometeram com metas de redução de GEE.

A 21ª Conferência dos integrantes da UNFCCC, de 2015, foi um marco nessa questão, pois resultou no Acordo de Paris (ONU, 2017), que obteve consenso global, em que todos os participantes reconhecem que as emissões de GEE precisam ser desaceleradas e se comprometem a minimizar o aumento da temperatura global (seu valor médio deve ser inferior a 2°C). Os governos assumiram compromissos de redução (INDC – Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas) de acordo com seus respectivos cenários sociais e econômicos.

A preocupação quanto a esses gases decorre da sua capacidade de absorção de calor, ou seja, em grandes concentrações na atmosfera agravam o aquecimento global. O principal GEE é o dióxido de carbono (CO₂), responsável por cerca de 60% do efeito estufa. Segundo informações da Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental (EPA, 2017), a principal fonte de emissão de CO₂ é a combustão de fontes fósseis, sendo a geração de eletricidade pelas usinas termelétricas e as atividades de transporte os principais responsáveis pelas emissões de GEE. A representatividade de cada setor varia de acordo com o cenário energético do País. A emissão de GEE pela geração de eletricidade costuma ter maior peso em cenários de uso extensivo de carvão e gás natural. Já em matrizes com grande participação de fonte renovável ou nuclear, as emissões de GEE por veículos de transporte são bastante significativas.

É nesse contexto que o veículo elétrico vem sendo inserido. É comum relacionar-se a adoção do veículo elétrico com a redução de emissão de GEE, sem uma análise mais profunda do cenário energético local. Entretanto, em alguns países a adoção de BEV, mesmo em massa, pode não ter relevância significativa ou mesmo nenhum impacto na redução de emissões de GEE, principalmente de CO₂.

Um modelo de análise é o WTW (*well-to-wheel*), que considera as emissões e a quantidade de energia direta e indireta utilizada durante todo o ciclo do combustível. Em uma análise da ICCT – *International Council for Clean Transportation* (WOLFRAN e LUTSEY, 2016) –, foi considerada a matriz de geração elétrica de 2010 da União Europeia comparando modelos 2010 de BEV e de veículos a gasolina. Os resultados mostraram que os BEV tinham um valor WTW de emissão de CO₂ equivalente (CO₂e) 46% menor do que os movidos à gasolina (a produção e a reciclagem dos veículos não foram consideradas). A emissão para o BEV foi de aproximadamente 110g CO₂e/km, considerando o *mix* da matriz (eólica, gás natural, carvão). Na análise isolada das fontes, constatou-se que o menor valor seria da eólica (6g CO₂e/km) e o maior, do carvão (243g CO₂e/km) – valor bem acima dos modelos a gasolina (204g CO₂e/km).

Essas diferenças indicam que, além das emissões de GEE pelos veículos de transporte, outro fator essencial para a análise é a política energética do País. Assim, a implantação efetiva de BEV pode diminuir significativamente a dependência de derivados de petróleo, bem como o impacto da oscilação de preços e das importações desses produtos na economia. Pode, ainda, reforçar a segurança energética do País, diversificando as fontes de energia para os transportes e aliando o fomento de BEV com o aumento da geração de energia a partir de fontes renováveis.

Analisando o cenário energético da França, por exemplo, verifica-se que mais de 70% de sua geração de eletricidade é oriunda de fonte nuclear, porém depende quase que integralmente da importação de petróleo, boa parte do qual é destinado ao transporte. A adoção em massa de veículos elétricos pode levar a benefícios relacionados a custos, segurança energética e redução de emissões.

Há ainda exemplos em que as motivações do País vão além do cenário de energia e redução de emissões totais. Devido ao uso intensivo de carvão, a China não deverá ter redução significativa de suas emissões globais, mas aposta na adoção de veículos elétricos visando à diminuição de emissões concentradas. Seus grandes centros urbanos já sofrem com a poluição local, e há preocupações por conta do aumento da urbanização e de veículos. Além disso, os chineses veem aí uma oportunidade de promover a indústria local e concorrer com as grandes fabricantes de veículos.

A implantação de veículos elétricos é complexa e necessita de grandes esforços gerenciais e financeiros. O cenário energético deve ser analisado a fundo, tal como as motivações para sua adoção, a fim de se chegar a uma estratégia e a uma política de implantação.

Em relação à infraestrutura de recarga, ou *electric vehicle supply equipment* (EVSE), os carregadores podem ser classificados por nível (máxima potência em quilowatts), tipo, de acordo com o conector usado, e modo, que descreve o protocolo de comunicação entre o veículo e o carregador (IEA, 2017). Ainda não há um padrão internacional. A classificação por níveis usada na América do Norte é amplamente difundida e possui três categorias principais (SMITH e CASTELLANO, 2015):

- **AC Level 1:** corrente alternada 20A, 120 v, taxa de carga de aproximadamente 1 kW – tempo de recarga entre oito a 12 horas, dependendo da capacidade da bateria.
- **AC Level 2:** corrente alternada 20 a 100A, 240 v, taxa de carga entre 3 a 20kw – tempo de recarga de três a oito horas.
- **DC recarga rápido (*fastcharging*):** corrente contínua 60 a 200A, acima de 480 v, tempo médio de recarga de 30 minutos, sendo opções para estradas e em estações públicas.

2.1.2 Carsharing (compartilhamento de veículos)

O conceito básico do *carsharing* é a utilização de veículos privados sem os custos e responsabilidades da propriedade. Na última década surgiram inúmeras iniciativas de empresas que fornecem esse serviço, com diferentes modelos de negócio, escalas, públicos-alvo e até tecnologias.

Apesar de haver registros de iniciativas de pequena escala desde a década de 1980, nos Estados Unidos e na Europa, é a partir dessa década que alguns programas estão ganhando escala e surgem globalmente inúmeros outros. A razão disso, ao menos parcialmente, é a conectividade e a mobilidade do mundo atual.

Segundo relatórios da agência norte-americana *Federal Transit Administration* e do projeto Momo da Comissão Europeia (VANHEE, 2012), as principais características dos projetos de *carsharing* incluem:

- Usuários como membros de uma rede.
- Acesso a uma frota de veículos compartilhados.
- Rede descentralizada de pontos de estacionamento/retirada.
- Reserva prévia.
- Aluguéis por períodos curtos (podendo ser à base de horas).
- Atendimento de curtas distâncias, combinando outras mobilidades disponíveis no sistema de transporte local.
- Acesso ao veículo de forma independente (sem necessidade de um agente).
- Disponibilidade a qualquer hora do dia.

As principais vantagens para os usuários são a isenção dos custos de se possuir um veículo: pagamento de taxas de propriedade, seguros, inspeções, estacionamentos, além dos custos de manutenção. Além disso, como os programas preveem que o usuário utilizará outras formas de transporte, a adoção do *carsharing* também traz benefícios ambientais porque, diminuindo-se a distância percorrida por um veículo individualmente, são menores as emissões de poluentes.

A maioria dos programas existentes utiliza veículos convencionais, com sistemas de combustão a gasolina ou diesel. Há ocorrências recentes de adoção de frotas híbridas, e também de veículos elétricos. A maioria das iniciativas na área é impulsionada por financiamentos de programas de pesquisas na área de energia elétrica. Um exemplo de destaque que utiliza modelos elétricos é a Autolib de Paris, que será comentado nas próximas seções.

Como os programas dispensam operadores para a retirada do veículo, é necessário empregar tecnologia para que os usuários o acessem. Os itens mais comuns em programas atuais são sistemas de controle de acesso, travamento automatizado, computadores de bordo e rastreadores.

Alguns programas distribuem cartões do tipo *smartcard* para seus usuários e equipam os veículos com sistemas inteligentes, que permitem o acesso com a aproximação do cartão. No momento que o usuário finalizar a reserva, seu cartão terá uma chave eletrônica, que dará acesso ao carro escolhido.

Outras tecnologias fazem a interface com o usuário por meio do aplicativo da empresa, realizando a busca *online* do veículo, finalizando a reserva e destravando-o automaticamente, no momento em que o usuário se aproxima, mediante uma chave virtual (VULOG, 2017).

Muitas empresas oferecem a tecnologia para essas iniciativas de compartilhamento, com sistemas a bordo e ferramentas de gestão como a localização de suas frotas em tempo real, sistemas customizados de pagamentos, controle e análise de dados etc.

2.1.3 Carro autônomo

Os veículos autônomos (também chamados de *self-driven cars*) têm sido previstos pela ficção científica e discutidos pela mídia popular há um bom tempo. Recentemente, grandes corporações anunciaram planos para começar a vender esses veículos dentro de alguns anos, e certos países iniciaram estudos para fomentar uma legislação que permita que eles operem legalmente em via pública.

Executivos de várias montadoras líderes preveem que a tecnologia avançada de condução autônoma esteja disponível até 2021, ou mesmo antes (GIFFI *et al.*, 2017). Embora vá ser utilizado primeiro para aplicações comerciais, como transporte de mercadorias ou serviços como Uber, a capacidade de oferecer veículos completamente autônomos ao público pode estar realmente disponível nas próximas décadas.

Um carro autônomo pode dirigir-se do ponto A para o ponto B sem interferência manual do motorista. O veículo usa uma combinação de câmeras, sistemas de radar, sensores e receptores do sistema de posicionamento (GPS) para determinar sua localização, e usa inteligência artificial para determinar o caminho mais rápido e seguro para seu destino. Unidades mecâtrônicas e atuadores permitem que o “cérebro” do carro acelere, freie e dirija conforme necessário.

Assim como os veículos elétricos, carros autônomos podem parecer uma iniciativa muito recente, mas foram desenvolvidos há décadas, em iniciativas como a exposição do GM Futurama, na Feira Mundial de 1940, e a execução de protótipos autônomos da GM e da Ford, na década de 1950. Também houve várias tentativas independentes de construir carros autônomos, nos Estados Unidos, no Japão e na Europa, entre as décadas de 1960 e 1980. A maioria das primeiras tentativas de condução autônoma exigia uma ajuda significativa da infraestrutura (como estradas especiais com tiras de guia de metal e sensores de rádio para apontar o direito de passagem para os carros), mas algumas

também usavam câmeras, sensores remotos e atuadores para permitir aos carros se autocontrolarem. Os primeiros automóveis autônomos foram capazes de completar as rotas de teste, mas não foram provados em condições reais de tráfego (STANLEY, 2013).

O grande avanço nas pesquisas relacionadas a veículos autônomos veio com o projeto DARPA *Grand Challenge* (Grandes Desafios). Organizado pela *Defense Advanced Research* do Departamento (Ministério) de Defesa dos Estados Unidos (DARPA), essa competição convocou uma série de universidades, montadoras e empresas inovadoras para criar o veículo autônomo do futuro, inicialmente destinado a uso militar, mas eventualmente com cruzamento para aplicações civis. Os Grandes Desafios DARPA foram realizados em 2004 (deserto aberto), 2005 (curso do deserto) e 2007 (curso urbano). Enquanto os participantes tiveram vários graus de sucesso (no primeiro *Grand Challenge* nenhum deles completou o curso e não houve vencedor), a confiabilidade e a capacidade das máquinas melhoraram dramaticamente com cada iteração. O primeiro vencedor do Grande Desafio, em 2007, foi o Stanley – um Volkswagen Touareg modificado –, da Universidade de Stanford, que ganhou o prêmio (bolsa) de US\$ 2 milhões. Os *Grand Challenges* impulsionaram várias montadoras e outros participantes, como Google e Cisco Systems, no campo dos veículos autônomos e muitos membros das suas equipes estão hoje liderando o desenvolvimento desses veículos.

Os potenciais benefícios relacionados ao desenvolvimento de carros autônomos residem no fato de que eles possibilitarão conveniências significativas aos usuários, como maior segurança, redução de congestionamento e da necessidade de serviços de transporte público convencional, economia de combustível e diminuição da poluição, bem como os riscos associados a motoristas não treinados.

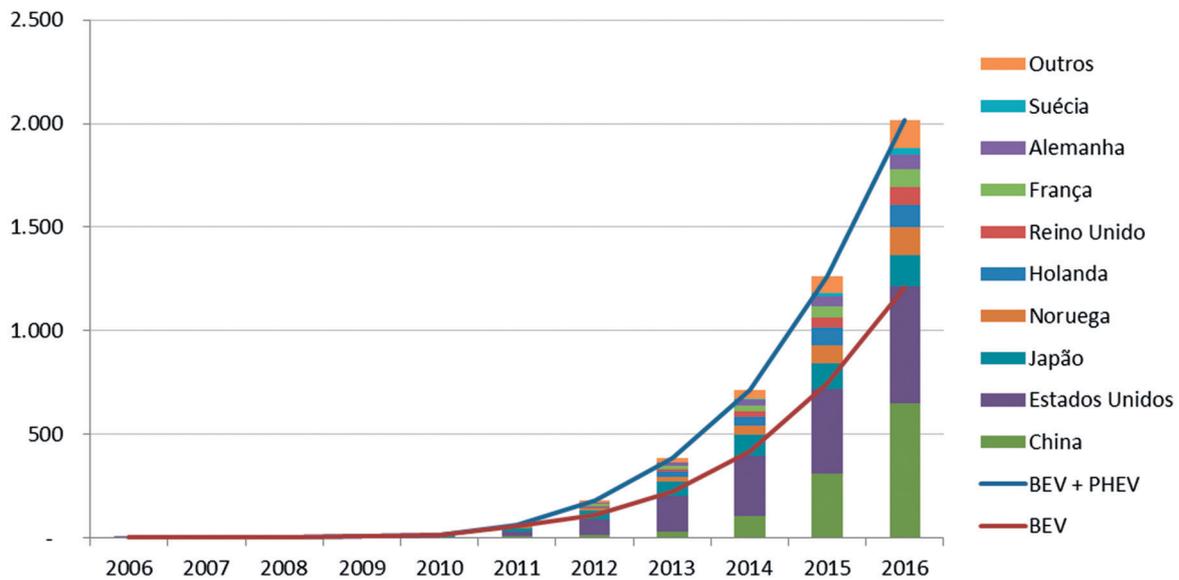
Os mais otimistas preveem que os veículos autônomos serão acessíveis em breve, pois as economias seriam tão expressivas que esses veículos se tornariam onipresentes e necessários. Entretanto, é possível que tais benefícios sejam menores e seus custos maiores do que tais previsões otimistas assumem (LITMAN, 2017).

2.2 Experiência internacional

2.2.1 Veículos elétricos

Atualmente, a penetração dos veículos elétricos ainda é modesta, mesmo em países que adotaram políticas e medidas de incentivos: representa uma participação (*marketshare*) de 1,1% no mercado mundial. É possível observar os efeitos de políticas que têm incentivado sua difusão, buscando gerar incentivos diretos e indiretos para o uso deste tipo de veículos. A Figura 12 apresenta a evolução no estoque mundial de carros elétricos no mundo.

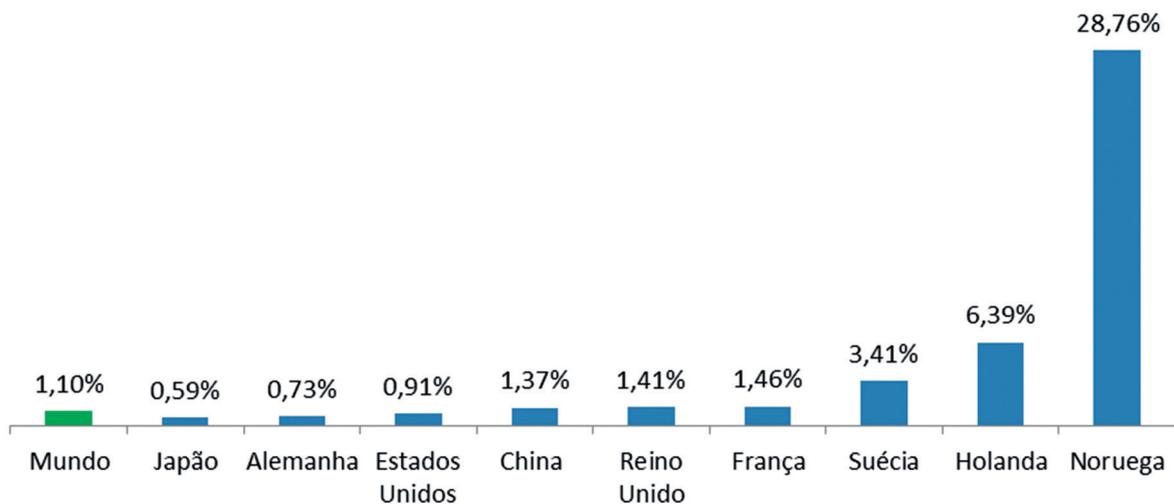
Figura 12 – Estoque de veículos elétricos no mundo e países selecionados (em mil unidades)



Fonte: Global EV Outlook (2017).

Há ainda questões da aceitação dos consumidores e da infraestrutura necessária para a maior inserção dos veículos elétricos no mercado automotivo. A Figura 13 apresenta a participação no mercado de veículos elétricos em relação à indústria automotiva nos seus principais mercados mundiais.

Figura 13 – Participação no mercado de veículos elétricos (BEV + PHEV) no mundo, 2016

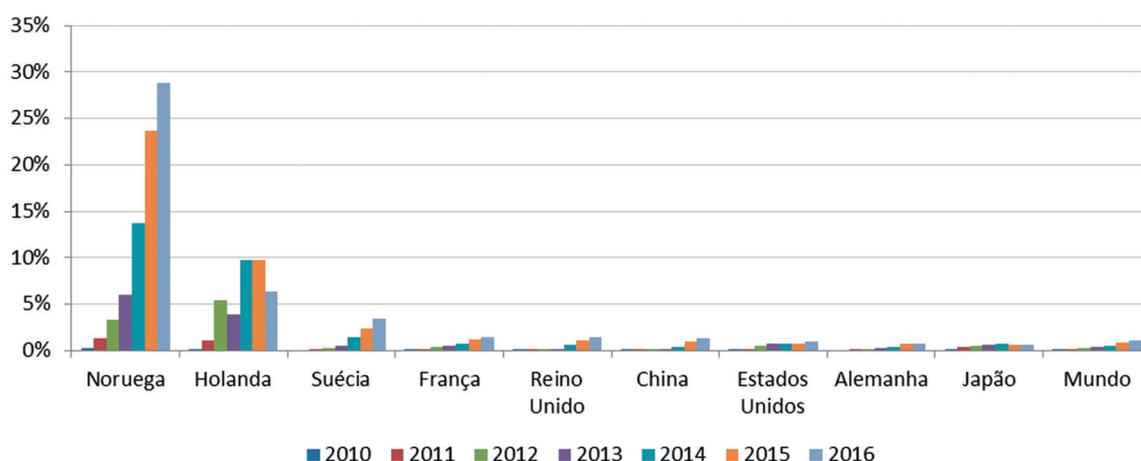


Fonte: Global EV Outlook (2017).

Em 2016, foram vendidas 750 mil unidades de BEV e PHEV, ultrapassando a marca de dois milhões de veículos. Os maiores mercados são China e Estados Unidos, sendo que o país asiático teve 336 mil veículos registrados em 2016 contra 160 mil nos Estados Unidos. Os países europeus responderam por 215 mil unidades, concentrados em poucos países: Noruega, Reino Unido, França, Alemanha, Holanda e Suécia. Dez países respondem por 95% do mercado de veículos elétricos: os seis europeus citados, China, Estados Unidos, Japão e Canadá (IEA, 2017). A Figura 14 apresenta a evolução da participação dos veículos elétricos nos principais mercados mundiais.

Segundo informações da consultoria McKinsey, enquanto em 2016 a China expandiu suas vendas de elétricos e híbridos em 69% e os Estados Unidos em 37%, a Europa só teve 7% de aumento no mesmo período. Parte dessa estagnação na Europa se explica pela queda das vendas na Holanda, em decorrência do término da concessão de incentivos em 2016.

Figura 14 – Evolução da participação de veículos elétricos (BEV + PHEV) no mercado mundial



Fonte: Global EV Outlook (2017).

As principais barreiras para a difusão dos veículos elétricos ainda estão relacionadas com o custo do veículo x custos totais (manutenção, combustível etc.), alcance e infraestrutura de recarga e serviços. A aceitação do consumidor também é uma barreira. A consultoria Roland Berger fez uma análise (BERGER, 2016) baseada no Modelo de Aceitação do Consumidor (*Customer Acceptance Model*- CAM). Esse modelo considera a percepção do consumidor em relação ao custo para diferentes tecnologias, a motivação intrínseca no seu uso, suas percepções de qualidade e riscos tecnológicos, a compreensão tecnológica de diferentes *powertrains*, a disponibilidade de EVSE e a duração de recarga. O resultado mostra que os consumidores finais apresentam uma série de restrições aos veículos elétricos, relacionadas, principalmente, a preço e segurança dos modelos, autonomia, processo de abastecimento e vida útil dos veículos.

Os custos de aquisição dos BEV ainda são superiores aos convencionais da mesma categoria. Comparando os modelos de 2017 da marca Volkswagen, na Alemanha, por exemplo, o VW Golf elétrico custa por volta de 20% acima do preço do convencional (ING Economics Department, 2017).

O item que tem maior impacto no custo do veículo é a bateria. Segundo o relatório da consultoria McKinsey (2017), de 2010 a 2016 houve uma redução de 80% nos preços das baterias, chegando a um valor médio de US\$ 227/kWh. Diz também que há projeções de que o custo alcance US\$ 100/kWh até 2030, podendo haver maior paridade nos preços com os motores de combustão interna (ICE) em algumas categorias. Essa redução poderá decorrer da substituição de materiais de alto valor agregado, melhorias de estrutura e ganhos com economia de escala (WOLFRAN e LUTSEY, 2016). O relatório da Boston Consulting Group (BCG) concluiu que 70% do custo da célula e 75% do *pack* da bateria é dependente de volume (escala), o que reforça que os custos podem chegar a esse patamar estimado de US\$ 100/kWh.

Uma comparação interessante foi feita pelo relatório da empresa ING. O custo médio do *powertrain* em modelos a combustão é de € 3.000, enquanto para o elétrico é estimado o valor de € 1.500, sem a bateria. Adicionando-se esse custo no *powertrain* elétrico (média de € 8.000 em 2017), se encontra a grande diferença de preço entre os veículos. Entretanto, os autores não só preveem a redução de custos da bateria, como um aumento do valor (média de € 1.000 a partir de 2020) dos veículos tradicionais, devido à introdução de melhorias para reduzir as emissões (ING, 2017).

Quanto aos custos de operação e abastecimento, a comparação é exclusiva para cada país, pois depende de custo da eletricidade (adoção de tarifas exclusivas para veículos, tarifas diferenciadas para horário de pico etc.), preço de combustíveis e isenções de impostos, entre outros fatores.

Segundo informações do Departamento de Energia norte-americano, o custo de manutenção de modelos BEV é inferior ao de um carro convencional, devido à menor quantidade de partes móveis, inexistência de sistema de exaustão, menor quantidade de fluidos (óleos do motor, freio, câmbio) e pouca ou nenhuma necessidade de manutenção no sistema elétrico (bateria, motor e eletrônicos associados). Estima-se que, somente na composição do *powertrain*, enquanto nos modelos a combustão há cerca de 1.400 componentes, no BEV esse número se reduz para 200 (ING, 2017).

O relatório da ING prevê que em 2024 o mercado elétrico encontrará uma paridade de preços no mercado europeu com os modelos ICE, baseado nas mudanças que devem acontecer até lá, considerando o aumento da demanda, infraestrutura, autonomia, preços e custo total de operação. Na mesma linha, também julga que, em 2035, a participação do carro elétrico no mercado europeu será de 100%. Entretanto, ainda há poucos dados comparativos, em função, principalmente, da adoção recente do carro elétrico e de amostragens limitadas.

Alguns fabricantes oferecem garantias de médio e longo prazo para componentes elétricos, o que pode sinalizar que os custos de manutenção são, de fato, inferiores. Nos Estados Unidos, os proprietários do modelo Nissan Leaf possuem, além da garantia básica, que é de três anos ou 36.000 milhas, uma garantia do sistema elétrico, de 60 meses ou 60.000 milhas, e outra para defeitos em baterias, de 96 meses ou 100.000 milhas (NISSAN, 2017).

Há incertezas em relação à vida útil das baterias, uma vez que essas têm um número limitado de ciclos de carga (um carregamento e descarregamento) e sofrem perda da capacidade com o aumento dos ciclos. As baterias íon-lítio, por exemplo, têm variações de vida útil de cinco a 16 anos e 1.000 a 20 mil ciclos (TORRESI, 2017). Muitas montadoras oferecem garantias para baterias cobrindo também sua perda de capacidade. No exemplo do Nissan Leaf, é concedida uma garantia por 96 meses ou 100 mil milhas para perda de capacidade abaixo de nove barras (66,25% de capacidade).

Em relação à autonomia, os veículos estão melhorando seu desempenho ao longo dos anos. De acordo com relatório da McKinsey, em 2017 o modelo da fabricante Tesla, por exemplo, atinge 249 milhas (398 km) com capacidade entre 24 a 30kwh, enquanto o Nissan Leaf atinge 107 milhas (171 km) com capacidade entre 60 a 75kwh.

É consenso que o número de estações de recarga, principalmente as de acesso público, precisa acompanhar o incremento de veículos elétricos. Muitas delas são de recarga rápida e estão sendo construídas em rodovias ou vias de acesso mais afastadas do tráfego local. Em 2016, estima-se que o número de pontos de recarga alcançou a marca de 2,3 milhões.

A Roland Berger (2016) adotou uma premissa em seu estudo segundo a qual no sistema rodoviário europeu deveria haver uma estação de recarga rápida a cada 60 km de estrada. Quanto aos pontos de recarga de estações públicas (nível 2), seriam necessárias 13 estações para cada 1.000 habitantes em áreas urbanas e regiões intermediárias. Considerando a população da região estudada, foi constatada a necessidade de construção de cinco milhões de estações públicas nível 2 e cerca de 7.500 do nível de recarga rápida (o estudo aponta que já existem 2.000 na Europa). Entretanto, a adoção do veículo elétrico parece trazer uma mudança de hábito no abastecimento. Segundo relatório da IEA (2017), na Noruega, país com grande penetração de BEV, os usuários usam pouco os sistemas públicos, fazendo a recarga em suas residências ou trabalho.

Esses avanços e inovações em produtos têm induzido o aumento na venda de veículos elétricos. Grandes montadoras estão investindo e apostando cada vez mais nos carros elétricos como solução iminente para a indústria: a Volvo, por exemplo, anunciou em julho de 2017 que, a partir de 2019, não ofertará mais nenhum modelo de veículo que não seja elétrico.

Em termos de tecnologia, as grandes OEM (*original equipment manufacturer*, ou fabricante original de equipamento) mundiais estão investindo em pesquisa e desenvolvimento. As montadoras alemãs investem e dominam a tecnologia há algum tempo, mas estavam se mobilizando lentamente no lançamento e comercialização de modelos, e dando ênfase ao híbrido. Nestes últimos anos, as empresas deram sinais de que irão entrar de fato na concorrência dos BEV: enquanto a Mercedes Daimler AG anunciou que investirá €10 bilhões, a Volkswagen triplicará os investimentos (€ 9 bilhões nos próximos cinco anos) em tecnologia de veículos alternativos, e afirma que planeja ter um papel principal no mercado elétrico, visando à produção anual global de um milhão de unidades em 2025, segundo informações da Bloomberg Technology (BEHRMANN e DELFS, 2017). A VW ainda prevê o lançamento de dez modelos até o final de 2018, e trinta até 2025.

Muitos consideram que essa mobilização das empresas alemãs é tardia, uma vez que a comercialização de BEV no país não se deu da maneira esperada. Ferdinand Dudenhöffer, um *expert* da área automotiva da Universidade de Duisburg-Esse, Alemanha, afirma que isto coloca em perigo a posição de dominância do país no mercado e ainda critica a insistência no diesel, afirmando que seu mercado é de apenas 5% fora da Europa, segundo informações do jornal *The Washington Post* (RADU, 2017).

Já as montadoras francesas parecem acompanhar o movimento que o país está vivenciando em torno do carro elétrico e continuam apostando nesse mercado. O foco delas é nos modelos pequenos, de menor custo. A aliança Nissan-Renault foi responsável por 75% das vendas de EV em 2015 no país, e a empresa japonesa espera que 20% de suas vendas na Europa sejam de elétricos (JATO, 2016). A aliança das empresas também domina o mercado mundial de BEV.

Nos Estados Unidos, a Tesla continua em seu planejamento para se tornar um grande líder no mercado elétrico. No final de 2015 a Ford anunciou investimentos de US\$ 4,5 bilhões até 2020, buscando lançar 13 modelos BEV em seu portfólio, 40% dos quais serão oferecidos na versão elétrica até 2020 (informações disponíveis no *site* da empresa).

As principais OEM estão buscando ter controle na produção de baterias. Neste sentido, a norte-americana Tesla iniciou, em 2014, o projeto da Gigafactory, em Nevada, EUA. Segundo o *site* da montadora, a fábrica está sendo construída em fases. Com 30% das obras finalizadas, desde 2017 já produz baterias em parceria com a japonesa Panasonic. Parte da produção destina-se a atender a seus modelos elétricos, mas também abastece as demais empresas do grupo, como Powerpacks e Powerwalls, com negócios voltados para armazenamento de energia estacionário. A parceria entre as duas empresas já é longa, mas a diferença é que a produção das baterias passou a ser feita na Gigafactory, da Tesla.

Na mesma direção, a Daimler AG inaugurou na Alemanha, em maio de 2017, uma planta para baterias de íon-lítio, com investimento de € 500 milhões. A fábrica será

a maior na Europa. Segundo informações da Bloomberg (HIRTENSTEIN, 2017), assim como a Tesla, a Daimler foca a indústria automotiva e de energia, e a Volkswagen também está estudando a construção de uma planta com essa finalidade.

Em relação aos *players* no segmento de baterias, o relatório da Roland Berger (2017) prevê que em 2018 a Panasonic liderará a participação no mercado global, com 33%, seguido pela chinesa BYD, com 18%, a LG Chem, com 17%, e a Samsung, com 9%. Isto demonstra a grande dominância asiática na área.

Segundo informações do relatório da ING (2017), há previsão de que o modelo de negócio para os veículos elétricos altere a relação entre as OEM e sua cadeia de suprimentos. Os autores citam o exemplo do *powertrain*. Enquanto nos modelos tradicionais os fornecedores vendiam peças e partes para as montadoras, numa integração vertical, no mundo elétrico empresas como a Bosch, Continental e LG Chem estão desenvolvendo todo o *powertrain*. A empresa coreana já fornece praticamente todos os componentes do modelo Bolt, da GM.

Ainda sobre o *powertrain*, a ING faz um prognóstico de que, devido a este aumento de concorrência, o preço do componente deve cair e o produto deve se tornar comoditizado. Assim, os países europeus, principalmente a indústria alemã, correm o risco de perder a vantagem competitiva no mercado automotivo. Atualmente, as baterias – principal item do veículo –, têm sua produção e *know-how* dominados pelos países asiáticos, o que pressiona ainda mais as empresas europeias.

Além disso, a China está movimentando o mercado global. As montadoras internacionais buscam entrar nesse mercado crescente, e a adoção do veículo elétrico no país pode mudar o planejamento das fabricantes mundiais em torno da eletromobilidade. Uma proposta regulatória, divulgada pelo Escritório de Assuntos Legislativos do Gabinete Chinês em 2016 e reiterada em junho de 2017, se colocada em vigor, imporá a todos os fabricantes uma cota de 8% de suas vendas com veículos elétricos e híbridos a partir de 2018, aumentando para 10% em 2019 e 12% em 2020. As regras preveem severas penalidades para quem não cumprir essas cotas, incluindo o cancelamento de licenças de venda de carros convencionais na China, o maior mercado de automóveis do mundo (MARTINA e SHIROUZU, 2017).

Apesar de a medida ainda não ter sido confirmada pelo governo chinês, as montadoras globais estão se preparando, e muitas parcerias foram anunciadas em 2017. Essas parcerias são em forma de *joint ventures* (JV) na regra de 50:50, ou seja, a OEM estrangeira pode ter 50% de participação máxima. Muitas montadoras internacionais já possuem JV com empresas locais, na comercialização e produção de modelos convencionais a combustão. Segundo informações da Bloomberg News (2017), o governo chinês tem dado sinais de que poderá rever essa regra, flexibilizando-a, o que vem atraindo ainda mais as montadoras, que não querem ficar de fora do mercado chinês.

A GM e a chinesa SAIC firmaram parceria em 1997. As empresas fundaram, em 2011, a JV SAIC-GM-Wuling, que se tornou a maior fabricante de microvans na China, com a marca Baojun, e em 2017 lançaram o primeiro veículo totalmente elétrico. A Beijing Benz Automotive Co. Ltd. (BBAC) é uma JV da Daimler com a BAIC Motors, estabelecida desde 2005. Em junho de 2017, essa parceria entre as empresas focou o mercado elétrico, e a Daimler passou a ter participação minoritária na Beijing Electric Vehicle Co., Ltd. (BJEV), empresa do grupo BAIC.

A Volkswagen, maior montadora estrangeira no mercado chinês, segundo matéria da agência de notícias Reuters (2017), firmou *joint venture* com a empresa chinesa JAC (*Anhui Jianghuai Automobile Group*), prevendo uma produção anual de 100.000 veículos elétricos. Em agosto de 2017, a Ford e a chinesa Anhui Zotye Automobile avançaram negociações para uma parceria. Naquele mesmo mês, a Aliança Renault-Nissan também anunciou a JV e GT New Energy Automotive, em parceria com a Dongfeng Motor Group, prevendo uma capacidade de 120.000 veículos a partir de 2019.

O armazenamento de energia é o maior desafio tecnológico do setor. Segundo Torresi, em relação ao grau de desenvolvimento, essa tecnologia (veicular) está no estágio entre desenvolvida e madura. As baterias de íon-lítio são as mais utilizadas para veículos e devem permanecer dominantes a médio prazo (WOLFRAN e LUTSEY, 2016). São necessários, ainda, mais estudos sobre vida útil e perda de capacidade, além do enfrentamento de desafios na gestão da performance dessa bateria em diferentes condições termais, procedimentos padronizados em casos de incêndio da bateria e tempo de carga reduzido, entre outras questões (HEV TCP-IEA, 2016).

Nas baterias de íon-lítio comercializadas, o material mais utilizado no eletrodo negativo é o grafite e, no positivo, algum material baseado em óxido metálico de lítio, geralmente cobalto e manganês. No médio prazo, as baterias íon-lítio NCA (óxido de lítio níquel cobalto alumínio) e NMC (óxido de lítio níquel manganês cobalto) dominarão o mercado para veículos elétricos e híbridos, prevendo-se que a NMC alcance 70% de participação no mercado global no período, segundo um relatório da empresa Roland Berger (2017), o qual ainda prevê que haverá poucas mudanças radicais nas baterias íon-lítio até o final deste século.

Há grandes reservas mundiais para suprimento de lítio, porém elas apresentam diferenças no processamento que impactam no custo (HEV TCP-IEA, 2016). Atualmente, um terço do mercado mundial é suprido pelo Chile e um terço, pela Austrália. Em relação aos demais materiais utilizados, os que mais preocupam são o grafite e o cobalto, devido a possíveis instabilidades políticas e concentração em poucos *players* – 95% das reservas naturais de grafite estão na China, e quase metade da demanda mundial de cobalto é suprida pelo Congo (BERGER, 2017).

Há muitos estudos sobre as tecnologias que vão além das baterias íon-lítio, sendo que as principais apostas estão na lítio-ar (Li-O) e nas lítio-enxofre (Li-S). Pesquisadores acreditam que, com essas soluções, podem ser condensadas altas densidades de energia em menor volume sem comprometer a segurança. Há inúmeros desafios práticos que precisam ser vencidos, e a comercialização desses modelos não deve ocorrer na próxima década (WOLFRAN e LUTSEY, 2016).

Há estudos para a utilização do silício (Si) no anodo, substituindo o grafite. A capacidade específica teórica do silício é dez vezes superior, mas ainda enfrenta dificuldades, pois o material sofre deformações nos ciclos de recarga. Estudam-se técnicas usando nanotecnologia para tentar superar este problema, mas ainda não há aplicação comercial, de acordo com informações de programa de cooperação IA-HEV da IEA (2017).

A reciclagem das baterias deverá ser mais bem explorada. É tecnicamente possível fazer a reciclagem das baterias íon-lítio, mas ainda não há recuperação em larga escala. Os principais sistemas de descarte atuais destroem a célula de forma mecânica ou térmica, fazendo com que muitos materiais não sejam reaproveitados e grande parte da bateria, descartada.

Alguns componentes podem ter valor comercial, como os óxidos de lítio/alumínio, que podem ser usados como aditivos na produção de cimento. A operação comercial de reciclagem de componentes de alto valor agregado ainda é um desafio para a indústria (HEV TCP-IEA, 2016). Alguns estudos de fabricantes consideram um sistema fechado de reciclagem nas próprias baterias instaladas nos veículos, reaproveitando os materiais para reutilização. Atualmente, o lítio é responsável por 10% do total custo de produção do componente, não demonstrando grande viabilidade para desenvolvimento de um sistema de reciclagem no curto prazo, da mesma forma que o cobalto, o ferro e o níquel, segundo informações da EEA de 2016.

Por outro lado, há fortes movimentos, com parceiros articulados tecnológica e financeiramente, para desenvolvimento de terras raras, que poderiam ser partes integrantes de componentes de baterias, e de ímãs, que atualmente têm sua produção extremamente concentrada na China e são fundamentais para uma motorização elétrica mais eficiente.⁴

Há estudos sobre materiais estruturais avançados (compósitos) e processos para a sua fabricação, bem como de fibras de carbono verde, que podem ser produzidas a partir da lignina ou celulose, e preparação de compostos e ligas de terras raras, principalmente para aplicação em motores elétricos de desempenho elevado e baixo peso (CARVALHO, 2017).

4. Os motores elétricos atuais não possuem ímãs, devido a questões de custo e peso, mas estes podem deixar os motores com eficiência muito maior, na transformação de energia elétrica em mecânica. Ímãs são também utilizados em outros dispositivos relacionados a energias mais limpas – um gerador de energia eólica possui aproximadamente duas toneladas de ímãs.

Segundo informações de IA-HEV, atualmente os sistemas eletrônicos de potência respondem por 20% a 35% da composição de um veículo convencional. No BEV, a proporção deverá ser superior a 70%, com 70 unidades de controle e mais de 13.000 dispositivos eletrônicos. A previsão do custo de manufatura é de 50% do custo total do veículo até 2030. Esperam-se avanços na arquitetura eletrônica, com a utilização de sistemas e componentes modulares, flexíveis e padronizados, que proporcionem produção em massa.

Em relação aos FCV, há modelos com tecnologia de célula de hidrogênio (HFCEV) comercializados no mercado no Japão, Europa e Estados Unidos. Segundo relatório da ICCT (WOLFRAN e LUTSEY, 2016), espera-se um aumento da eficiência energética das células combustíveis de 53 a 55% até 2030. Os principais desafios no curto e médio prazo estão relacionados ao custo, sendo que a célula corresponde a 50 a 60% do custo total do veículo.

Os custos associados ao sistema da célula são altamente dependentes da taxa de produção e dos efeitos de escala. Uma tendência tecnológica é o uso de capacidades de armazenamento elétrico V2X (*vehicle-to-everything*) para fins além da recarga do veículo, como a venda de energia pelo usuário à rede elétrica V2G (*vehicle-to-grid*), abastecimento de energia para residência V2H (*vehicle-to-home*), uso como gerador de energia V2L (*vehicle-to-load*) e suprimento de outro BEV V2V (*vehicle-to-vehicle*) (HEV TCP-IEA, 2016).

O Japão já possui tecnologias V2H desde 2015 para situações emergenciais, e alguns governos locais incentivam seu uso para reduzir impactos no horário de pico da rede elétrica. Entretanto, há desafios para superar os efeitos que este tipo de uso causa no ciclo de vida da bateria. Além disso, existem estudos que indicam que aplicações do tipo V2G podem ser atrativas para países que possuem maiores participações de renováveis em seu *mix* de energia.

2.2.2 Compartilhamento

Os modelos de negócio dos programas de compartilhamento atuais são bem diversificados. Além de formas tradicionais, em que a empresa provê os veículos, há variações como o *peer-to-peer*, que permite o aluguel de carros privados de usuários. A empresa, neste caso, age como um facilitador e os usuários são os responsáveis pela manutenção do veículo, diferentemente do modelo tradicional, em que a empresa se responsabiliza pela limpeza e o abastecimento de combustível, entre outros pontos.

São diversas as formas de cobrança da utilização, podendo ser por hora, por quilometragem ou por planos. Muitas empresas trabalham com taxas de inscrição, taxa anual ou mesmo mensalidades. Algumas preveem penalidades em casos de cancelamentos,

atraso ou irregularidade na devolução. Há ainda mecanismos mais avançados, que permitem descontos em horários fora de pico e passes diário ou mensais, com limites de hora e distância.

Em relação à estrutura organizacional, a maioria dos programas atuais tem fins lucrativos. Há algumas iniciativas que não visam ao lucro e acabam tendo isenções de taxas, prestando um serviço de interesse público e social. Há ainda cooperativas nas quais os membros gerem e têm participação no negócio. Há também exemplos de parcerias entre empresas de aluguel e fabricantes de veículos nos serviços de *carsharing*. Por exemplo, a iniciativa alemã Car2Go, subsidiária da fabricante Daimler AG, que firmou *joint venture* com a empresa de aluguel de automóveis Europcar com o objetivo de promover a Car2go em algumas cidades europeias.

No que se refere à forma operacional, segundo definição da Agência de Transporte de São Francisco, nos Estados Unidos (2013), a operação pode ser tradicional ou *round-trip*, em que a retirada e a entrega são feitas no mesmo ponto, e *one-way*, que permite a entrega em lugar diferente. No caso de operações *peer-to-peer*, os pontos de acesso são descentralizados, uma vez que dependem da localização dos usuários.

Segundo relatório da Associação Europeia de Fabricantes de Automóveis (ACEA) (LE VINE, ZOLFAGHARI e POLAK, 2014), há ainda operações flexíveis, que permitem vários percursos *one-way* dentro de uma determinada região (*point-to-point free-floating*), nos quais o acesso aos veículos é imediato ou mediante reserva, minutos antes da utilização. Essas modalidades que permitem a devolução do carro em pontos diferentes podem trazer dificuldades logísticas, quando há acumulação e procura de veículos em um mesmo ponto.

O relatório da ACEA apresentou um perfil dominante de usuários de sistemas *carsharing* da categoria *round-trip*: cerca de 50% seriam homens, instruídos, entre 25 a 45 anos, morando sozinho e sem filhos, de classe média ou alta, vivendo em áreas urbanas, que não possuem carro e fazem um uso de moderado a alto dos sistemas de transporte públicos e alternativos (bicicleta ou caminhada). Foram citadas as motivações dos usuários de alguns sistemas, que seriam, predominantemente, atreladas a custos e conveniência – poucos mencionaram razões ambientais. Além disso, muitos usuários utilizam os veículos para fins profissionais.

A tendência é que as principais tecnologias associadas ao mercado automotivo (veículos conectados, autônomos, BEV) terão sinergia com os sistemas de compartilhamento. Um artigo da consultoria Deloitte (COEWIN *et al.*, 2015) cita uma tendência em que a adoção dos veículos autônomos poderá ser auxiliada pelos serviços de *carsharing*. Essas empresas podem obter vantagens com a direção autônoma, uma vez que poderão ter maior controle de suas frotas, captar um público-alvo maior (pessoas que não dirigem, por exemplo), entre outras sinergias.

Em contrapartida, associados a esse sistema, os veículos autônomos poderiam ganhar escala e encontrar uma solução viável para as questões relativas à introdução da tecnologia, como o alto custo inicial e a identificação rápida de eventuais problemas nos primeiros modelos lançados, já que os fabricantes teriam acesso fácil a dados de desempenho visto que as frotas comerciais costumam fazer um controle rígido de seus carros.

Veículos cada vez mais conectados são vantajosos para a melhoria da qualidade dos sistemas de compartilhamento, tanto do ponto de vista do usuário quanto do operador. Os motoristas podem receber alertas e comunicações em tempo real, que facilitam a direção e reduzem riscos. Os modelos elétricos estão sendo cada vez mais adotados pelas empresas de *carsharing* devido a inúmeros fatores, como a automatização e os sistemas inteligentes que esses veículos já possuem (o que facilita o controle da frota), custos operacionais, restrições de emissão em áreas urbanas, incentivos governamentais de implantação, entre outros.

A integração vertical de fabricantes automotivos e operadores de *carsharing* é uma tendência que pode beneficiar a evolução de veículos com tecnologias e sistemas já integrados de fábrica para operarem nessa função de compartilhamento, além de poderem vir configurados de acordo com as condições de operação.

Outras inovações tecnológicas devem aprimorar os serviços de compartilhamento. Por exemplo, a empresa Siemens está desenvolvendo um serviço que prevê a disponibilidade de veículos de diferentes empresas, em diferentes horários e lugares com um algoritmo que utiliza as informações em tempo real dos veículos compartilhados para fazer a previsão. Segundo informações da Phys (2015), essa ferramenta será implementada com outra plataforma disponibilizada pela empresa, a Sin Mobility Connect, que auxilia o usuário a planejar rotas, considerando lugar e horário, com outras formas de transporte.

2.2.3 Veículos conectados e autônomos

Após décadas de investimentos em eletrônica e sistemas computacionais embarcados, os veículos de hoje oferecem muitas características parcialmente autônomas, como sistemas de partida, câmbio automático, controle de velocidade de cruzeiro adaptativo, antiderrapamento, antibloqueio de frenagens, antirreclamação nas saídas em ladeiras e similares. As novas tecnologias emergentes permitirão ainda mais conectividade veículo-a-veículo e veículo com a infraestrutura das cidades e estradas, tornando os carros conectados uma etapa para um salto em direção a carros totalmente autônomos. A Tabela 4 apresenta os diferentes níveis de evolução em direção aos carros autônomos.

Tabela 4 – Níveis de automação em condução de veículos

Nível 1: Automação de funções específicas	Automação de funções de controle específicas, como controle de velocidade de cruzeiro, orientação de pista e estacionamento paralelo automatizado. Os motoristas estão totalmente envolvidos e responsáveis pelo controle geral do veículo (mãos no volante e pé no pedal em todos os momentos).
Nível 2: Automação de funções combinadas	Automação de funções de controle múltiplas e integradas, como controle de velocidade de cruzeiro adaptativo com centralização de pista. Os motoristas são responsáveis pelo monitoramento da estrada e espera-se que estejam disponíveis para controle em todos os momentos, mas em determinadas condições pode desativar-se da operação do veículo (mãos fora do volante e pedal pedal simultaneamente).
Nível 3: Automação de condução autônoma limitada	Os condutores podem ceder todas as funções críticas de segurança sob certas condições ao veículo e permanecer atento para monitorar quando as condições exigem a transição para o controle motorista.
Nível 4: Condução autônoma sob condições específicas	Os veículos podem desempenhar todas as funções de condução sob condições específicas.
Nível 5: Automação para condução autônoma completa	Os veículos podem desempenhar todas as funções de condução em todas as vias normais, estradas e em qualquer condição do ambiente

Fonte: Litman (2017).

A indústria automotiva está desenvolvendo soluções baseadas em sensores para aumentar a segurança do veículo em zonas de velocidade onde o erro do condutor é mais comum: em velocidades mais baixas, ou quando o motorista está preso no trânsito e em velocidades mais altas, quando o motorista está navegando em um longo trecho de rodovia. Esses sistemas, conhecidos como *advanced driver assist systems* (ADAS), usam uma combinação de sensores avançados, como câmeras estéreo e radares de curto e longo alcance, combinados com atuadores, unidades de controle e *softwares* de integração, para permitir que os carros monitorem seu entorno e interajam com ele. Algumas soluções ADAS, como sistemas de alerta, controle de velocidade de cruzeiro adaptativo, alertas de *backup* e assistência de estacionamento, já se encontram disponíveis e muitos outros serão desenvolvidos nos próximos anos (KPMG, 2013).

Esses desenvolvimentos acumulados, que muitas vezes representam inovações incrementais, estão abrindo espaço para inovações mais radicais relacionadas aos veículos autônomos. A próxima geração de sistemas de assistência ao motorista provavelmente oferecerá maior autonomia ao veículo a baixas velocidades e poderá reduzir a incidência de falhas de baixo impacto. Esses sistemas baseados em sensores oferecem diferentes graus de assistência ao condutor, mas, na sua forma atual, ainda não são capazes de fornecer experiências de condução autônoma que sejam completas e competitivas para aplicação no mercado.

Atualmente muitos veículos novos contam com alguns recursos de automação de nível 1, como controle de velocidade de cruzeiro, aviso de obstrução e estacionamento paralelo. Alguns fabricantes, como a Tesla, agora oferecem recursos de nível 2,

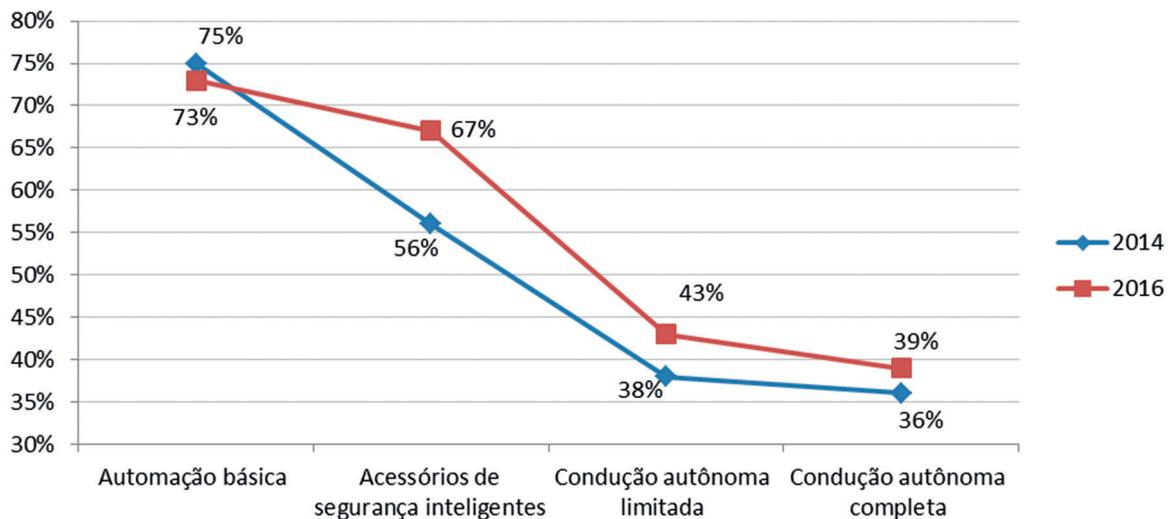
como orientação de pista automatizada, prevenção de acidentes e detecção de fadiga do condutor. Os veículos de teste de nível 3 da Google percorrem centenas de milhares de quilômetros em condições restritas: rotas especialmente mapeadas, condições climáticas justas e motoristas capazes de intervir quando necessário. Alguns fabricantes pretendem vender veículos automáticos de nível 4 dentro de alguns anos, mas os detalhes são incertos, e as primeiras versões provavelmente estarão limitadas a ambientes controlados, como as rodovias (LITMAN, 2017).

Apesar dos grandes progressos, é necessária uma significativa melhoria tecnológica para se chegar à operação de nível 4 sem restrições. Uma vez que uma falha pode ser fatal para os ocupantes do veículo e outros usuários da estrada, a condução automática tem requisitos de alto desempenho. Sensores, computadores e *softwares* devem ser robustos, redundantes e resistentes ao mau uso. Anos de desenvolvimento e testes serão necessários antes que os poderes reguladores e os potenciais usuários ganhem confiança de que os veículos de nível 4 podem operar conforme o esperado em todas as condições.

A capacidade de condução autônoma provavelmente aumentará os preços de compra do veículo em milhares de dólares e poderá exigir centenas de dólares em taxas anuais de assinatura para serviços especiais de navegação e mapeamento. Os principais sensores dos carros autônomos, que se localizam no teto, são os *light detection and ranging* (LIDAR), que funcionam à base de laser. A resolução e o nível de detalhes exigidos para a segurança da condução implicam alto custo – há radares de US\$ 80.000,00. Esse nível de preço de componentes (ainda adicionado a outros sensores, baterias, processamento etc.) pode elevar o preço dos primeiros veículos autônomos a US\$ 400.000,00.

Embora os veículos autônomos possam proporcionar grandes benefícios a alguns usuários (usuários de alta renda, passageiros de automóveis de longa distância e motoristas comerciais), não está claro que parcela dos motoristas considerará que os benefícios valem os custos adicionais. Uma pesquisa recente (GIFFI *et al.*, 2017) revela que uma parcela significativa dos consumidores nos Estados Unidos ainda não admite pagar um preço prêmio pelos recursos da conectividade. Apesar de ter crescido a aceitação do carro autônomo como alternativa mais onerosa que os atuais carros, a disposição para pagar um preço prêmio pelas tecnologias relacionadas a esse tipo de veículo ainda são baixas, conforme aponta a Figura 15.

Figura 15 – Percentual dos consumidores nos EUA interessados em diferentes níveis de automação de veículos, 2016 vs. 2014



Fonte: Giffiet et al. (2017).

As limitações atuais em relação ao desenvolvimento de sensores para veículos autônomos são de duas naturezas (KPMG, 2013):

- **Percepção do ambiente externo:** até o momento, a fusão de sensores disponíveis e inteligência artificial não tem sido capaz de “ver” e entender os arredores do veículo tão precisamente quanto um ser humano. Os seres humanos usam uma combinação de memórias armazenadas e entrada sensorial para interpretar eventos à medida que ocorrem e antecipar cenários prováveis. A inteligência artificial ainda não pode fornecer esse nível de pensamento inferencial, nem pode se comunicar em tempo real com o meio ambiente.
- **Custo:** criar uma visão de 360 graus do ambiente do veículo requer uma combinação de sensores e pode custar mais do que os consumidores estão dispostos a pagar. Os sistemas baseados em detecção e remoção de luz (LIDAR) oferecem imagens de 360 graus, mas são complexos, caros e ainda não estão prontos para o mercado. As partes interessadas da cadeia de valor precisarão ter um caso comercial claro e convincente antes de investir nesta tecnologia, que também requer infraestrutura externa ao veículo (transmissão de dados, por exemplo).

Na indústria automotiva, surgiram duas entidades para testar e desenvolver comunicações V2V e V2I. A *Vehicle Infrastructure Integration Coalition* (VII-C) é uma coalizão entre departamentos federais e estaduais de transporte e fabricantes de automóveis dos Estados Unidos. Em 2009, a coalizão publicou os resultados do teste de conceito de veículo conectado, e atualmente está focada em questões relacionadas à legislação e

políticas públicas que devem ser resolvidas antes que a tecnologia possa ser implantada. Outro grupo, a *Crash Avoidance Metrics Partnership* (CAMP), realizou clínicas de condutores em seis locais dos Estados Unidos como parte de um piloto de segurança conectado.

Ainda segundo estudo da KPMG (2013), para avançar para além da fase de teste e preparar o estágio para a condução autônoma de veículos, uma série de obstáculos deve ser superada em relação à conectividade:

- **Massa crítica:** uma vez que a comunicação V2V requer outros veículos equipados de forma semelhante para enviar e receber sinais, a tecnologia não alcançará seu potencial até que a capacidade seja onipresente. Isto certamente exigirá soluções econômicas e a capacidade de adaptar os veículos existentes.
- **Modificações na infraestrutura:** a comunicação V2I para segurança ativa exigirá uma infraestrutura equipada com transceptores compatíveis com DSRC, e o custo de construção dessa infraestrutura pode apresentar barreiras. Uma solução intermediária pode se concentrar apenas em evitar colisão em alto nível ou outras interseções críticas. Outra solução poderia ser usar a tecnologia de comunicação via celular e sua infraestrutura existente, para comunicação de longo alcance, e DSRC, para intervalos mais curtos. No entanto, existem algumas falhas inerentes à tecnologia celular para uso em sistemas de segurança ativos: sofre problemas de latência (é muito lento) e tem restrições de largura de banda, o que reduz sua viabilidade para aplicativos críticos de segurança.
- **Dependência de sensores:** embora as soluções de veículos conectados possam se comunicar através de aplicações de conectividade via rede com o ambiente externo, as soluções baseadas em sensores precisarão coexistir para cobrir situações que envolvam obstáculos – obstruções na estrada ou pedestres, por exemplo – que não estariam conectados e se comunicando com a rede.

De fato, espera-se que a convergência entre as tecnologias de sensores, inteligência artificial e conectividade sejam os padrões que deverão impulsionar o desenvolvimento tecnológico para carros autônomos. A convergência das tecnologias baseadas em comunicação e sensor poderia oferecer mais segurança, mobilidade e capacidade de condução autônoma do que qualquer abordagem poderia fazer por conta própria.

2.3 Experiência brasileira

As empresas automotivas radicadas no Brasil têm comportamento tecnológico bastante tradicional e defensivo. Não há pesquisa ou engenharia de veículos híbridos ou elétricos puros nas montadoras. Rigorosamente, a atividade relativa à motorização é a adequação para o etanol e o ajuste da injeção eletrônica para etanol e *flex*, o que requer experiência (conhecimento tácito) e muitas horas de testes. O Brasil possui boa engenharia de veículos focada em projeto de derivados a partir de plataformas de motor, câmbio e suspensão, projetados centralmente nos países de origem das montadoras.

As experiências mais contemporâneas neste sentido são extremamente limitadas. Algumas empresas, utilizando a regulação do setor elétrico, realizam projetos de P&D ANEEL, mas estes são tímidos, sugerem mais uma medida burocrática para cumprir a regulamentação e evitar glosa de projetos do que evidenciam firme estratégia empresarial, como parece ser o caso de Itaipu e seu carro elétrico. Os fabricantes nacionais de baterias não mostram movimentos rumo a baterias condizentes com a eletrificação veicular, mantendo-se na tradicional bateria chumbo-ácido.

Há poucas perspectivas de que, mesmo no horizonte de dez anos, haja uma forte mudança para mercado de massa de veículos com outra motorização que não a de combustão interna. Os fatores limitantes são o preço dos veículos, a utilização de etanol, que sempre pode ser utilizado como parte de política ambiental, e os investimentos necessários em infraestrutura para carregamento.

Há algumas experiências localizadas, como os trólebus em algumas cidades com tecnologia tradicional – ou seja, com energia capturada da rede elétrica, sem armazenagem – e experiências muito embrionárias com ônibus elétricos a bateria. Algumas cidades iniciam projetos para compartilhamento de veículos elétricos ao estilo de Paris. A Eletropaulo contratou junto ao Instituto de Eletricidade e Energia da USP (IEE) um estudo sobre impactos da eletrificação da frota de veículos na rede de energia na cidade de São Paulo. Não parece ser viável – e talvez nem mesmo desejável – introduzir no Brasil políticas semelhantes às de outros países, baseadas em fortes incentivos.

Os países que introduzem fortes incentivos o fazem para beneficiar empresas nacionais (caso da França, por exemplo) ou para atingir metas de emissões e poluição, caso típico dos países europeus. O Brasil não tem montadoras nacionais disputando hegemonia de design dominante nem desafios semelhantes para cumprir seus compromissos ambientais, pois o etanol como combustível parece resolver boa parte dos problemas ligados às emissões veiculares, particularmente na pegada de carbono e na emissão de particulados.

Assim, os principais fatores indutores (*drivers*) para mudança rumo à eletrificação não se encontram presentes no Brasil. Evidentemente, sempre haverá nichos, como os veículos elétricos para *carsharing*, uma vez que são mais práticos para essa função, dadas as características de seu carregamento, ou para frotas específicas, ou também para uma pequena parcela da população com poder aquisitivo para diferenciação pessoal por meio de veículos.

A perspectiva que parece mais realista para os veículos produzidos e vendidos no Brasil é a mudança incremental via maior absorção de eletrônica embarcada; a introdução de motores a combustão mais eficientes projetados no exterior (três cilindros, turbo etc.); algum aumento de carros híbridos importados ou eventualmente montados localmente. Os híbridos contornam o problema da difusão da infraestrutura de carregamento, podendo vir a se difundir mais rapidamente do que os elétricos não híbridos.

O aumento de eletrônica embarcada tende a levar ao aumento das importações no segmento, pois a estrutura industrial brasileira é débil em fabricação de componentes eletrônicos mais avançados.

Os esquemas de compartilhamento devem aumentar, mesmo com uso de veículos com motorização convencional. Para esquemas tipo Autolib francês, veículos elétricos são mais propícios, pois o carregamento energético é mais simples, mas nada impede de realizar esquemas de *carsharing* com veículos a combustão interna, ficando o motorista responsável pelo abastecimento.

Considerando todos estes fatores, podem ser delineados três cenários para o mercado brasileiro no horizonte de dez anos, os quais serão descritos a seguir.

2.3.1 Cenário 1: foco no etanol

Este primeiro cenário pressupõe muito poucas alterações do quadro atual. O veículo *flex* continuaria dominando o mercado nacional na categoria leve.

Considerando o contexto atual e global de preocupação com os efeitos de emissões, mesmo com o etanol pertencendo a uma categoria de produtos mais sustentáveis, eventualmente haveria uma pressão ainda maior para melhoras de produtividades no processo de fabricação e de eficiência de motor. Outro requisito básico seria a garantia no abastecimento do etanol, tanto do ponto de vista de demanda quanto de competitividade (*versus* gasolina).

As principais vantagens mapeadas neste cenário seriam o aproveitamento da base atual e a importância da indústria sucroenergética, a sinergia com o mercado norte-americano e os investimentos públicos inferiores em longo prazo (comparados com cenários de adoção de nova tecnologia).

Uma das principais questões relacionadas a esse cenário é referente aos esforços que serão necessários para o equacionamento e a garantia de oferta de açúcar e etanol. Neste sentido, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) realizou um estudo considerando três cenários de oferta de etanol (crescimento baixo, médio e alto) até 2030, analisando uma série de premissas (com dados até 2015) detalhadas no relatório (EPE, 2016). O resultado final mostra que, em 2025, seriam necessárias importações de etanol num cenário de crescimento baixo, e em 2030, tanto no baixo quanto no médio, haveria *déficits* da ordem de três a sete bilhões de litros por ano. O único cenário diferente seria o alto crescimento, que além de contar com valores maiores nas premissas de incentivo, considera o surgimento de projetos novos até 2030 (capacidades novas que não estavam mapeadas e/ou previstas) e maior produtividade agrícola, entre outros.

Em um relatório sobre perspectivas do etanol no transporte (AMARAL, 2016), a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) ressalta que a indústria

do etanol tem o desafio de previsibilidade da demanda: papel da relação de preços, da eficiência relativa e disponibilidade de produtos. O trabalho aponta ainda alguns fatores essenciais, como o salto tecnológico em produção, aumento da produtividade, preço competitivo frente à gasolina, ações conjuntas entre atores da cadeia e governo e melhorias na logística de distribuição.

A competitividade do etanol está bastante relacionada com ganhos de eficiência e produtividade, majoritariamente na lavoura. Segundo Santos (2016), duas frentes de tecnologias incrementais poderiam ser adotadas e trariam retornos de grande impacto na fase agrícola: uma focada em “pesquisa e inovação que disponibilizam insumos e aperfeiçoam técnicas de cultivo, mecanização do plantio e corte da cana-de-açúcar” e outra em que se destaque o “desenvolvimento de equipamentos, novos insumos industriais e rotas revolucionárias de produção do etanol”. A adoção de tecnologia (considerando a cana convencional atual) poderia ter ganhos de 12 a 15% em rendimento médio na fase de plantio e 12% na fase de colheita.

O autor ressalta que esses ganhos são apenas na fase agrícola e independentes da destinação da cana, seja para produção de etanol (primeira ou segunda geração) ou açúcar, seja para geração de energia. A fase industrial também pode ter ganhos de eficiência, desde a eficiência em processos, uso de biotecnologia (leveduras e enzimas), até o processamento de etanol de segunda geração.

O etanol de segunda geração, ou 2G, tem essa denominação em razão da sua obtenção a partir de um processo industrial com etapas físico-químicas e biológicas de transformação de fibras vegetais, geralmente materiais lignocelulósicos (SANTOS, 2016). Na produção a partir de cana, são utilizados os coprodutos (atualmente empregados na cogeração de energia), obtendo o etanol celulósico. Dentre os benefícios do produto, pode ser destacado o aumento da fabricação de etanol em até 50%, sem contar com a ampliação da área de cultivo e a produção contínua, mesmo na entressafra, segundo informações da empresa Raízen, que possui uma planta instalada no interior de São Paulo focada na produção desse tipo de biocombustível.

Além de todo esse complexo contexto da indústria de etanol, foram identificadas outras desvantagens ou problemas na materialização do cenário 1, que estão associadas ao isolamento do Brasil em relação à adoção de tecnologia de *powertrain* e eventuais perdas de oportunidades associadas a demanda de consumidores por veículos com diferentes tecnologias.

A indústria automotiva é uma das mais globalizadas em termos de processos produtivos e, principalmente, produtos. Atualmente, o veículo elétrico tem intenso espaço na mídia e destaque nos principais salões de veículos do mundo. Considerando a possibilidade de sucesso comercial do BEV nos próximos dez anos, há o risco de que a indústria nacional esteja oferecendo um produto fora das expectativas dos consumidores. Extrapolando esta questão, poderia haver um aumento de importação de veículos

elétricos e híbridos – logicamente, a expressividade do número de veículos dependeria do aumento de estações de recarga e de um alto investimento atrelado.

A questão do isolamento frente às tendências de eletrificação tem uma série de riscos associados. Fazendo uma análise de equivalência em relação ao estudo da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) anteriormente citado, o isolamento poderia levar à diminuição do número de *players* no mercado brasileiro, com a consequente redução de investimentos e da escala de produção no país.

A introdução gradual do veículo elétrico leva a uma dependência de tecnologia. O relatório ainda afirma que, neste cenário, uma “inércia no desenvolvimento de materiais, especialmente da nanotecnologia, compatível com níveis competitivos, torna o Brasil mais dependentes de importações nesse segmento”, o que vai deixando a produção brasileira ainda menos atrativa.

O resultado poderia ser um atraso relativo na tomada de ações no Brasil em um cenário global eletrificado, com pouco ou nenhum desenvolvimento tecnológico capaz de competir com os avanços obtidos em outros mercados. E esse risco é real mesmo considerando um período de dez anos, face aos avanços tecnológicos e de regulação (em apoio ao elétrico) nos últimos anos em grandes mercados de automóveis.

2.3.2 Cenário 2: desenvolvimento de um veículo híbrido etanol/elétrico

Este cenário pressupõe a introdução de modelos híbridos elétricos no mercado nacional, combinados com motores *flex* de veículos. O nicho considerado mais viável, pelo menos numa fase introdutória, seria a categoria SUV ou modelos sedan luxo, cujos preços estão na faixa de R\$ 90.000,00 a R\$ 150.000,00. Dois condicionantes principais sustentam essa premissa: os principais modelos híbridos atualmente comercializados no País (importados) ficam nessa faixa de venda, e poderia haver maiores esforços por parte das montadoras para investir nessa categoria, uma vez que têm dificuldades para alcançar níveis de emissões mais rígidos.

O tipo de hibridização mais defendido é o padrão HEV, que usa o motor elétrico para suprir o veículo quando ele está parado, usando sistema *start-stop*, ou frenagem recuperativa, cuja principal característica é que a bateria não é alimentada por uma fonte externa, e sim pelo próprio uso do veículo.

Confirmando essa tendência, a Toyota anunciou, no Salão de Automóveis de Tóquio em outubro de 2017, que a montadora pretende lançar no mercado nacional o primeiro híbrido movido a etanol. Há indicações de que o modelo a ser adotado seria um utilitário esportivo. Não foi explicitado quando este modelo estaria disponível no mercado brasileiro, mas a tendência mais próxima seria a partir de 2019.

As demais premissas desse cenário foram baseadas naquilo que muitos especialistas e integrantes do setor automotivo atuantes no Brasil estão defendendo. A Rota 2030 ainda não definiu com clareza a questão da eletrificação, mas há sinais de que esse tipo de hibridização seria contemplado no novo regime, com incentivos para as montadoras que desenvolverem essa solução.

A adoção deste cenário dependerá de esforços das partes interessadas (*stakeholders*) da cadeia. As montadoras e empresas precisarão investir, uma vez que deverão fazer a adaptação do sistema híbrido para motores *flex*. Executivos entrevistados para este documento afirmaram que essas alterações não seriam complexas, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro, sendo bastante plausível que alguns modelos sejam lançados nos próximos dez anos. Outras questões pertinentes seriam eventuais desenvolvimentos/adequações de fornecedores, tomadas de decisões sobre conteúdo importado ou produzidos localmente e participação ativa nos esforços iniciais de difusão.

O governo e a indústria do etanol seriam responsáveis, principalmente, pela garantia de fornecimento do biocombustível, a fim de atender à demanda adicional dessa categoria que, atualmente, é provida por gasolina e diesel. Os esforços e necessidades vão de acordo com a descrição do mercado de etanol, conforme foi visto no item anterior.

Muitas vantagens na adoção desse cenário são similares às vantagens do cenário 1, uma vez que o etanol continuaria em foco no mercado de combustíveis. Do ponto de vista de tecnologia, a adoção do híbrido *flex* poderia deixar o mercado brasileiro um pouco mais próximo das tendências de eletrificação, podendo gerar oportunidades no desenvolvimento de tecnologias e produções locais. Além disso, o País poderia ter especialistas e ser pioneiro, possuindo o *know-how* deste modelo.

No relatório da ABDI, especialistas do setor levantam pontos fortes da produção nacional de veículos, considerando o aprimoramento dos motores a combustão e o desenvolvimento de veículos elétricos. Tendo em vista esse cenário do modelo híbrido etanol, algumas vantagens apontadas poderiam ser diferenciais:

- Flexibilidade tecnológica e de gestão para lidar com variedade e produção de pequenas séries.
- Engenharia local para configurações *flex* bem desenvolvida.
- Capacidade produtiva disponível maior do que a demanda.
- Matriz de transporte predominantemente rodoviária.
- Diversificação da matriz energética, limpa e autossuficiente em energia.
- Capacidade do Brasil em fazer tropicalização de componentes.

Em muitos países, a adoção de veículos híbridos e elétricos foi impulsionada com o objetivo de reduzir os impactos das emissões de CO₂, conforme já foi descrito neste documento. Analisando por este aspecto, o modelo híbrido *flex* pode ser competitivo,

uma vez que o armazenamento elétrico aumentará a eficiência do veículo. O etanol é vantajoso, comparado à gasolina, em termos de emissão, principalmente quando analisado o ciclo de vida do produto.

Os principais problemas e desvantagens identificados neste cenário estão associados às mesmas questões envolvendo o futuro da indústria de etanol apresentadas no cenário 1. Uma dificuldade apontada para captação de investimento para esse modelo híbrido é a falta de autonomia estratégica de muitas filiais de multinacionais instaladas no País, cujos centros de decisão estão em suas sedes.

Além disso, a adoção do híbrido, apesar de atenuar o isolamento com as tendências de eletrificação, poderia ser uma decisão de risco do ponto de vista de investimentos, ao se considerar que o veículo puramente elétrico parece estar se desenvolvendo (técnica e financeiramente) em uma velocidade maior que a prevista. Cada vez é maior o número de montadoras que estão anunciando modelos elétricos puros. No mercado chinês e em alguns países europeus, há uma tendência a dar mais ênfase a modelos elétricos, em vez de híbridos.

Adicionalmente, os híbridos que estão se destacando em quantidade de modelos novos são os modelos PHEV, ou seja, os que possuem o ICE como suplementar, sendo o motor elétrico o principal. A adoção desses modelos tem a necessidade de criação de estações ou pontos de recarga, que, além de muito planejamento, requerem altos investimentos públicos e privados (este ponto será mais bem detalhado na análise do próximo cenário). Em muitos países, este tipo de hibridização acabou funcionando como uma etapa intermediária, sendo que vários deles focam atualmente o desenvolvimento de modelos BEV ou FCV (Japão).

E ainda, considerando que nos próximos dez anos haveria fortes investimentos nessa tecnologia para o segmento SUV/sedan luxo, há questões que devem ser avaliadas:

- Qual seria a viabilidade financeira, considerando um nicho com baixo volume de abrangência nos estágios iniciais e a possibilidade de, nesse período, veículos elétricos estarem muito mais competitivos quanto a ganhos de escala e desenvolvimento tecnológico?
- Uma segunda fase de hibridização a ser implantada, visando a veículos leves, seria viável em um contexto de sucesso e desenvolvimento dos veículos elétricos?
- Qual nível de aprendizagem e desenvolvimento de *know-how* e fornecedores poderia ser efetivamente útil num contexto de eletrificação, mesmo em longo prazo?
- Qual seria o risco em adotar o híbrido etanol em um contexto em que se constrói na mídia global um futuro com veículos elétricos? Como atender às expectativas dos consumidores em uma indústria tão globalizada?

Uma alternativa de longo prazo dependeria da viabilidade financeira de desenvolvimento de mercado para veículos com célula combustível. Nesse contexto, o etanol

poderia ser a fonte de combustível a alimentar a célula. Esta solução aproveitaria toda a rede de distribuição do etanol e poderia viabilizar um mercado global do biocombustível. A empresa Nissan desenvolveu um veículo com célula de combustível que gera energia a partir de bioetanol. O protótipo está sendo testado no Brasil e apresenta uma autonomia de 600 km a partir de 30 litros do biocombustível. O princípio de funcionamento é similar ao da célula de hidrogênio, com mudanças na fonte de hidrogênio.

Os especialistas apostam que essa tecnologia poderia ter viabilidade e penetração inicial de mercado a partir de 2040. Alguns executivos entrevistados para este documento acreditam que essa solução poderia ser mais viável para o Brasil no longo prazo, uma vez que os modelos BEV necessitam da criação de infraestrutura de carregamento e os FCV não, pois a distribuição seria a mesma existente hoje.

2.3.3 Cenário 3: adoção do veículo elétrico

O cenário 3 consistiria na adoção ampla do motor elétrico. Isto poderia incluir a produção nacional e/ou esforços no desenvolvimento de tecnologia e produção local de veículos elétricos. O segmento-alvo inicial seriam os veículos de alta gama.

Uma das principais vantagens associadas a este cenário seria a integração com mercados europeus e asiáticos, ao acompanhara tendência mundial de eletrificação e antecipar ações visando ao desenvolvimento de tecnologia e oportunidades, identificando áreas em que o País pudesse ter vantagem competitiva.

Outros benefícios podem estar associados ao contexto energético e ambiental, como a redução da poluição localizada nos grandes centros urbanos brasileiros. Na área de energia, há estudos que indicam que a adoção de veículos elétricos não implicaria necessariamente mudanças drásticas de aumento de capacidade de geração e transmissão.

A empresa do setor elétrico CPFL Energia, em parceria com empresas credenciadas, está desenvolvendo um projeto, com previsão de término em 2018, intitulado Emotive.⁵ Com base na análise de dados de frotas elétricas, esse projeto analisa vários aspectos da adoção dos BEV e de construção de estações de carregamento, dentre outras ações. A primeira fase da pesquisa contemplou impactos na matriz energética: considerando uma frota de elétricos entre quatro a dez milhões de unidades até 2030, o consumo de eletricidade aumentaria na ordem de 0,6 a 1,6% no Sistema Interligado Nacional (SIN).

Esse impacto na rede elétrica é também relacionado à mudança de hábito de abastecimento (que precisa ser mais bem avaliada, levando em conta uma maior penetração de BEV e mercados maiores). Em países com maior participação de elétricos no mercado, como Holanda e Noruega, verificou-se que a recarga dos veículos é feita

5. Projeto que faz parte do Programa de Mobilidade Elétrica da CPFL Energia e que conta com recursos de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL (PA0060 – Inserção Técnica e Comercial de Veículos Elétricos em Frotas Empresariais da Região Metropolitana de Campinas). Maiores informações em: <<https://www.cpf.com.br/sites/mobilidade-eletrica/emotive/Paginas/default.aspx>>.

predominantemente à noite e no domicílio do proprietário, sendo o sistema público pouco utilizado. Este padrão poderia ser similar no Brasil, uma vez que a maioria das residências possui locais para estacionamento. Considerando esta hipótese, a relação estação de recarga/veículos poderia ser inferior aos valores-padrão adotados atualmente. Além disso, o hábito de abastecimento no período noturno poderia ser aproveitado pela própria ociosidade de rede e pela geração majoritária a partir de fonte hídrica.

A produção nacional de veículos elétricos e a criação do novo mercado seriam processos complexos. Como foi visto anteriormente, os países que adotaram medidas de incentivo à eletrificação ainda enfrentam dificuldades de planejamento e gestão, sem contar os altíssimos valores de investimento de agentes públicos e privados. São necessários esforços em P&D, incentivos financeiros (subsídios, isenção de taxas, créditos fiscais) e regulatórios, bem como a criação de infraestrutura de carregamento (EVSE).

O nível de investimento envolvido é alto, o que pode ser evidenciado levando-se em conta apenas a instalação de pontos e estações de recarga. O Departamento de Energia dos Estados Unidos divulgou um relatório em 2015 com custos estimados para EVSE (SMITH e CASTELLANO, 2015), os quais, como foi visto, podem ser classificados por níveis de carga e infraestrutura envolvida. O relatório estima os custos referentes aos três tipos de estações:

- **AC Level 1:** custos na ordem de US\$ 300 a 1.500 em equipamento, e instalação entre US\$ 0 a 300/ponto. São equipamentos comumente usados em residências, sem necessidade de qualquer modificação na rede elétrica.
- **AC Level 2:** custos entre US\$ 400 a 6.500 por ponto, e instalação entre US\$ 600 a 12.700/ponto (média estimada: US\$ 3.000/ponto). Muitas instalações de acesso ao público usam este modelo (em *shopping centers* e supermercados). Pode ser instalado em residências, dependendo da disponibilidade no painel de energia, e geralmente necessitam de licença para instalação.
- **DC FastCharging:** custos entre US\$ 10.000 a 40.000, com um único ponto de recarga, e instalação entre US\$ 4.000 a 51.000/unidade (média estimada: US\$ 21.000). Esses tipos de estação seriam localizados, principalmente, em estradas e áreas mais afastadas dos centros urbanos.

A variação dos valores dos equipamentos pode ser explicada pela tecnologia e pela cronologia de implantação dos projetos (os custos foram levantados com base em diferentes projetos implantados nos Estados Unidos), e as diferenças nos custos de instalação são verificadas de acordo com o tipo de obra que será necessária (transformador novo, instalação de rede elétrica, painel novo etc.). Reforços de rede elétrica podem aumentar consideravelmente os custos, pois se trata de projetos de infraestrutura (civil e elétrica). Esses valores podem ganhar competitividade de acordo com maiores escalas de produção de componentes dedicados e aumento de mão-de-obra especializada, principalmente.

Muitas iniciativas internacionais na criação dessas infraestruturas de recarga envolvem concessionárias de energia, e inúmeros projetos são constituídos por parcerias público-privadas. Além disso, a participação dos governos no gerenciamento é essencial na definição de medidas, desde a rota estratégica até a aplicação de regulação pertinente, implantação e padronização de estações de recarga, regras de acesso, procedimentos para o comércio no mercado de distribuição, definição de valor tarifário da eletricidade (diferenciada ou não), relação de pontos de recarga por veículos, regulação de obras civis visando a pontos de recarga, dentre muitas outras ações.

A relação de pontos de recarga por veículo adotada em muitos países reflete a ansiedade de autonomia (*range anxiety*) dos consumidores, que ainda veem esse item como uma das principais barreiras à adoção de veículos elétricos. A Comissão Europeia adotou uma média de dez veículos para cada ponto de recarga pública como base para fixação das metas de seus países. Esta relação pode ser alterada caso haja mais certezas em relação às mudanças no hábito de abastecimento, como já citado. Considerando os valores envolvidos na construção de cada ponto de recarga e a quantidade de pontos a serem construídos, é possível visualizar os níveis de investimentos necessários.

O aumento da frota elétrica dependeria de um planejamento no setor elétrico, principalmente no longo prazo. Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016, divulgado pela EPE, em 2015 o Brasil gerou 61,9% de energia elétrica a partir de fonte hidráulica. Apesar da grande capacidade renovável da geração, o País vem dependendo de termelétricas para demandas adicionais: a participação do gás natural na geração aumentou de 4,7% em 2011 para 13,7% em 2015. Isto levanta questões sobre o aspecto ambiental na adoção de veículos elétricos no País: de um ponto de vista, a matriz brasileira teria vantagens quando comparada ao cenário de muitos países, mas por outro lado o aumento da dependência de fontes fósseis na geração diminuiria a atratividade de veículos elétricos.

Vale ressaltar que qualquer movimento em torno da eletrificação precisa estar alinhado à política e ao planejamento energéticos. Muitos países que estão incentivando a adoção de veículos elétricos atrelam o atendimento da demanda adicional, ou parte dela, a fontes renováveis. A Alemanha, por exemplo, já gera mais de 30% da eletricidade a partir de renováveis. No Brasil, a participação de fonte eólica vem crescendo, apesar da ainda rasa representatividade: cerca de 2.700 GWh em 2011 para 21.600 em 2015. Isto pode ser uma oportunidade de manter o caráter renovável predominante da matriz, considerando uma demanda adicional de eletricidade pelo sistema de transporte.

É possível afirmar que a indústria do etanol continuaria bem representativa no médio e longo prazo, também neste cenário. Mesmo adotando medidas de incentivo para veículos elétricos, o crescimento dessa frota seria gradual, permitindo um planejamento da indústria. Uma opção que já é discutida no setor sucroenergético é a destinação do biocombustível para a geração de energia, o que ajudaria a manter o caráter renovável da matriz energética do País e poderia criar um mercado secundário para essa indústria.

Soluções podem ser encontradas, mas o planejamento é essencial. Em um País com proporções continentais como o Brasil, estudos sobre capacidade de transmissão seriam mais um ponto estratégico a ser analisado. Considerando que os grandes centros urbanos são os focos de difusão de BEV, pelo menos numa etapa inicial o reforço da rede para atendimento de demandas adicionais saturaria ainda mais o sistema integrado. Há possibilidades para geração distribuída ou localizada regionalmente, como a geração a partir de biomassa ou de fonte fotovoltaica, mas que dependerão de viabilidade técnico-financeira.

Os impactos na indústria do petróleo também são de grandes proporções, ainda mais considerando os investimentos feitos nas últimas duas décadas e a representatividade da Petrobras no Brasil. Grande parte da destinação do petróleo nacional é para o setor de transportes, assim como no cenário global, no qual 30% a 40% do conteúdo energético do produto são destinados ao setor. A indefinição sobre o futuro da indústria do petróleo é uma preocupação global.

A criação de infraestrutura de recarga e a garantia de fornecimento de eletricidade seria apenas uma parte dos esforços necessários para o atendimento ao mercado de veículos elétricos. As incertezas da conjuntura nacional devem se somar às incertezas da própria indústria de veículos elétricos que está sendo construída. Como já foi discutido, embora a velocidade de desenvolvimento dessa indústria esteja sendo superior às expectativas iniciais, há dúvidas pertinentes em relação ao mercado e também ao produto, como a evolução em custos, segurança, viabilidade de produção e aquisição sem subsídios, autonomia e vida útil.

A bateria é o componente-chave em relação à maioria das incertezas. As tendências tecnológicas e de custos precisam ser consolidadas nos próximos anos, na busca de um prognóstico mais assertivo sobre o futuro da indústria de veículos elétricos. Além disso, são necessários estudos intensivos sobre os impactos da cadeia de produção e, principalmente, descarte de baterias.

O mercado de veículos elétricos no Brasil traria implicações para a produção nacional. Neste cenário, o País poderia continuar a produzir veículos, o que dependeria de grandes esforços e do planejamento das montadoras, ou poderia ser um importador de veículos e/ou tecnologias. Os maiores impactos incidirão na cadeia de fornecedores, pois fabricantes de automóveis no Brasil são multinacionais e não teriam dificuldades de adaptação em termos de tecnologia, uma vez que já possuem uma cadeia de desenvolvimento em outros países.

Há implicações do ponto de vista financeiro, pois a viabilidade de uma mudança radical de produtos e de processos dependeria das perspectivas favoráveis de velocidade de difusão de veículos elétricos e do tamanho de mercado. Mesmo em países com políticas de incentivos, há certa hesitação por parte das montadoras, como ocorreu na Alemanha.

As montadoras só começaram a dar sinais de maior mobilização nos últimos anos, a partir do Diesel Gate e de políticas adotadas no grande mercado chinês de veículos.

Na ausência de imposição de medidas regulatórias, é difícil visualizar movimentações em torno de uma produção local de BEV no Brasil, pelo menos no horizonte de cinco a dez anos, mas poderia ocorrer em nichos específicos de veículos com alto valor agregado.

2.4 Conclusão

O panorama internacional apresenta fortes evidências de rupturas no horizonte de dez anos. Para além do avanço tecnológico, que por si só não viabilizaria a difusão do carro elétrico nos dias atuais, há um futuro sendo conscientemente construído por iniciativas públicas e privadas convergentes. A trajetória em construção tende a condenar a motorização à combustão interna, independentemente de qual seja o combustível.

Para o Brasil, as rupturas em construção no exterior representam desafios a enfrentar. Qualquer dos três cenários delineados demanda iniciativas públicas e das empresas convergentes: no primeiro, para manter a competitividade da indústria automobilística no Brasil em condições pouco favoráveis; nos outros dois, para induzir a mudança de curso julgada desejável.

Qualquer que seja a estratégia adotada, o Brasil enfrentará complexidades. É necessário um mapeamento das prioridades, sendo que as condições locais são bem diferentes das de grandes mercados de veículos. O País tem criticidades diferentes em relação à segurança de suprimento de energia (baixa dependência externa, mas dependência de planejamento e investimentos para cenários de crescimento econômico) e possui uma matriz predominantemente renovável. Este último fator tem duas faces na questão de emissões, uma vez que o nível de emissões *per capita* do País é inferior à de outros integrantes da OECD, mas pressões crescentes para uma diminuição efetiva de emissões resultarão, eventualmente, em ações no setor de transporte, o que poderia levar a mudanças tecnológicas nos sistemas de propulsão.

A eletrificação parece ser uma tendência permanente nos principais mercados automotivos, restando dúvidas sobre o *timing* em que a indústria se consolidará e os tipos de tecnologias que serão dominantes. Apesar de os investimentos envolvidos afastarem os cenários de adoção de política de incentivos ao BEV a curto e médio prazos, pelo menos no Brasil, uma estratégia de isolamento tecnológico também traz riscos, conforme analisado no cenário 1.

Em todos os mercados estudados nota-se que, ainda hoje, a difusão do BEV progride baseada apenas em forte esforço financeiro em toda cadeia, do P&D à concessão de subsídios para o consumidor final. Mesmo com preços finais mais competitivos, serão

necessários investimentos de infraestrutura de recarga. Isto traz ainda mais incertezas para países com recursos limitados como o Brasil, que apresenta necessidades financeiras em muitas áreas de desenvolvimento. Apostas de direcionamento neste estágio da eletrificação podem ser precoces, ineficientes e pouco efetivas para o País.

Além disso, o planejamento da indústria automotiva tem de ser compartilhado com a agenda estratégica de outros temas essenciais para o País, principalmente os relacionados a energia e infraestrutura, ainda mais em se tratando de uma eventual mudança de motorização. Um esforço indispensável, independentemente de qualquer direção que o País escolha, é o aumento dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, buscando mapear áreas em que o Brasil possa ser competitivo na indústria de veículos elétricos.

Como foi visto nos cenários apresentados, qualquer direção aponta para a manutenção do protagonismo do etanol no longo prazo. Mesmo em um cenário de adoção de políticas visando à eletrificação, essa transição seria lenta, pois a frota elétrica cresceria inicialmente em nichos e poderia alcançar mercados maiores em função de investimentos. A renovação da frota tem médias de dez a 15 anos, o que representaria pouco impacto na demanda de etanol nos próximos 40 anos.



3

3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL

3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais

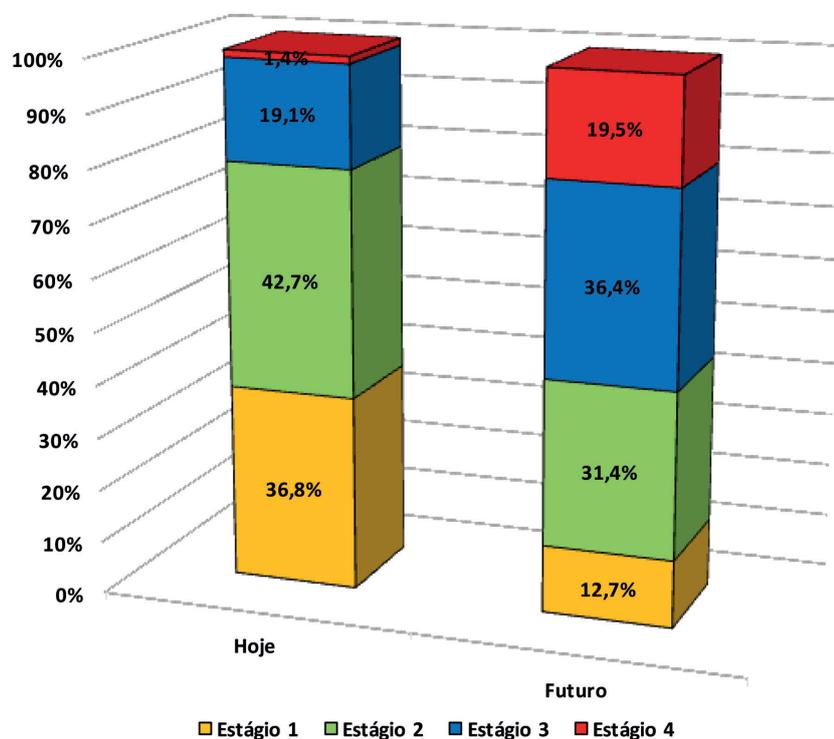
Esta seção apresenta a análise das respostas obtidas pela pesquisa de campo do Projeto I2027 contemplando o sistema produtivo do Complexo Automotivo.⁶ O questionário foi aplicado entre 01 de junho e 31 de outubro de 2017 e obteve 759 respostas válidas dentro do público alvo de estabelecimentos industriais com mais de 100 empregados. Especificamente no caso do SP do Complexo Automotivo, foram obtidas 44 respostas válidas. A maior parte das respondentes são empresas de capital nacional do setor de autopeças, com mais de 250 empregados e localizadas nas regiões Sudeste e Sul.

Neste sistema produtivo, 65,5% dos respondentes atribuíram probabilidade alta ou muito alta de a geração 4 de tecnologias digitais ser dominante até 2027. As expectativas mais altas referem-se a tecnologias digitais empregadas no relacionamento com fornecedores (81,8%) e no relacionamento com clientes (70,5%), corroborando as evidências encontradas para o conjunto da indústria. A menor probabilidade foi atribuída para as tecnologias aplicadas na gestão da produção (47,7%).

Em 2017, 20,5% das empresas respondentes utilizam as tecnologias da geração digital mais recentes (gerações 3 e 4), percentagem levemente inferior à média da indústria (22,2%). Apenas 1,4% do painel já adota tecnologias da geração 4. Em 2027, 19,5% dos respondentes esperam estar na geração digital 4. Nas gerações três ou 4, estariam 55,9% das empresas entrevistadas deste sistema.

6. Ver análise detalhada das respostas no Anexo I do presente documento.

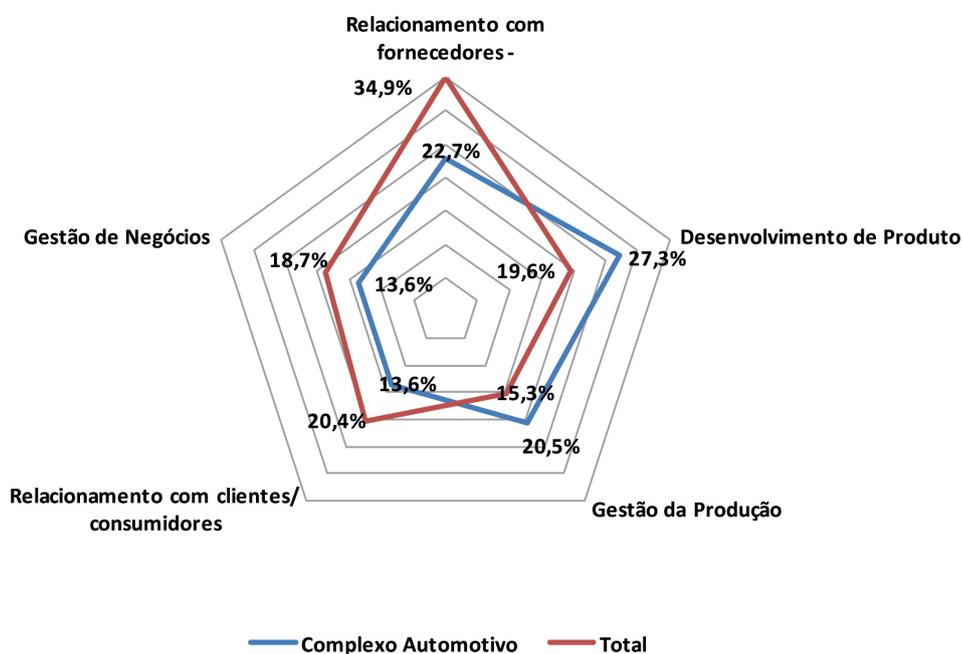
Figura 16 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP do Complexo Automotivo



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Na comparação de 2017 com 2027, os maiores níveis em termos da adoção das tecnologias digitais da geração 4 são esperados nas funções de desenvolvimento de produto (27,3%) e de relacionamento com fornecedores (22,7%). Esperam-se impactos positivos na maior customização no desenvolvimento de produto, na prontidão no relacionamento com clientes e na redução de custos no relacionamento com fornecedores.

Figura 17 – Percentual de respondentes com expectativa de posicionamento na geração tecnológica digital 4.0 por funções organizacionais – SP do Complexo Automotivo e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Atualmente a grande maioria das empresas encontra-se em estágio muito inicial de adoção efetiva das tecnologias mais avançadas. No sistema produtivo do Complexo Automotivo, 16,5% das empresas revelaram possuírem ações em execução no sentido de adoção das tecnologias digitais. Quando se consideram também as empresas deste sistema produtivo que revelaram possuir projeto aprovado, o percentual aumenta para 34,7%.

Comparativamente ao total do painel, observam-se nas empresas respondentes maiores esforços em investimento e treinamento e menor esforço de P&D. Foi maior o percentual de empresas que revelaram ações de investimento na função de relacionamentos com clientes; ações de treinamento em relacionamento com fornecedores e desenvolvimento de produto; e ações de P&D em gestão da produção.

3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas

O complexo automotivo está na iminência de uma grande transformação, capitaneada principalmente pela tendência de modificação da motorização de combustão interna para a elétrica e, adicionalmente, mas com certa independência com relação à eletrificação, da emergência do veículo conectado, o que abre inúmeras possibilidades de novos negócios. Outras mudanças se adicionam num cenário de dez anos, ainda que sem a proeminência destas duas.

As diversas vertentes de produção inteligente e conectada (PIC) tendem a ser introduzidas conforme novos investimentos aconteçam. As respostas à pesquisa de campo revelam que, embora o atual grau de difusão da manufatura avançada (geração 4) seja ainda incipiente, as empresas têm clara percepção das oportunidades envolvidas para aumentar a competitividade, com redução de custos, aumento da customização para os clientes e melhor relacionamento com fornecedores. Apesar das ações efetivas serem, até o momento, relativamente escassas, a expectativa dominante entre os fabricantes é de rápida evolução na incorporação das novas tecnologias de Produção Inteligente e Conectada até 2027.

A grande perspectiva de transformação, com impactos potenciais de monta, advém da eletrificação. Empresas e governos são protagonistas da ruptura, movidos pelo desejo de estabelecer o design dominante do futuro do automóvel, o que implica posicionar-se favoravelmente na governança da cadeia de valor no futuro, incluindo os possíveis novos serviços.

Dado o peso do complexo automotivo na economia brasileira, os impactos podem ser de grande magnitude, extrapolando mesmo as fronteiras do sistema. A mudança da motorização traz inúmeras consequências e desafios e, talvez, poucas oportunidades para o complexo automotivo brasileiro. O Brasil possui especificidades importantes, que devem ser consideradas para a caracterização dos desafios e das formas de superá-los:

- As empresas do complexo não possuem desenvolvimento de tecnologias sensíveis para a motorização elétrica no País, nem tampouco para a conexão (veículo conectado). Assim, os centros decisórios da conformação do veículo do futuro ocorrem independentemente do complexo instalado no País.
- O Brasil possui bom mercado interno e boa capacidade produtiva agregada, mas há grande pulverização de marcas e modelos, o que indica que nem todos possuem escala que possibilite voos maiores.
- O País está localizado longe dos mercados dinâmicos, o que dificulta, ainda que não impeça, a exportação. Normalmente as exportações das empresas do setor são decididas centralmente – por exemplo, é mais fácil para um país europeu exportar para outro país da região do que a exportação se originar no Mercosul, independentemente dos custos envolvidos. As empresas têm compromissos locais e regionais, sejam estes de ordem sindical, sejam contrapartidas para apoios estatais ou de outra monta.
- Devido ao etanol, que implica uma das melhores opções relativamente aos gases de efeito estufa se considerado sistemicamente (e não apenas do tanque do veículo para a atmosfera), não há pressões ambientais relacionadas à motorização, particularmente para veículos menores, adequados a tal combustível.
- A adoção concentrada de veículos elétricos implicaria grandes investimentos na rede elétrica, o que levanta a questão de qual agente se encarregaria desses investimentos e como seriam rentabilizados caso não sejam estatais.

Dada a base rodante existente, com motorização tradicional e dado o ciclo de vida dos veículos e a taxa de renovação da frota, deve haver um longo período de coexistência de diversos tipos de motorização. Embora isto indique que a transição poder ser longa, impactos e desafios devem começar a ser enfrentados no horizonte da próxima década.

Manter a competitividade da base produtiva no contexto das mudanças promovidas pelas lideranças globais do sistema automotivo é o grande desafio para empresas e atores públicos no Brasil. Há também desafios importantes a serem enfrentados em outras dimensões, descritas a seguir.

3.3 Desafios e implicações para indústria brasileira

3.3.1 Sistema de inovação

O sistema setorial de inovação automotiva no Brasil teve ápices no desenvolvimento do motor a álcool, no sistema *flex* e, mais recentemente no desenvolvimento com base nas plataformas definidas nas matrizes, incluindo a motorização, transmissão, suspensão e, eventualmente, partes básicas da carroceria. Esses desenvolvimentos foram impulsionados com os incentivos fiscais da Lei do Bem, após 2005. Uma característica conhecida do tecido produtivo brasileiro é a fraqueza em eletrônica e, mais especificamente, em microeletrônica, tanto em componentes como em sistemas embarcados. Assim, a eletrificação e a conectividade tendem a se efetivar a partir de projetos e desenvolvimentos feitos no exterior.

É possível que o sistema de inovação na indústria automotiva no Brasil sofra um forte impacto, podendo perder densidade no horizonte de uma década. O desafio é **manter robusto o sistema de inovação no futuro dos negócios associados ao automóvel no Brasil.**

As entrevistas realizadas mostram que algumas empresas brasileiras estão se movimentando para aproveitar as novas oportunidades. Por exemplo, a Weg desenvolve projetos para participar do mercado de motores elétricos, com financiamento do BNDES. Em 19 de outubro de 2017 a empresa anunciou parceria com a MAN⁷ para o que seria o primeiro caminhão 100% elétrico desenvolvido no Brasil, denominado E-Delivery (WEG, 2017). Tal anúncio faz sentido, pois a MAN possui um centro de projeto de caminhões no Brasil utilizando motores a diesel e transmissões de fornecedores. Contatos mantidos com dirigentes de diversas empresas e instituições revelaram iniciativas para o desenvolvimento de materiais para componentes de baterias destinadas à motorização elétrica⁸ e também pesquisas aplicadas, envolvendo a Weg, para a melhoria do desempenho de motores elétricos para veículos.⁹

7. Antiga VW Caminhões, do grupo VW, com fábrica principal em Resende – RJ.

8. Informação dada por membro do conselho de administração.

9. Informação dada por dirigente de instituição.

Quanto ao veículo conectado, uma chamada da FAPESP em relação à manufatura avançada pode reunir competências na área de aprendizado de máquina/inteligência artificial (IA), o que é decisivo para o tratamento de grandes dados e para viabilizar serviços via conectividade. Existem pesquisas de cunho acadêmico sobre veículos autônomos, mas aparentemente não há empresas dispostas a bancar as incertezas e os custos do desenvolvimento aplicado.

A depender da evolução da tecnologia e do mercado, e da política de incentivo, é muito provável que o motor *flex* seja utilizado no Brasil por longos anos. Melhorar sua eficiência poderia ser crucial para a sobrevivência dessa tecnologia, particularmente se forem articulados negócios com países que estão ampliando o uso de etanol, como Colômbia, Estados Unidos e outros.

3.3.2 Trabalho e qualificação

O sistema automotivo é responsável, direta e indiretamente, por grande quantidade de postos de trabalho qualificados no Brasil. Antecipar o impacto das rupturas em curso e adotar iniciativas para mitigar efeitos negativos e explorar as oportunidades no emprego e na qualificação é um desafio a ser enfrentado.

O impacto no emprego da manufatura avançada, com as mais diferentes previsões, é objeto de intenso debate. A automação da produção e do trabalho operário já alcançou níveis elevados na indústria automobilística, especialmente nas montadoras, um dos *locus* clássicos de mudanças organizacionais e tecnológicas, que incluem a linha de montagem síncrona à usinagem automatizada de bloco de motor, do *just in time* ao robô de solda (ícone da automação), além da modularização, dos condomínios industriais e do consórcio modular.

O que diferencia a transformação da manufatura atual em relação às anteriores é a possibilidade de afetar empregos qualificados, de engenheiros e técnicos. Pode-se esperar redução nas atividades de supervisão direta, de coordenação do trabalho e de algumas atividades de execução, seja na produção ou nas atividades de apoio – projeto, planejamento, programação etc. As montadoras são o exemplo típico de coordenação por padronização do processo de trabalho: a manufatura avançada pode, por um lado, aprofundar tal tipo de padronização, mas, por outro, caso libere o trabalhador do ritmo imposto pelo sistema técnico, também pode propiciar mais trabalho em equipes, com coordenação via ajuste mútuo, o que confere flexibilidade para o diagnóstico e a solução de problemas de produção.

Independentemente dos impactos trazidos pela manufatura inteligente, a mudança na motorização pode também ter sérias consequências, com forte diminuição do volume e do tempo dedicado à produção, o que levaria a uma grande redução do emprego

nas empresas de autopeças. Paralelamente, haveria demanda de um contingente expressivo de profissionais aptos a trabalhar com as novas tecnologias como *big data*, com forte base estatística, e o desenvolvimento de *softwares* aplicativos – tipicamente, engenheiros de computação e assemelhados.

3.3.3 Sustentabilidade

A motorização elétrica representa um grande desafio também no plano ambiental. Uma primeira questão é relativa às formas de geração, transmissão e distribuição da energia elétrica. No Brasil, é indispensável planejar a expansão de oferta sem deterioração da qualidade da matriz energética atual. Uma segunda questão diz respeito à **reciclagem de determinados materiais, particularmente metais, para eletrônica e baterias**. Os circuitos eletrônicos podem ser, ao menos parcialmente, reciclados, ainda que o custo seja alto. O maior problema reside nas baterias, que usam materiais de difícil obtenção (mineração, com seus impactos ao meio ambiente) e de difícil descarte (toxicidade, volumes etc.). Trata-se de um enorme desafio ambiental, que passa por aspectos tecnológicos e econômicos.

Para enfrentar as questões apresentadas, é necessário estabelecer algumas metas desejáveis que definam os rumos das iniciativas públicas e privadas no médio e longo prazo:

- Manter algum patamar da atividade de engenharia veicular no Brasil, uma vez que o país acumulou um relevante potencial na área, considerando não sediar matrizes nem centros principais de P&D.
- Reconverter a base instalada com um mínimo de perda de empregos e de atividade empresarial.
- Aproveitar as oportunidades de criação de novos negócios associados ao automóvel e à mobilidade possibilitada por veículos conectados.
- Aproveitar a capacidade instalada de engenharia e produção de veículos pesados e apoiar parcerias entre fabricantes desses veículos e de motores elétricos, para avançar e buscar alguma liderança de nicho.
- Explorar a possibilidade de desenvolver soluções híbridas com uso de etanol ao longo do período de substituição da atual frota de veículos leves. A viabilidade dessa oportunidade torna-se mais plausível com o aumento das restrições ao uso do óleo diesel em diversos países, inclusive na própria Alemanha;
- Disponibilizar uma rede elétrica com padrões compatíveis para a motorização elétrica.
- Estimular a incorporação progressiva das inovações da produção inteligente e conectada nas empresas que participam da cadeia de valor automotiva.
- Disponibilizar força de trabalho com qualificação e volume adequados, particularmente ligada aos aspectos do que podemos chamar, genericamente, de engenharia de computação.



REFERÊNCIAS

AMARAL, A. C. (2016). **Perspectivas do Etanol na Matriz de Transportes do Brasil**. ANP.

BERGER, R. (2016). **Integrated Fuels and Vehicles: Roadmap to 2030**. Roland Berger.

BERGER, R. (2017). **E-mobility Index Q1 2017**. FKA.

BLOOMBERG NEWS. (25 de Abril de 2017). **China to Relax Foreign Car Venture Limit in Orderly Manner**. Fonte: Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-04-25/china-to-relax-foreign-car-venture-stake-limit-in-orderly-manner>

CARVALHO, A. F. (2017). **Inovações Disruptivas em Materiais Avançados**. EESC/USP.

COEWIN, S., VITALE, J., KELLY, E., & CATHLES, E. (2015). **The future of mobility**. Deloitte University Press.

EIA. (2016). **Electric Vehicles in Europe**. European Environment Agency.

EIA. (2017). **US Energy Facts**. Fonte: US Energy Information Administration: <https://www.eia.gov>

EIA. (2017). **US Energy Facts**. Fonte: US Energy Information Administration: <https://www.eia.gov>

EPA. (2017). **United States Environmental Protection Agency**. Fonte: United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov>

EPE. (2015). **Análise de Conjuntura de Biocombustíveis**. Brasília: EPE.

EPE. (2016). **Cenários de Oferta de Etanol e Demanda do Ciclo Otto: Versão Estendida 2030**. Rio de Janeiro: EPE/MME.

EUROPEAN AUTOMOBILE MANUFACTURERS' ASSOCIATION. (2016). **ACEA Tax Guide 2016**. Brussels: European Automobile Manufacturers' Association.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. (2016). **Electric Vehicles in Europe**. Copenhagen: EEA.

GIFFI, C., Vitale, J., Robinson, R., & Pingitore, G. (2017). **The race to autonomous driving: Winning american consumer's trust**. Deloitte Review.

HEV TCP - IEA. (2016). **Hybrid and Electric Vehicles The Electric Drive Commutes - Annual Report**. International Energy Agency.

HIRTENSTEIN, A. (23 de Maio de 2017). **Move Over Tesla, Europe's Building Its Own Battery Gigafactories**. Fonte: Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2017-05-22/move-over-tesla-europe-s-building-its-own-battery-gigafactories>

IEA. (2016). **Global EV Outlook 2016**. Paris: International Energy Agency.

IEA. (2017). **Global EV Outlook 2017**. International Energy Agency.

IEA, IA-HEV. (2017). **Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programmes**. Fonte: IA-HEV: <http://www.ieahev.org/about/>

ING ECONOMICS DEPARTMENT. (2017). **Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry**. ING.

JAMA. (2016). **Report on environmental protection efforts** . Japan automobile manufacturers association, Inc.

JATO DYNAMICS LTD. (2016). **Focus on France: Electric, Hybrid & Plug-in Hybrid Vehicles FY2015 Market Overview**. JATO Dynamics Ltd.

KPMG. (2013). **Self-driving cars: The next revolution**.

LITMAN, T. (2017). **Autonomous Vehicle Implementation Predictions: Implications for Transport Planning**. Victoria Transport Policy Institute.

LUTSEY, N. (2015). **Transition to a global zero-emission vehicle fleet**. International council on clean transportation.

LUTSEY, N. (2015). **Transition to a global zero-emission vehicle fleet: a collaborative agenda for governments**. international council on clean transportation.

LUTSEY, N. (2017). **Update: California's electric vehicle market**. ICCT.

MARTINA, M., & SHIROUZU, N. (13 de June de 2017). **China upholds strict electric car sales quotas despite industry protests**. Fonte: Reuters: <https://www.reuters.com/article/us-china-autos-electric/china-upholds-strict-electric-car-sales-quotas-despite-industry-protests-idUSKBN1941V5>

MCKINSEY & COMPANY. (2017). **Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability**.

MORGAN STANLEY. (2013). **Autonomous Cars: Self-Driving the new auto industry paradigm**.

NISSAN. (2017). **2017 Nissan Leaf**. Fonte: Nissan USA: <https://www.nissanusa.com>

PHYS.ORG. (Janeiro de 2015). **Intelligent algorithm finds available carsharing vehicles**. Fonte: Phys.org: <https://phys.org/news/2015-01-intelligent-algorithm-carsharing-vehicles.html#nRlv>

RADU, S. (Agosto de 2017). **Toyota and Mazda join forces on electric vehicles. Is this the end of the road for gas cars?** Fonte: The Washington Post: <https://www.washingtonpost.com/news/wonk/wp/2017/08/03/three-european-countries-say-theyre-done-with-fossil-fueled-cars-can-the-rest-of-the-world-catch-up/>

REUTERS. (22 de Maio de 2017). **Chinese regulator approves VW-JAC Motor electric car venture.** Fonte: Reuters: <http://www.reuters.com/article/us-jac-volkswagen/chinese-regulator-approves-vw-jac-motor-electric-car-venture-idUSKBN18115I>

SANTOS, G. R. (2016). Produtividade na Indústria Canavieira: um olhar a partir da etapa agrícola. Em G. R. SANTOS, **Quarenta anos de etanol em larga escala no Brasil : desafios, crises e perspectivas** (pp. 165-186). Brasília: IPEA.

SMITH, M., & CASTELLANO, J. (2015). **Costs associated with non-residential electric vehicles supply equipment.** US Department of Energy.

SHOCKING SOLUTIONS. **Transportation 2.0.** Shocking Solutions, 23/09/2009. Disponível em: <<https://shockingsolutions.wordpress.com>>. Acesso em: 2 jan. 2018

TORRESI, R. (2017). **Armazenamento Eletroquímico de energia.** Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

TRANSPORTPOLICY.NET. (2017). **US: Light-duty: Fuel Economy and GHG.** Fonte: TransportPolicy.net: <http://www.transportpolicy.net>

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. (2017). **The Paris Agreement.** Fonte: United Nations Framework Convention on Climate Change: <http://unfccc.int>

US DEPARTMENT OF ENERGY. (2011). **One Million Electric Vehicles By 2015.**

US DEPARTMENT OF ENERGY. (2017). **Alternatives Fuel Data Center.** Fonte: US Department of Energy: <https://www.afdc.energy.gov>

WOLFRAN, P., & LUTSEY, N. (2016). **Electric vehicles: Literature review of technology costs and carbon emissions.** ICCT.

YOUNG, K., WANG, C., WANG, L., & STRUNZ, K. (2013). **Electric Vehicle Battery Technology.** Springer.

ZILBOVICIUS, Mauro; MARX, Roberto; SALERNO, Mario Sergio. (2002). **A comprehensive study of the transformation of the Brazilian automotive industry: preliminary findings.** International Journal of Automotive Technology and Management. v.1, n.3, p 10-23.



ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP AUTOMOTIVO

A1 Caracterização do painel de respondentes

A1.1 Concepção da pesquisa

A pesquisa de campo do Projeto I2027 foi construída para mapear o processo de difusão atual e esperado de inovações em Tecnologias de Informação e Comunicação na indústria. Para isso, considerou-se uma sequência de quatro gerações digitais: Produção Rígida; Produção Flexível; Produção Integrada; e Produção Conectada e Inteligente, essa última correspondente ao paradigma digital 4.0.

A empresa foi observada a partir de cinco funções: relacionamento com fornecedores; desenvolvimento de produto; gestão do processo de produção; relacionamento com clientes / consumidores; e gestão dos negócios. O Quadro A1

detalha a estrutura analítica que guiou a concepção do trabalho. As principais características da consulta realizada, incluindo a descrição do questionário utilizado, podem ser encontradas no Relatório Final da Pesquisa de Campo que integra a documentação do Projeto I2027.

Quadro A1 – Gerações digitais de acordo com as funções empresariais

	Relacionamento com fornecedores	Desenvolvimento de produto	Gestão da produção	Relacionamento com clientes/ consumidores	Gestão dos negócios
Geração 1	Transmissão de pedidos manualmente	Sistema de projeto auxiliado por computador	Automação simples (rígida) com máquinas não conectadas	Execução de contatos e registros manualmente	Sistemas de informação independentes específicos por departamento/ área, sem integração
Geração 2	Transmissão de pedidos por meio eletrônico	Sistema integrado de projeto, fabricação e cálculo de engenharia com auxílio de <i>software</i>	Processo parcial ou totalmente automatizado	Automação da força de vendas	Sistemas compostos por módulos e base de dados integrados

	Relacionamento com fornecedores	Desenvolvimento de produto	Gestão da produção	Relacionamento com clientes/consumidores	Gestão dos negócios
Geração 3	Suporte informatizado dos processos de compras, estoques e pagamentos	Sistemas integrados de gestão de dados de produto	Sistemas integrados de execução de processo	Sistema de integração e suporte baseado em Internet	Plataforma <i>web</i> com bases de dados para apoiar análises de negócio
Geração 4	Relacionamento com fornecedores por meio de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de <i>Web services</i>	Sistemas virtuais de desenvolvimento Desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo	Gestão da produção automatizada por meio de soluções de Comunicação M2M (máquina-máquina)	Relacionamento com clientes através de tecnologias de monitoramento dos produtos em uso Monitoramento e gestão do ciclo de vida de clientes	Gestão do negócio por meio de processos automatizados com apoio de Inteligência Artificial e utilização de <i>Big Data Analytics</i>

Fonte: Elaboração própria.

A1.2 Alvo amostral e período de coleta

A pesquisa foi aplicada via Internet tendo como alvo amostral estabelecimentos industriais com 100 ou mais empregados, possíveis de serem estratificados segundo diferentes recortes, com destaque para os “sistemas produtivos” de atuação das empresas, o tamanho das empresas (em termos do número de empregados), região e origem do capital.

O período de coleta transcorreu entre 1/06/2017 a 1/11/2017, tendo sido obtidas 813 respostas. Após crítica para eliminar situações de incongruência das informações, obteve-se uma base de dados composta por 759 estabelecimentos.

A1.3 Caracterização dos respondentes

Na base de dados, o sistema produtivo do Complexo Automotivo (SP do Complexo Automotivo) perfaz um total de total de 44 empresas, correspondente a 5,8% do total da mostra.

A Tabela A1 apresenta as características da subamostra do SP do Complexo Automotivo. Das 24 empresas que informaram o número de empregados (54,5% do total de empresas), 41,7% se classificavam como empresas de grande porte (mais de 500 empregados); 37,5%, como empresas de médio-grande porte (entre 250-500 empregados); e 20,8%, como empresas de médio porte (entre 100-250 empregados). Em termos da origem do capital, 79,5% eram de propriedade de capital nacional.

Em termos do sub-setor de atuação no SP do Complexo Automotivo, a maioria era de empresas do setor de autopeças (75% da amostra), seguida por empresas atuantes nos demais segmentos (20,5%) e em veículos leves (4,5%). Por fim, em termos da localização, a maior parte dos respondentes está nas Regiões Sudeste (59,1%) e Sul (27,3%).

Tabela A1 – Caracterização do painel por porte, setor de atuação e localização – SP do Complexo Automotivo

	Tamanho	Tamanho % (total e com resposta)	
Grande (mais de 500 empregados)	10	22,7%	41,7%
Médias (100-250 empregados)	9	20,5%	37,5%
Médias – grandes (250-500 empregados)	5	11,4%	20,8%
Sem resposta	20	45,5%	
Total geral	44	100,0%	

	Origem do capital	Origem do capital %
Demais nacionalidades	9	20,5%
Nacional	35	79,5%
Total geral	44	100,0%

	Principal setor	Principal setor %
Autopeças	33	75,0%
Demais complexo automotivo	9	20,5%
Veículos leves	2	4,5%
Total geral	44	100,0%

	Localização	Localização %
Sudeste	26	59,1%
Sul	12	27,3%
Norte	4	9,1%
Nordeste	2	4,5%
Total geral	44	100,0%

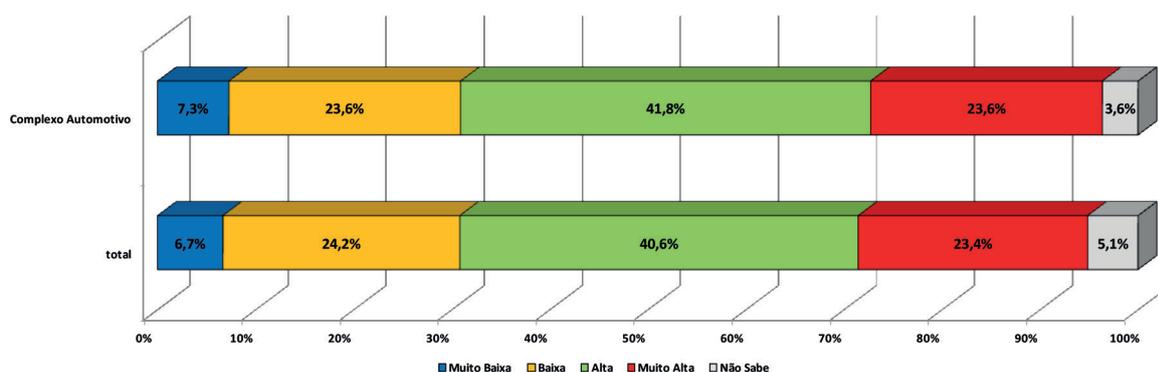
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2 Resultados

A2.1 Probabilidade de adoção das tecnologias

De acordo com as empresas do SP do Complexo Automotivo, a probabilidade de as tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes nos seus respectivos setores de atuação no futuro (entre cinco a dez anos) é “alta” ou “muito alta” para 65,4% dos respondentes – patamar superior ao observado para o conjunto da indústria (64,0%), conforme mostra o Gráfico A1.

Gráfico A1 – Probabilidade das tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes no setor de atuação do respondente no futuro (entre cinco e dez anos), em % do número de respondentes – SP do Complexo Automotivo e total da indústria

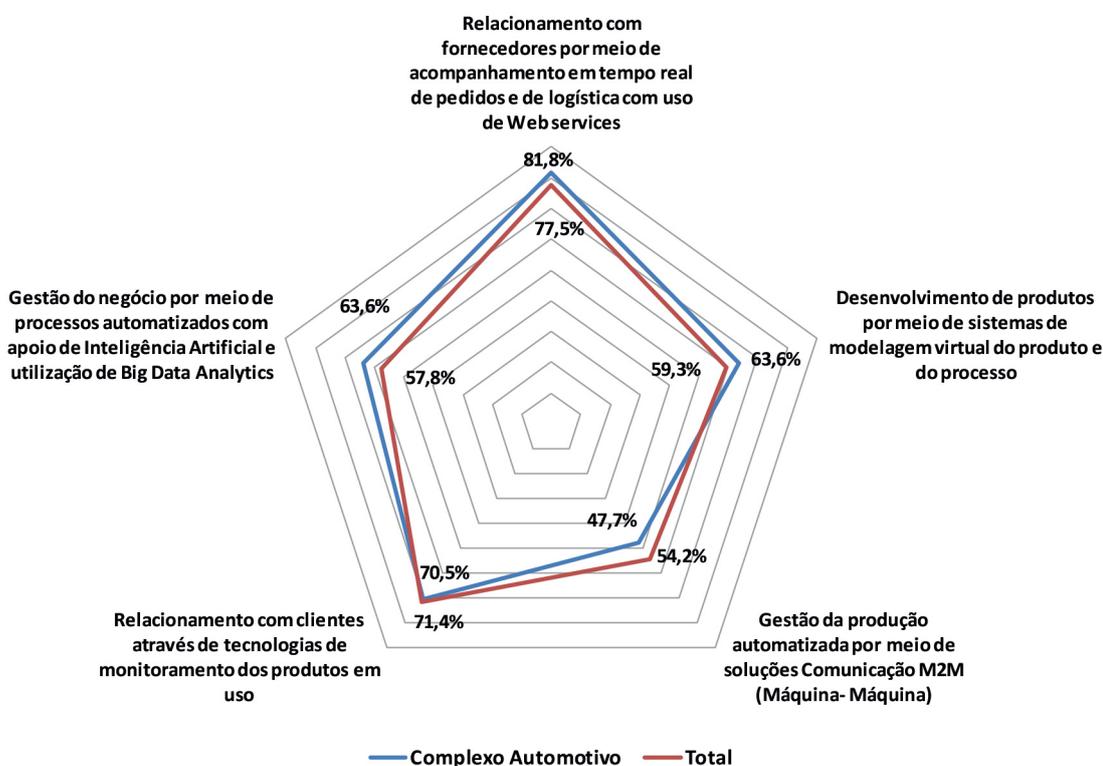


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

O Gráfico A2 detalha as expectativas do painel em termos da adoção das tecnologias 4.0 nas diferentes funções organizacionais enfocadas na pesquisa de campo. No SP do Complexo Automotivo, é mais elevado o percentual de respondentes que atribui probabilidade “alta” ou “muito alta” de adoção tecnologias de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de *web services* (81,8%) na função de relacionamento com fornecedores; e de tecnologias de monitoramento dos produtos em uso (70,5%) na função de relacionamento com clientes – resultados que corroboram os encontrados para o conjunto da indústria.

No caso de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo aplicados na função de desenvolvimento de produtos, esse percentual (63,6%), apesar de menor em termos absolutos, é bem maior que a média da indústria. A menor probabilidade foi atribuída para gestão da produção automatizada por meio de soluções comunicação M2M (Máquina-máquina) (47,4%), percentual abaixo da expectativa geral da indústria.

Gráfico A2 – Probabilidade “alta” ou “muito alta” de tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes no setor de atuação (entre cinco e dez anos) para as funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP do Complexo Automotivo e total da indústria

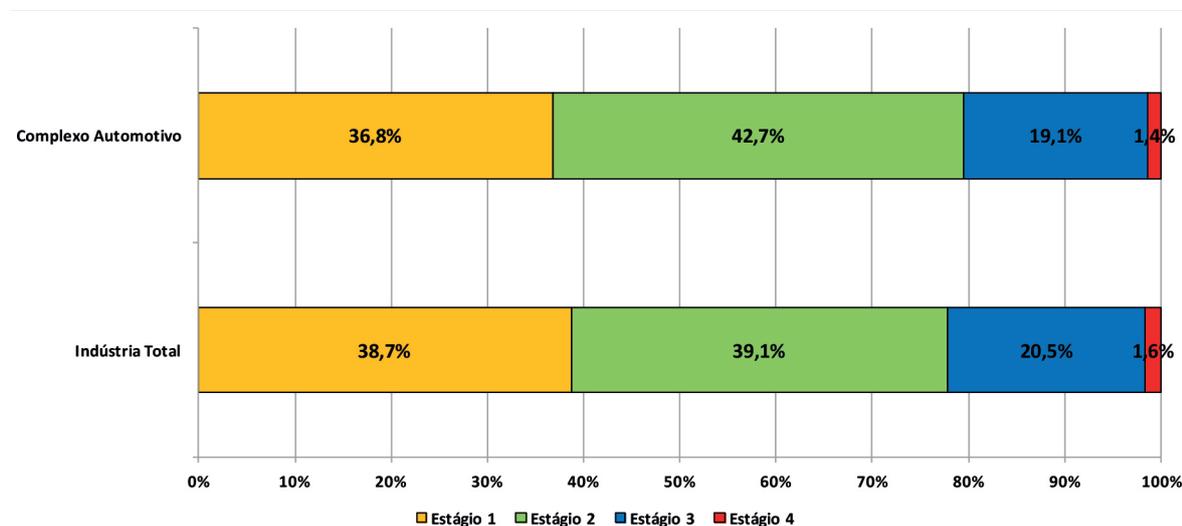


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.2 Gerações digitais dos respondentes hoje

Dada a alta probabilidade de difusão das tecnologias mais avançadas esperada pelas empresas, a análise da geração tecnológica em que as empresas se encontram hoje ganha particular interesse. No caso do SP do Complexo Automotivo, apenas 1,4% das empresas do painel indicaram encontrar-se na geração digital 4 (Gráfico A3), valor abaixo do registrado para o conjunto da indústria (1,6%). Quando se consideram conjuntamente as empresas das gerações 3 e 4, esse percentual atingiu 20,5% no SP do Complexo Automotivo, valor abaixo da média geral (22,2%).

Gráfico A3 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje, em % do número de empresas – SP do Complexo Automotivo e total da indústria

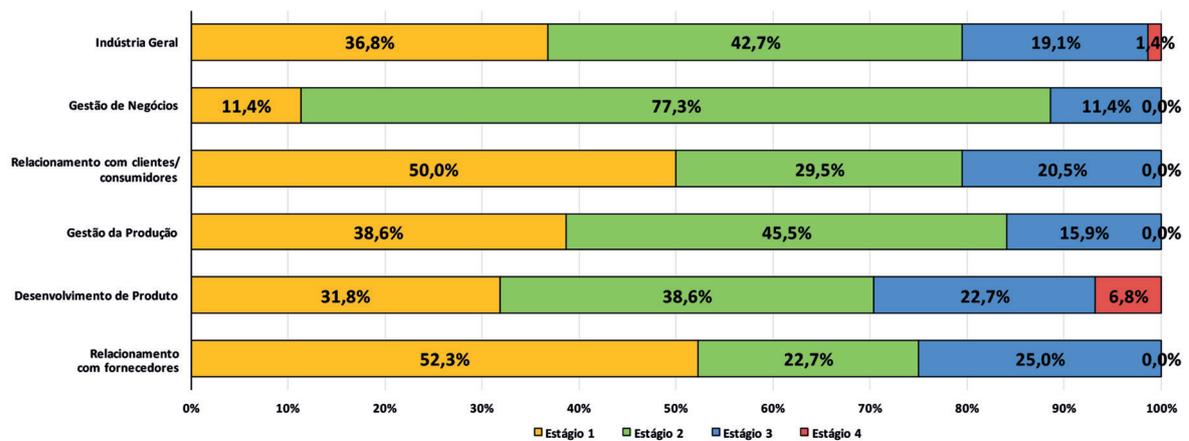


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.3 Gerações tecnológicas de acordo com função empresarial

Com relação ao estágio das tecnologias adotadas nas funções empresariais, é na função de desenvolvimento de produto que mais se adotam tecnologias da geração 4 (6,8% das empresas), conforme ilustrado no Gráfico A4. Já nas funções de gestão da produção, de relacionamento com clientes e de gestão de negócios nenhuma das empresas entrevistadas adota hoje tecnologias da geração 4. Considerando conjuntamente as empresas que adotam hoje tecnologias relacionadas às gerações 3 e 4, 29,5% dos respondentes declararam adotá-las na função de desenvolvimento de produto e 20,5%, na função de relacionamento com fornecedores – percentual superior ao indicado para as demais funções.

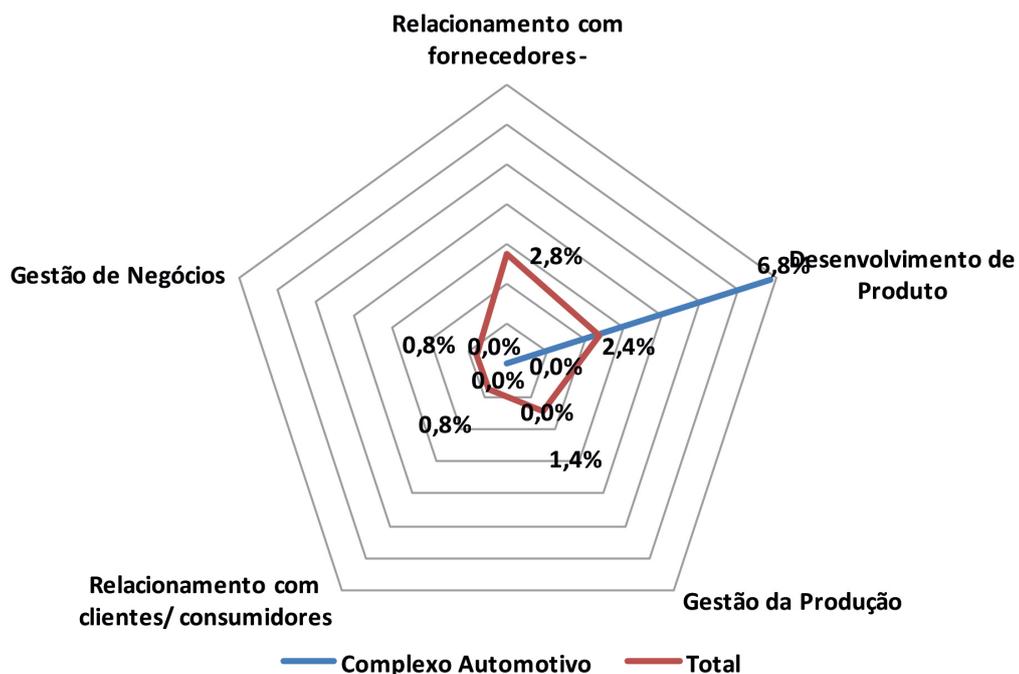
Gráfico A4 – Distribuição dos respondentes segundo gerações digitais, hoje, por funções em % de respondentes – SP do Complexo Automotivo



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Essa análise pode ser mais bem qualificada por meio da comparação dos resultados verificados para este sistema produtivo com o total da Indústria (Gráfico A5). Observa-se uma tendência à difusão menos intensa dessas tecnologias no SP do Complexo Automotivo, com exceção das adotadas na função de desenvolvimento do produto (2,4% contra 6,8%).

Gráfico A5 – Percentual de respondentes atualmente na geração tecnológica digital 4.0 por funções organizacionais – SP do Complexo Automotivo e total da indústria

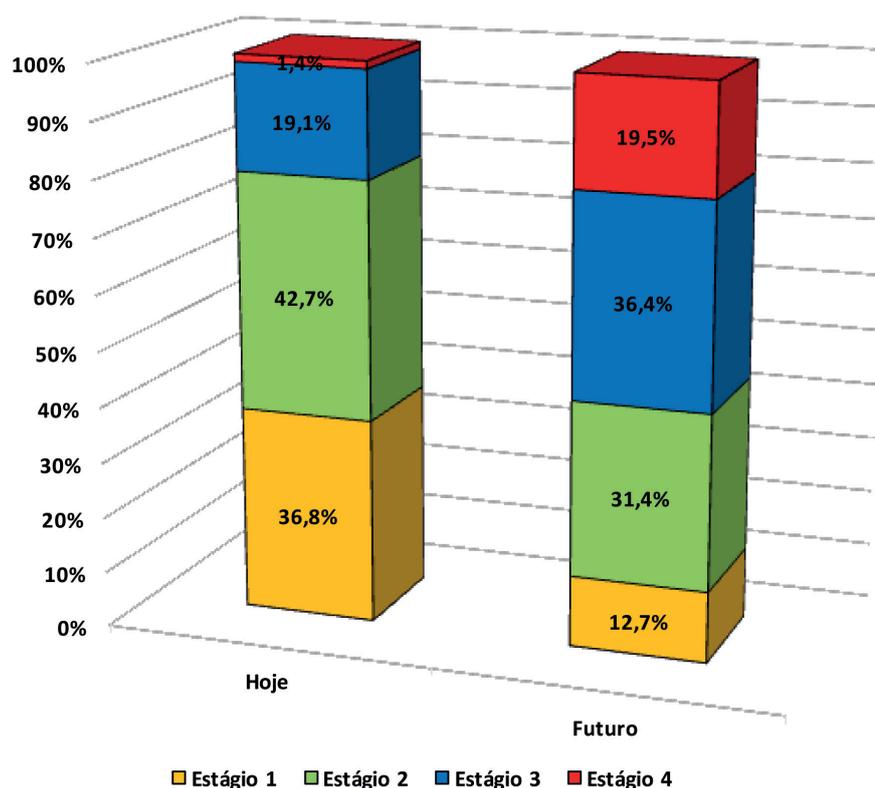


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.4 Expectativas de adoção para 2027

Uma vez constatada a baixa difusão atual, cabe avaliar qual a expectativa das empresas acerca da difusão futura das tecnologias 4.0. Nesse sentido, o Gráfico A6 apresenta essas informações para um horizonte futuro de dez anos, que utiliza como referência o ano de 2027. No caso da geração 4 observa-se um crescimento significativo da intensidade dessa difusão, com uma expectativa de que a mesma evolua de 1,4% para 19,5% das empresas do painel entre 2017 e 2027. Além disso, o percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 19,1% em 2017 para 36,4% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 20,5% em 2017 para 55,9% em 2027, correspondendo a um crescimento de 173% naquela participação.

Gráfico A6 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP do Complexo Automotivo



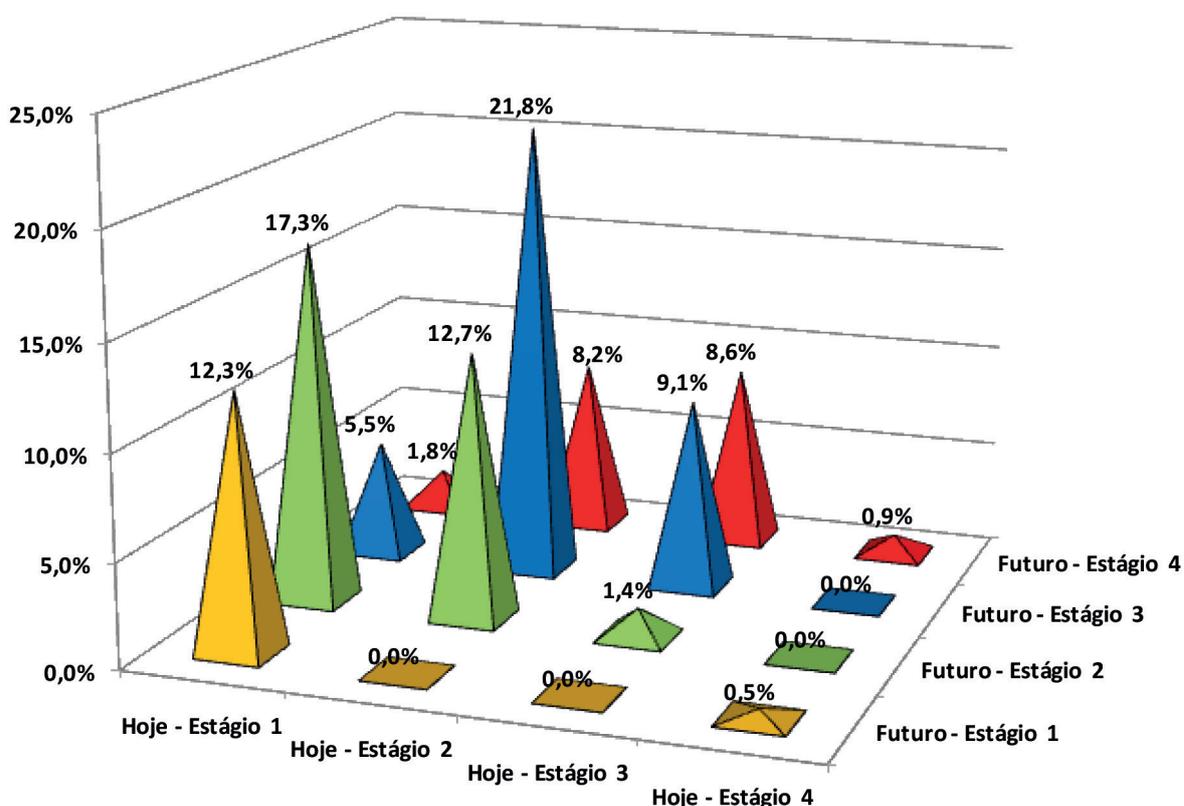
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Alternativamente pode-se analisar a evolução do SP do Complexo Automotivo ao longo do período considerado por meio da “migração” das empresas entre as diferentes gerações tecnológicas, conforme ilustrado pelo Gráfico A7. No caso de 36,8% do total de empresas localizadas na geração 1 em 2017, a perspectiva seria de que 12,3%

permanecessem naquele estágio em 2027; 17,3% avançassem para a geração 2; 5,5% avançassem para a geração 3; e que 1,8% avançassem para a geração 4 (o que, neste último caso, parece um pouco improvável).

No caso de 42,7% do total de empresas localizadas na geração 2 em 2017, a perspectiva seria de que 12,7% permanecessem naquele estágio em 2027; 21,8% avançassem para a geração 3 e 8,2%, para a geração 4. Por fim, no caso de 19,1% do total de empresas localizadas na geração 3 em 2017, a perspectiva seria de que 9,1% ali permanecessem em 2027 e 8,6% avançassem para a geração 4.

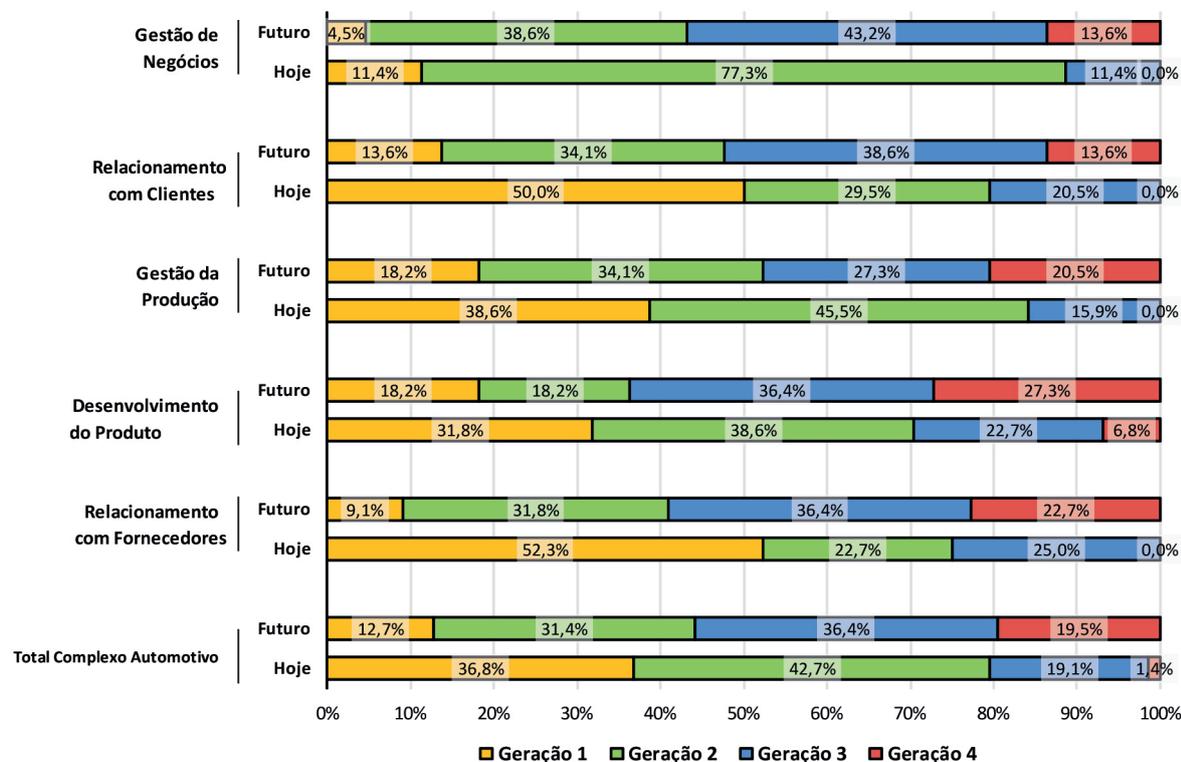
Gráfico A7 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP do Complexo Automotivo



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A análise geral da difusão atual e futura de tecnologias disruptivas pode ser mais bem qualificada considerando especificidades das diversas funções organizacionais (Gráfico A8). As particularidades encontradas para o SP do Complexo Automotivo são destacadas a seguir:

Gráfico A8 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais de acordo com as funções organizacionais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP do Complexo Automotivo



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Relacionamento com fornecedores

Espera-se crescimento da intensidade da difusão associada à geração 4 com expectativa de que a mesma evolua de 0,0% para 22,7% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 25,0% em 2017 para 36,4% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 25,0% em 2017 para 59,1% em 2027, correspondendo a um crescimento de 136% naquela participação.

Desenvolvimento de produto

A expectativa é de crescimento da taxa de difusão das tecnologias da geração 4 de 6,8% para 27,3% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 22,7% em 2017 para 36,4% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 29,5% em 2017 para 63,6% em 2027, correspondendo a um crescimento de 115% naquela participação.

Gestão da produção

A intensidade da difusão associada à geração 4 deverá se expandir de 0,0% para 20,5% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 15,9% em 2017 para 27,3% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 15,9% em 2017 para 47,8% em 2027, correspondendo a um crescimento de 200% naquela participação.

Relacionamento com clientes/consumidores

Espera-se que a intensidade da difusão associada à geração 4 evolua de 0,0% para 13,6% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, crescendo de 20,5% em 2017 para 38,6% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 20,5% em 2017 para 52,2% em 2027, correspondendo a um crescimento de 156% naquela participação.

Gestão de negócios

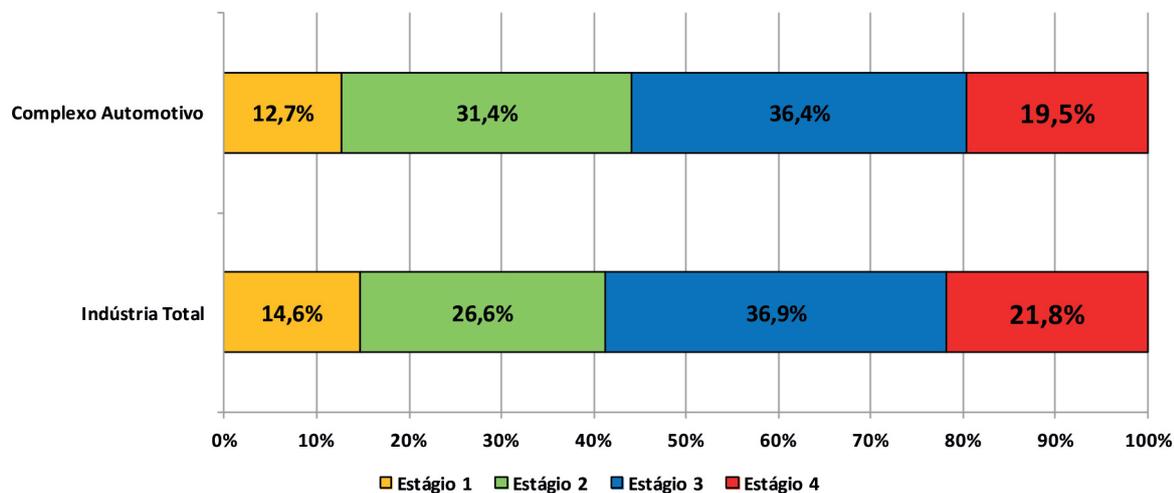
A intensidade da difusão associada à geração 4 deve crescer de 0,0% para 13,6% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 11,4% em 2017 para 43,2% em 2027. Como consequência o percentual de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 11,4% em 2017 para 56,8% em 2027, correspondendo a um crescimento de 400% naquela participação.

A2.5 Difusão futura – comparação entre funções

É possível também comparar a expectativa de difusão futura de tecnologias digitais observada no caso do SP do Complexo Automotivo com as evidências para o conjunto da indústria. Nesse sentido consideram-se dois aspectos: a expectativa de posicionamento futuro das empresas nas diversas gerações tecnológicas (Gráfico A9) e expectativa de adoção futura nas diferentes funções empresariais analisadas (Gráfico A10).

Com relação ao primeiro aspecto, no caso do Complexo Automotivo, verifica-se que 19,5% das empresas tinham a expectativa de atingir a geração 4, percentual esse abaixo do total geral do painel (21,8%). Quando se considera o conjunto das gerações 3 e 4, esse percentual atingia 55,9% no sistema produtivo do Complexo Automotivo, valor inferior à média geral (58,7%).

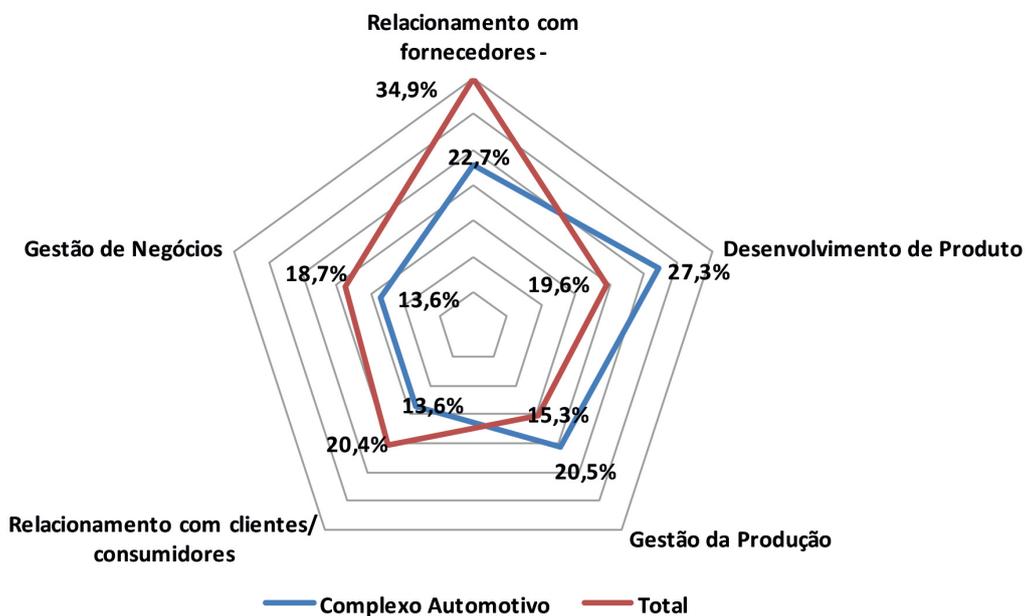
Gráfico A9 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, futuro, em % do número de empresas – SP do Complexo Automotivo e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

No caso da expectativa de difusão futura das tecnologias digitais aplicadas às funções empresariais, no sistema produtivo do Complexo Automotivo espera-se uma difusão mais intensa das tecnologias aplicadas ao desenvolvimento de produto e à gestão da produção, com a taxa de difusão sendo comparativamente menor no caso das demais funções. Comparando-se os resultados setoriais com o total da indústria, a taxa de difusão no sistema produtivo foi mais expressiva nas funções de desenvolvimento de produto (27,3% contra 19,6%) e gestão da produção (20,5% contra 15,3%), conforme ilustrado pelo Gráfico A10.

Gráfico A10 – Percentual de respondentes com expectativa de posicionamento na geração tecnológica digital 4.0 por funções organizacionais – SP do Complexo Automotivo e total da indústria



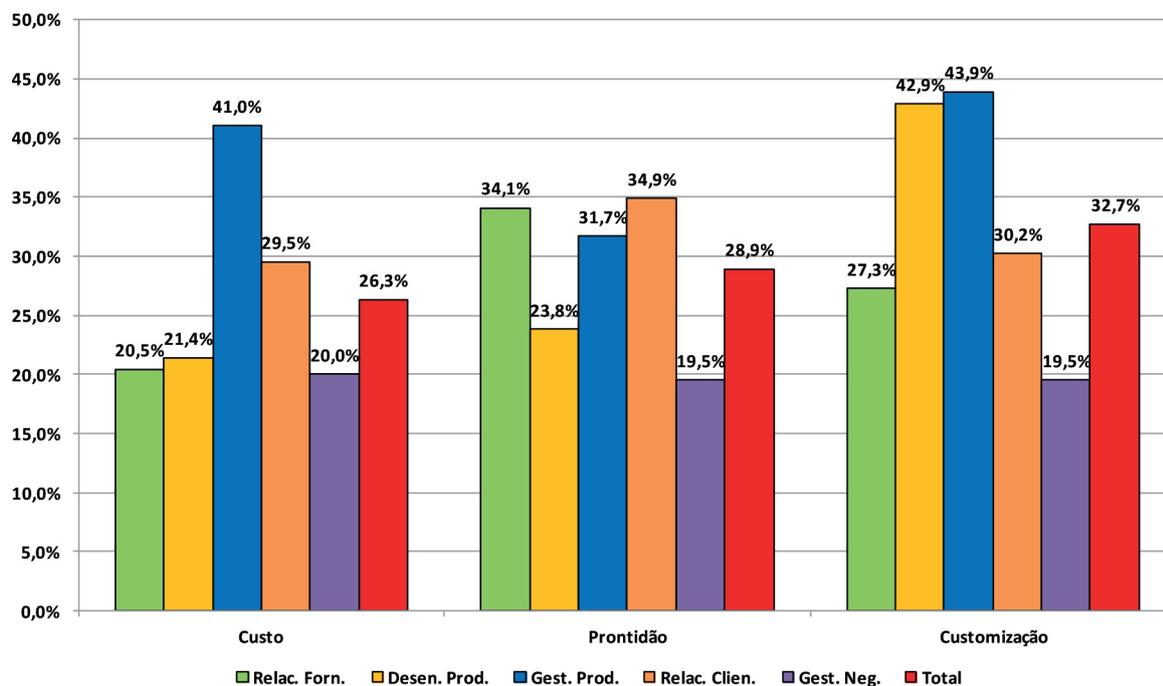
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.6 Impactos esperados da adoção das tecnologias da geração digital 4.0

Um dos aspectos contemplados na pesquisa de campo que influencia diretamente a adoção de inovações disruptivas pela indústria brasileira refere-se aos impactos atuais e esperados da adoção dessas tecnologias sobre a competitividade, a partir da consideração de determinados atributos competitivos. Em particular, três atributos foram considerados: custo; prontidão e customização. O Gráfico A11 apresenta o percentual de empresas que indicaram que a adoção de tecnologias 4.0 terá um alto impacto sobre a competitividade, por atributo competitivo (custo, prontidão, customização).

No caso do total geral obtido pela agregação das funções organizacionais, há uma pequena variação nos percentuais de empresas que apontaram um alto impacto para os três atributos considerados, com indicação de maior impacto associado ao atributo “customização” e menor relacionado com “prontidão” e “custo”. Considerando os três atributos em conjunto, a função em que se verifica maior impacto é da gestão da produção. Considerando-se separadamente cada função organizacional, o atributo “customização” foi mais relevante no caso das funções de desenvolvimento de produto (principalmente) e da gestão da produção. No caso das funções de relacionamento com fornecedores e de relacionamento com clientes, foi mais indicado alto impacto associado ao atributo “prontidão”, enquanto que na função de gestão de negócios os três atributos são igualmente importantes em termos do potencial de alto impacto.

Gráfico A11 – Percentual de respondentes que indicaram alto impacto das tecnologias da geração digital 4.0 sobre a competitividade, por atributo competitivo (custo, prontidão, customização), hoje – SP do Complexo Automotivo

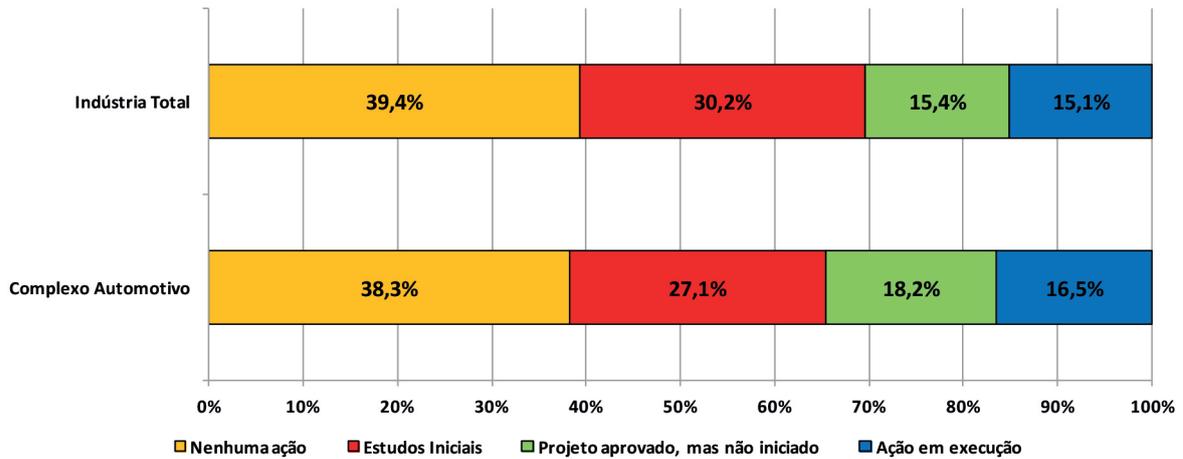


Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

A2.7. Ações para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0

Na perspectiva de avaliar a resposta estratégica das empresas face aos impactos potenciais das tecnologias 4.0, perguntou-se às empresas se há ações em curso visando à incorporação dessas inovações (Gráfico A12). As evidências mostram que a intensidade dos esforços para incorporação das tecnologias da geração 4.0 nas atividades das empresas é ainda bastante limitada. Para o SP do Complexo Automotivo, o percentual de empresas que reportaram ações em execução (16,5%) foi superior ao observado para o conjunto do painel (15,1%). Considerando-se também as empresas com projeto aprovado, o percentual observado nesse sistema produtivo (34,7%) foi também superior ao observado para o conjunto do painel (30,5%).

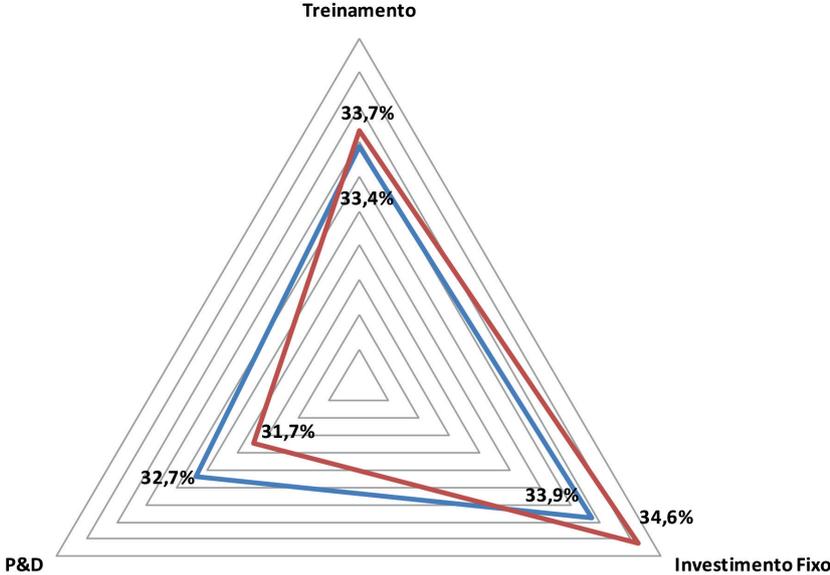
Gráfico A12 – Ações indicadas pelos respondentes para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0, hoje, em % do número de respondentes – SP do Complexo Automotivo e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

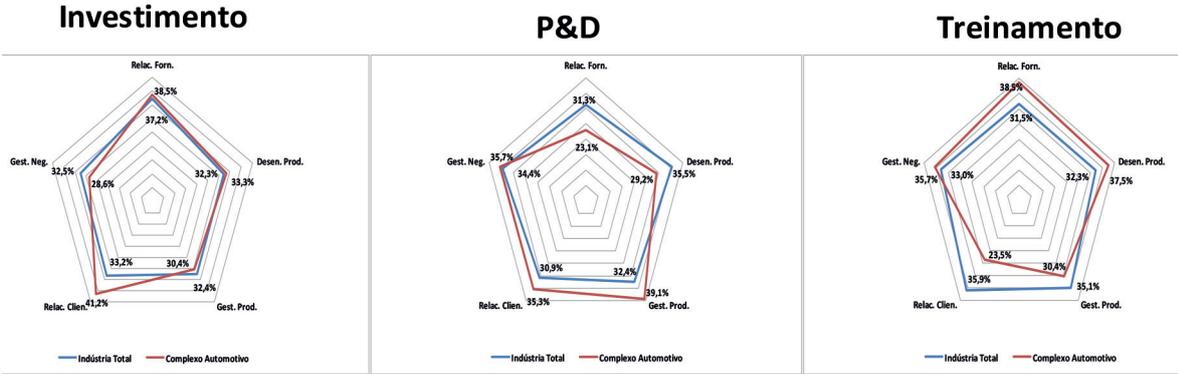
O Gráfico A13 compara o percentual de empresas do SP do Complexo Automotivo que apontavam ações em execução nas três dimensões investigadas – investimento, P&D e treinamento. Pode-se verificar que há um predomínio das ações em execução na dimensão do investimento. Comparativamente ao total do painel, observaram-se aqui mais esforços em investimento e treinamento e menos esforços em P&D. Considerando-se os resultados por função empresarial (Gráfico A14), verifica-se no SP do Complexo Automotivo que foi maior o percentual de empresas com ações em execução do tipo investimento na função de Relacionamento com clientes; Ações de treinamento em relacionamento com fornecedores e desenvolvimento de produto; e Ações de P&D em gestão da produção.

Gráfico A13 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0, hoje, esforços em investimento, P&D e treinamento – SP do Complexo Automotivo e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Gráfico A14 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0 – SP do Complexo Automotivo e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da pesquisa de campo.

Em linhas gerais, essas informações corroboram a constatação de que, não obstante a expectativa de aceleração da difusão de tecnologias 4.0, da elevada probabilidade das mesmas se tornarem dominantes nos setores de atuação das empresas e do seu impacto potencial sobre os diferentes atributos da competitividade, o esforço efetivamente realizado pelas empresas visando à incorporação dessas tecnologias é ainda bastante limitado.

A3 Considerações finais

Como tendência geral, observa-se hoje uma taxa de adoção das tecnologias 4.0 extremamente reduzida. Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, que pode estar fundamentada em estímulos da dinâmica competitiva setorial e na possibilidade de geração de impactos efetivos sobre diferentes atributos determinantes da competitividade. As evidências indicam que essas inovações podem ser implementadas em áreas distintas da empresa, num ritmo diferenciado, e que, eventualmente, podem surgir mecanismos de retroalimentação entre diversas funções organizacionais, capazes de gerar uma aceleração geral do ritmo de difusão.

IEL/NC

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Gianna Cardoso Sagazio
Superintendente

Suely Lima Pereira
Gerente de Inovação

Afonso de Carvalho Costa Lopes
Cândida Beatriz de Paula Oliveira
Cynthia Pinheiro Cumarú Leodido
Débora Mendes Carvalho
Julieta Costa Cunha
Mirelle dos Santos Fachin
Rafael Monaco Floriano
Renaide Cardoso Pimenta
Zil Miranda
Equipe Técnica

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Área de Administração, Documentação e Informação – ADINF

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Gerente-Executivo de Administração, Documentação e Informação

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização Pré e Pós-Textual

Execução Técnica

Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

Mario Sergio Salerno
Cristiane Matsumoto
Guilherme Amaral
Autores

Luciano Coutinho
João Carlos Ferraz
David Kupfer
Mariano Laplane
Luiz Antonio Elias
Caetano Penna
Fernanda Ultremare
Giovanna Gielfi
Mateus Labrunie
Henrique Schmidt Reis
Carolina Dias
Thelma Teixeira
Execução Técnica

Editorar Multimídia
Revisão Gramatical, Projeto Gráfico e Diagramação



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

Execução Técnica:



Iniciativa:



Confederação Nacional da Indústria

CNI. A FORÇA DO BRASIL INDÚSTRIA

Realização:



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria