



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO SOCIOECONÔMICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Thiago Rodrigues Lemos

**ELETROMOBILIDADE E BATERIAS DE ÍON-LÍTIO:
Spillovers tecnológicos das TICs à Indústria Automotiva**

Florianópolis
2022

Thiago Rodrigues Lemos

**ELETROMOBILIDADE E BATERIAS DE ÍON-LÍTIO:
Spillovers tecnológicos das TICs à Indústria Automotiva**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientadora: Prof. Dr. Marcelo Arend
Co-orientador: Prof. Dr. Gilson Geraldino

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rodrigues, Thiago
ELETROMOBILIDADE E BATERIAS DE ÍON-LÍTIO : Spillovers
tecnológicos das TICs à Indústria Automotiva / Thiago
Rodrigues ; orientador, Marcelo Arend, coorientador,
Gilson Geraldino, 2022.
140 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Sócio-Econômico, Programa de Pós-Graduação em
Economia, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Economia. 2. Indústria Automotiva. 3.
Eletromobilidade. 4. Baterias de íon-lítio. 5. Spillovers
tecnológicos. I. Arend, Marcelo. II. Geraldino, Gilson.
III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de
Pós-Graduação em Economia. IV. Título.

Thiago Rodrigues Lemos
ELETROMOBILIDADE E BATERIAS DE ÍON-LÍTIO:
Spillovers tecnológicos das TICs à Indústria Automotiva

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Glaison Augusto Guerreiro, Dr.
UFRGS

Prof. Helton Ricardo Ouriques, Dr.
UFSC

Prof. Luiz Carlos de Carvalho Júnior, Dr.
UFSC

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Economia

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Economia

Prof. Marcelo Arend, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2022



*À minha amada mãe, Beatriz Peres Rodrigues,
eterna fonte de inspiração ao trabalho, à compaixão e
à alegria em viver*

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o ato final de uma longa e intensa jornada que tem início há 3 anos, em meados de 2019, quando tomei a decisão de retornar a academia e prestar o exame da ANPEC, de modo a ingressar no Mestrado em Economia. Foram várias as pessoas que contribuíram diretamente para o sucesso desta caminhada e outras indiretamente aos quais deixo aqui os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente a Deus e todo o campo da espiritualidade, o qual acredito e sigo por meio de orações e meditações e que me dá todo o suporte para seguir em frente.

À minha grande amiga e também economista Karina Agatha Martins, que me incentivou e deu todo o suporte necessário para os estudos preparatórios para as provas da ANPEC. Jamais me esquecerei dos *Mind-Maps* !! Após o início do Mestrado me forneceu material e deu suporte moral, durante as disciplinas e na preparação da dissertação. Valeu demais por tudo Ká !!

À minha amada mãe, Beatriz Peres Rodrigues, que ainda em vida, me deu todo o apoio fundamental na jornada preparatória para a ANPEC, com a infraestrutura física dentro de casa, além das palavras de incentivo e orações, pedindo à Deus que me dessem ânimo para os estudos e sucesso nas provas. Sem você mãe, nada disso teria acontecido.

Ao meu grande amor, namorada, esposa e eterna companheira, Marina Scandolara, que esteve comigo desde a ANPEC, passando pelo sufoco das disciplinas iniciais até a saga da elaboração e escrita deste trabalho. Marina, você é uma inspiração de vida para mim e a cada dia percebo a leveza da vida nas suas palavras e gestos. Muito obrigado por compartilhar a vida comigo.

Ao meu amado irmão Leonardo Taveira Lemos que também esteve comigo desde o início, sempre com palavras sábias de motivação e torcendo apaixonadamente pelo meu sucesso. Participou ativamente nesta pesquisa, inclusive lendo os textos. Valeu demais mano!!

Ao grande amigo Dirk Muller, que conheci na primeira semana deste Mestrado e que foi fundamental para o sucesso nas disciplinas iniciais. Da mesma forma estendo o agradecimento aos amigos Lukas Pezzini nas parcerias de estudos em Microeconomia e ao Márcio Gomes com a ajuda nas formatações finais deste trabalho.

Agradeço imensamente ao Professor Marcelo Arend, que me acolheu como seu orientando, dando as diretrizes para a linha da pesquisa a ser seguida. A sua confiança e o compartilhamento de tanto conhecimento acadêmico, na elaboração do método e, sobretudo, da narrativa, foram fundamentais para o êxito desta dissertação.

Ao Professor Gilson Geraldino, que como co-orientador foi essencial para os rumos do trabalho, tendo a sacada chave da inter-relação entre TIC e automotivo, que acabou sendo o norte principal da pesquisa. Também retornando sempre muito rapidamente as minhas entregas.

Ao Professores Glaison Augusto Guerreiro, Helton Ricardo Ouriques e Luiz Carlos de Carvalho Jr por terem aceitado o convite em compor a banca de defesa, bem como pelas importantes contribuições e sugestões dadas na banca de qualificação.

A FIESC e todos os colegas de trabalho pelo enorme aprendizado nestes últimos meses, que contribuíram demais para a minha pesquisa. Em especial, pela disponibilização de acesso à plataforma de dados de patentes Derwent Innovation.

Ao colega Ricardo Horiuchi, que me deu todo o suporte técnico necessário para a extração de dados de patentes junto a Derwent. Ricardo, você foi essencial para a otimização das pesquisas e do método a ser aplicado.

Ao Darlan e demais servidores do PPGECO e a Universidade Federal de Santa Catarina, que assim como todas as instituições de ensino público, resistem aos persistentes ataques de forças não tão ocultas. Este é meu terceiro título em uma Universidade Federal Brasileira. Viva a UFSC, a UFPR, a UFRJ e todo ensino público, gratuito e de qualidade!!

Ao meu pai Ryan Barroca Lemos e ao meu outro irmão Douglas Taveira Lemos, assim como as minhas Tias e segundas mães Regina e Cristina, aos Tios e segundos pais Tadeu e Toni, à minha terceira mãe Cristina Taveira, à minha sogra Valderes e ao sogro Léo e a todos os amados primos e amigos de longa data que indiretamente fazem parte desta trajetória, além dos meus antepassados, Avô Mário Rodrigues e Avó Adair Peres Rodrigues.

Agradeço, por fim, a nossa querida Floripa, cidade que acolheu a mim e a Marina, oferecendo o mar para acalmar nossas almas e renovar nossas energias.

RESUMO

O sistema capitalista tem na Indústria Automotiva um setor chave para o desenvolvimento econômico. Todo o seu encadeamento produtivo, que envolve inovação tecnológica, gerou empregos qualificados, renda e riqueza entre as principais economias. Ao redor do mundo o carro foi e ainda é um objeto de *status*, o sonho de consumo para diferentes gerações e sinônimo de hegemonia para países que os produzem. A história automotiva é paradigmática, inicialmente em torno do motor a combustão interna e do sistema fordista e, posteriormente, pelo sistema toyotista, da absorção de componentes eletrônicos nos carros e das cadeias globais de valor. A forte dependência do petróleo e a relevância da Agenda Ambiental impulsionam o atual movimento da eletromobilidade e da sustentabilidade, viabilizados pelas inovações na microeletrônica fina. Tendo como marco teórico os conceitos da economia evolucionista neo-schumpeteriana, este trabalho pretende analisar a estrutura global da Indústria Automotiva no século XX diante do *lock-in* tecnológico do motor a combustão e identificar *spillovers* tecnológicos do setor de TICs que proporcionam o retorno do veículo elétrico neste início de século XXI, demonstrando que o rompimento com o *carbon lock-in* é uma realidade e um novo paradigma tecnoeconômico da Eletromobilidade, das Baterias de íon-lítio, dos Metais leves e da Sustentabilidade é possível. Para tanto, foi utilizado como metodologia a análise de dados históricos de produção e *market share* do setor Automotivo mundial e de políticas públicas voltadas para a descarbonização, bem como de documentos de patentes relacionados ao motor a combustão e às baterias de íon-lítio.

Palavras-chaves: eletromobilidade; motor a combustão interna; bateria de íon-lítio; *spillover*; *lock-in*

ABSTRACT

The capitalist system has in the Automotive Industry a key sector for economic development. Its entire production chain, which involves technological innovation, has generated qualified jobs, income and wealth, among the main economies. Around the world, the car was and still is an object of status, the dream of consumption for different generations and synonymous with hegemony for countries that produce them. The automotive history is paradigmatic, initially around the internal combustion engine and the fordist system and, later, by the toyotist system, from the absorption of electronic components in cars and the global value chains. The strong dependence on oil and the relevance of the Environmental Agenda, drive the current movement of electromobility and sustainability, made it possible by innovations in fine microelectronics. Having as a theoretical framework the concepts of neo-schumpeterian evolutionary economics, this work intends to analyse the global structure of the Automotive Industry in the 20th century in the face of the technological lock-in of the combustion engine and to identify technological spillovers from the ICT sector, that provide the return of the electric vehicle at the beginning of the 21st century, demonstrating that the break with the carbon lock-in is a reality and that a new techno-economic paradigm for Electromobility, Li-ion Batteries, Light Metals and Sustainability is possible. To this end, the analysis of historical data on production and market share of the global Automotive sector and public policies aimed at decarbonization was used as a methodology, as well as patent documents related to the combustion engine and lithium-ion batteries.

Key-words: electromobility; internal combustion engine; lithium-ion battery; spillover; lock-in

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva do modelo padrão de difusão e a classificação dos adotantes.....	29
Figura 2 – Nuvem de palavras mais repetidas nos títulos dos documentos de patentes relacionados ao motor a combustão interna – 1900 a 2019.....	84
Figura 3 – Metas governamentais ligadas a eletrificação de veículos e fim do motor a combustão.....	89
Figura 4 – Cadeia de valor tecnológico e configuração setorial da LIB.....	97
Figura 5 – Nuvem de palavras mais repetidas nos títulos dos documentos de patentes relacionados à bateria de íon-lítio para veículos elétricos – 1990 a 2019.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Participação da produção global de veículos – por países.....	63
Gráfico 2 – Produção global de veículos – por localidade e total (milhões de unidades).....	64
Gráfico 3 – Emissões globais de CO ₂ (em milhões de toneladas).....	66
Gráfico 4 – Emissões globais de CO ₂ (em milhões de toneladas) – por localidade.....	67
Gráfico 5 – Participação nas emissões globais de CO ₂ em 2020 – por localidade.....	67
Gráfico 6 – Vendas globais de veículos elétricos por localidade.....	71
Gráfico 7 - Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas ao Motor a Combustão – décadas de 1900 a 1950.....	78
Gráfico 8 – Participação no volume de documentos de patentes relacionados ao Motor a Combustão – décadas de 1900 a 1950 – países selecionados.....	79
Gráfico 9 – Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas ao Motor a Combustão – décadas de 1960 a 1990.....	80
Gráfico 10 – Participação no volume de documentos de patentes relacionados ao Motor a Combustão – décadas de 1960 a 1990 – países selecionados.....	81
Gráfico 11 – Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas ao Motor a Combustão – décadas de 2000 e 2010.....	82
Gráfico 12 – Participação no volume de documentos de patentes relacionados ao Motor a Combustão – décadas de 2000 e 2010 – países selecionados.....	83
Gráfico 13 – Participação no volume de documentos de patentes relacionados ao Motor a Combustão – por países ao longo das décadas.....	84
Gráfico 14 – Volume de documentos de patentes relacionadas ao Motor a Combustão – Mundo e principais continentes patenteadores.....	85
Gráfico 15 – Gastos consumidores e governamentais em carros elétricos.....	90
Gráfico 16 – Participação nas vendas globais de veículos elétricos em 2020.....	93
Gráfico 17 – Preço médio e rendimento médio das baterias de íon-lítio para EVs.....	95
Gráfico 18 – Participação no volume de documentos de patentes relacionados às baterias de íon-lítio para veículos elétricos – por países.....	100
Gráfico 19 – Volume de documentos de patentes relacionadas à LIB-EV.....	100
Gráfico 20 – Participação setorial dos top 50 que mais documentaram patentes de baterias íon-lítio para veículos elétricos.....	101
Gráfico 21 – Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes de baterias íon-lítio para veículos elétricos – 2019.....	102
Gráfico 22 – Top 20 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas à LIB-EV – volume total entre 1990-2019.....	103
Gráfico 23 – Participação no volume de documentos de patentes relacionados às baterias de íon-lítio para dispositivos eletrônicos – por países.....	104
Gráfico 24 – Volume de documentos de patentes relacionados às LIB-ED – por continente.....	105
Gráfico 25 – Participação setorial dos top 50 que mais documentaram patentes de baterias íon-lítio para dispositivos eletrônicos.....	106
Gráfico 26 – Top 20 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas à LIB-ED – volume total entre 1990-2019.....	106
Gráfico 27 – Capacidade de produção de LIB-EV por localização das fábricas.....	108
Gráfico 28 – Participação global do mercado de baterias para veículos elétricos por produtores.....	109
Gráfico 29 – Participação de mercado de computadores portáteis – top 15 maiores fabricantes em 2020.....	111

Gráfico 30 – Participação de mercado de telefones celulares – top 15 maiores fabricantes em 2020.....	111
Gráfico 31 – Crescimento do volume de documentos de patentes relacionadas ao motor a combustão e as baterias de íon lítio para veículos elétricos – índice de base fixa: 1990=100.....	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Incentivos nacionais para compra de EVs.....	89
Quadro 2 – Anúncio de investimentos em veículos elétricos – fabricantes selecionados.....	99
Quadro 3 – Estrutura e anúncios dos seis maiores fabricantes de baterias EV.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação da produção global de veículos – anos e países selecionados.....	64
Tabela 2 – Anúncios relacionados a veículos elétricos – fabricantes selecionados.....	92
Tabela 3 – Reservas e produção de Petróleo em 2020 – top 15 maiores países.....	115
Tabela 4 – Reservas e produção de Lítio no mundo (toneladas métricas) – países selecionados.....	119
Tabela 5 – Reservas e produção de Níquel no mundo (toneladas métricas) – países selecionados.....	119
Tabela 6 – Reservas e produção de Cobalto no mundo (toneladas métricas) – países selecionados.....	120

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
LISTA DE QUADROS.....	13
LISTA DE TABELAS.....	14
INTRODUÇÃO.....	17
1 – MARCO TEÓRICO.....	22
1.1 – A ESCOLA SCHUMPTERIANA.....	22
1.2 – A ESCOLA EVOLUCIONISTA NEO-SCHUMPTERIANA.....	24
1.2.1 – Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas.....	24
1.2.2 – <i>Lock-in</i> tecnológico.....	25
1.3 – A ESCOLA NEO-SCHUMPTERIANA, <i>SPILLOVER</i> E DIFUSÃO TECNOLÓGICA.....	26
1.3.1 – Revoluções Tecnológicas e Paradigma Tecnoeconômico.....	27
1.3.2 – Difusão tecnológica.....	29
1.3.3 – <i>Spillover</i> tecnológico.....	33
1.3.4 – As patentes.....	35
2 - REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E A HISTÓRIA AUTOMOTIVA: O <i>LOCK-IN</i> DO MOTOR A COMBUSTÃO.....	38
2.1 – O INÍCIO DA 2ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL, A ELETRICIDADE E O CURTO CICLO DE VIDA DOS CARROS ELÉTRICOS.....	40
2.2 – A CONSOLIDAÇÃO DA ERA DO PETRÓLEO E DO MOTOR A COMBUSTÃO: o fordismo e o carbon lock-in da Indústria Automotiva no século XX.....	44
2.3 – A 3ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL: PRODUÇÃO ENXUTA E FLEXÍVEL, CADEIAS GLOBAIS DE VALOR E A AGENDA AMBIENTAL.....	53
2.4 – EVOLUÇÃO SECULAR DA ESTRUTURA DE MERCADO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: a ascensão asiática na 3ª RI.....	62
2.5 – ELETROMOBILIDADE, SUSTENTABILIDADE E OS <i>SMARTS CARS</i> COMO FUGA DO CABON LOCK-IN?.....	67
3. <i>SPILLOVER</i> TECNOLÓGICO DAS TICS À INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: AGENDA AMBIENTAL, ELETROMOBILIDADE E O LOCK-IN DAS BATERIAS DE ÍON- LÍCIO.....	77

3.1 – DADOS DE PATENTES RELACIONADAS AO MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA.....	80
3.2 – AGENDA AMBIENTAL, POLÍTICAS PÚBLICAS E O MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....	88
3.3 – AS BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS E <i>SPILLOVER</i> TECNOLÓGICO.....	96
3.4 – DADOS DE PATENTES RELACIONADAS ÀS BATERIAS DE ÍON-LÍTIO.....	100
3.4.1 – Patentes relacionadas a baterias de íon-lítio para veículos elétricos.....	100
3.4.2 – Patentes relacionadas a baterias de íon-lítio para dispositivos eletrônicos.....	105
3.5 – O MERCADO DE BATERIAS DE ÍON-LÍTIO.....	109
3.5.1 – Mercado de baterias de íon-lítio para veículos elétricos.....	109
3.5.2 – Mercado de baterias de íon-lítio para dispositivos eletrônicos.....	112
3.6 – O <i>LOCK-IN</i> TECNOLÓGICO DAS BATERIAS DE ÍON-LÍTIO: DO <i>CARBON LOCK-IN</i> AO LÍTIO <i>LOCK-IN</i> ?.....	114
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
REFERÊNCIAS.....	127
APÊNDICE.....	138

INTRODUÇÃO

Uma das formas de entender a história é observar a trajetória de desenvolvimento econômico percorrida em diferentes sociedades, determinadas, por sua vez, por uma série de fatos e adventos. Na virada dos séculos XVIII e XIX, a expansão da máquina a vapor e das ferrovias, somadas a consolidação dos processos fabris, marcam de forma definitiva o curso de nossa história – é o início da era industrial. O sistema capitalista se desenvolve no Reino Unido e se expande por toda a Europa continental e além-mar, impulsionados pelo advento da eletricidade e da engenharia pesada, desencadeando a Segunda Revolução Industrial (2ª RI), já na segunda metade do século XIX. É nesta fase que surgem os primeiros poços de petróleo, bem como as invenções no âmbito tecnológico, que tem no motor a combustão interna talvez a mais emblemática delas. De um lado, temos o avanço da eletricidade e dos veículos elétricos, de outro as extrações de petróleo e dos motores a combustão. Isto nos leva a um embate sobre qual trajetória tecnológica a ser seguida no setor de transportes, em meio a expansão das cidades, construção de estradas e uma estrutura industrial em formação.

A consolidação do motor a combustão dá início – a partir da década de 1920 – a era do petróleo e do automóvel, acompanhados pela irrupção de novos processos e comportamentos, fortemente caracterizados pelos sistemas de produção e consumo em massa. A estabilização do padrão tecnológico, dá condições a um movimento de oligopolização da Indústria Automotiva, concentrada em poucas marcas e países. A intensificação dos avanços tecnológicos, sobretudo a partir da Segunda Guerra Mundial, desencadeia uma enormidade de transformações, nas mais variadas áreas do conhecimento e tecidos sociais. Já nos anos 1970, a Terceira Revolução Industrial (3ª RI) traz consigo um novo conjunto de possibilidades, baseados na popularização dos computadores e maior automação das máquinas. Esta fase altera novamente o padrão tecnológico, permitindo a reconfiguração da estrutura de mercado da indústria como um todo, abrindo espaço para a entrada de novos *players* e países. É neste contexto que a forte dependência em torno do petróleo se mostra um fator relevante, em termos econômicos e geopolíticos. Além disso, questões relacionadas a impactos ambientais, provenientes da industrialização massiva, passam a permear as discussões, em busca de ações mais efetivas direcionadas a sustentabilidade.

Este arcabouço de acontecimentos disruptivos chega à virada dos séculos XX e XXI diante de uma economia industrial amplamente globalizada – com suas cadeias globais de valor – e em meio a uma crescente preocupação com as mudanças climáticas. A Agenda Ambiental anseia por novos padrões tecnológicos menos poluentes, sobretudo na Indústria Automotiva, e

a revolução da informação e das comunicações dá a sustentação tecnológica para tal. O veículo elétrico volta ao protagonismo e passa a ser a alternativa viável para a transição energética, onde a eletromobilidade se coloca como uma disrupção paradigmática.

A partir da literatura disponível sobre a história da Indústria Automotiva, dentre suas principais características de desdobramentos, assim como por meio da análise de dados de documentos de patentes e de políticas públicas voltadas para a eletromobilidade, o presente estudo se propõe a responder as seguintes questões:

i. Como se deu e quais foram as transformações ocorridas na Indústria Automotiva e como se configuraram as diferentes estruturas globais de mercado do setor, ao longo de 120 anos de história, desde o veículo elétrico e o motor a combustão, até a eletromobilidade contemporânea?

ii. Existem *spillovers* tecnológicos oriundos do setor da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) que possibilitem o movimento da eletromobilidade e permitam a configuração de um novo paradigma tecnológico, com o rompimento do *carbon lock-in* rumo a um *lock-in* tecnológico nas baterias de íon-lítio?

Na visão evolucionista, é a inovação que detona um conjunto de mudanças que está por trás do fenômeno do desenvolvimento [...] a inovação está no centro da dinâmica do sistema capitalista. São a busca por novos bens, novos métodos de produção, novos mercados e novas formas de organização industrial, o impulso fundamental que põe em marcha a máquina capitalista (SCHUMPETER, 1984). Além disso, as características de uma economia são o resultado de uma série de ações, experiências e aprendizados ao longo do tempo, que configura uma trajetória de desenvolvimento *path dependence*. O conhecimento pré-existente influencia a escolha da adoção da nova tecnologia, onde os *spillovers* tecnológicos são vistos como resultado do processo de busca de “modelos” de desempenho pelas firmas dentro do ambiente a fim de desenvolver novas técnicas produtivas (NESLON & WINTER, 1982).

A partir da teoria econômica evolucionista, a problemática proposta suscita o seguinte objetivo geral para este trabalho: Analisar a estrutura da Indústria Automotiva global no século XX diante do *lock-in* tecnológico do motor a combustão e identificar *spillovers* tecnológicos do setor de TICs que viabilizam o movimento de volta ao veículo elétrico neste início de século XXI, demonstrando que o rompimento com o *carbon lock-in* é uma realidade e um novo paradigma tecnoeconômico da Eletromobilidade, das Baterias de íon-lítio, dos Metais leves e da Sustentabilidade é possível.

Para atingi-lo, são traçados três objetivos específicos:

(i) Verificar nas pressões em torno do petróleo e da relevância da pauta ambiental os motivos que permeiam o caminho da eletromobilidade, listando políticas públicas e anúncios do setor privado que direcionam à descontinuidade do motor a combustão e a eletrificação veicular.

(ii) Verificar nos dados de documentos de patentes que há uma convergência entre fabricantes patenteadores e líderes de *market share*, bem como entre países grandes depositantes de patentes e maiores produtores mundiais e que, no caso das baterias de íon-lítio, há uma retroalimentação entre os setores TIC e automotivo.

(iii) Mostrar a importância da bateria de íon-lítio, observando a sua difusão tecnológica em diversos setores, sobretudo na eletromobilidade e nos dispositivos eletrônicos, que a colocam como elemento chave na economia industrial contemporânea.

Dois hipóteses são sugeridas para esta dissertação. A primeira é que, a eletromobilidade é um fato e que, são os *spillovers* tecnológicos lançados pelo setor de TICs que dão condições para a sua implementação e a tornam uma realidade, em um movimento disruptivo sem volta no mundo atual.

A segunda hipótese é que, a eletromobilidade direciona para o rompimento com o *carbon lock-in* e que se desenha uma nova estrutura de mercado com a convergência dos setores de TIC e automotivo, desencadeando um novo paradigma com o *lock-in* tecnológico da bateria de íon-lítio.

A justificativa que motivou a pesquisa e a elaboração desta dissertação é pautada em três pontos centrais. O primeiro deles diz respeito a necessidade em entender como retornamos ao veículo elétrico e, sobretudo, ao que nos manteve por mais de cem anos no *lock-in* do motor a combustão. Aquilo que de fato motiva um movimento disruptivo, que “destrói” uma tecnologia e “cria” o “novo” precisa ser entendido e debatido com profundidade e sob diferentes pontos de vista. O “novo” neste caso é tão antigo quanto o “velho” e isto precisa ser contado. As motivações no espectro geopolítico que impulsionam as inovações e criam as condições tecnológicas para um novo paradigma devem ser analisadas.

A segunda motivação emana de questões no campo ideológico. É quase intuitivo que a riqueza das nações está ligada a inovação, P&D e liderança nos mercados de bens com alto grau de intensidade e sofisticação tecnológica. Da mesma forma é quase intuitivo atrelar uma marca a um país de origem, como se dizendo que grandes economias tem também grandes marcas. Entretanto, é analisando os dados que se tem a confirmação empírica que nos leva a pensar que aquilo que parece óbvio também precisa ser dito. Ao contar a história da Indústria Automotiva,

estamos também contando a história do capitalismo dos últimos 120 anos. Ao percorrer o movimento dos dados de patentes vemos também a hegemonia econômica entre os países.

A terceira motivação vem de questões pessoais. Há um especial envolvimento pessoal no campo do desenvolvimento sustentável, junto às práticas que buscam mitigar impactos ambientais e sociais, sem colocar em risco a saúde financeira, diante do tripé da sustentabilidade: Ambiental, Social e Econômico. Trabalhei por 8 anos na Indústria Automotiva e há pelo menos 9 anos acompanho o crescimento dos veículos elétricos pela ótica da sustentabilidade, tanto pelo lado da produção como em termos de políticas públicas. Neste caso, sinto-me bastante motivado em debater a eletromobilidade como alternativa menos agressiva – em termos de poluição do ar, mas, sobretudo, sonora – e também como alternativa ao desenvolvimento econômico das nações, pautada no incremento tecnológico.

Além desta parte introdutória, este trabalho está dividido em três capítulos principais. No primeiro temos uma revisão teórica da escola evolucionista, dando luz aos principais conceitos presentes na literatura schumpeteriana e neo-schumpeteriana. É feita uma leitura sobre paradigmas e trajetórias tecnológicos, definições de *lock-in* tecnológico, além dos conceitos de difusão e *spillover* tecnológicos, bem como da importância dos estudos com base em dados de patentes.

O segundo capítulo nos traz as revoluções tecnológicas e a história automotiva ao longo do século XX. É feito um relato do início da eletricidade, bem como do limiar do veículo elétrico, em seguida são contadas as histórias do petróleo, do motor a combustão como coração da Indústria Automotiva e do sistema de produção fordista. Uma breve análise é feita sobre a Crise do Petróleo de 1973 e seus desdobramentos, assim como da Agenda Ambiental que ganha relevância a partir da década de 1970, com diversas conferências nas décadas seguintes até o Acordo de Paris firmado em 2015. São abordadas algumas características da 3ª RI, com enfoque no sistema toyotista de produção enxuta e flexível, bem como da configuração das cadeias globais de valor. Faz-se uma análise dos dados de produção global de veículos entre os países e de *market share* entre as marcas. Temos, por fim, algumas definições científicas sobre mudanças climáticas e emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE), que desencadeia no estado da arte da Indústria Automotiva, com a eletromobilidade e os *smart cars*.

No capítulo 3, inicialmente são analisados os dados de documentos de patentes relacionados ao motor a combustão interna entre 1900 e 2019. Em seguida é feita uma leitura das principais políticas públicas, bem como das iniciativas do setor privado voltadas para a eletromobilidade. Os documentos de patentes relacionados a bateria de íon-lítio também são analisados, assim como o mercado entre os principais fabricantes e países, tanto para veículos

elétricos como para dispositivos eletrônicos. Por fim, o capítulo lança uma pergunta: o *lock-in* tecnológico da bateria de íon-lítio, estaria levando a uma eventual transição do *carbon lock-in* ao lítio *lock-in*?

1 – MARCO TEÓRICO

Neste capítulo inicial serão apresentados os principais conceitos da teoria econômica evolucionista diante de seus principais expoentes literários. A intenção é propor uma reflexão dos aspectos da dinâmica econômica, dando luz a definições que caracterizam os sistemas econômicos em constante transformação. O termo “economia evolucionária” foi criado por Thorstein Veblen (1898), onde os padrões cerimoniais de atividade não estão vinculados a qualquer passado, mas a um, que gerou um conjunto específico de vantagens e preconceitos, que estão por trás das instituições atuais. Julgamentos "instrumentais" (“tecnológicos”) criam benefícios de acordo com um novo critério, e, além disso, são inerentemente subversivas. Ao não considerar a racionalidade das escolhas e dos tomadores de decisões como fixa, a teoria econômica evolucionária concentra-se num processo de não-equilíbrio, que transforma a economia de dentro para fora. Baseia-se no método de Charles Darwin, onde o conhecimento dos agentes com racionalidade limitada flui entre experiências e interações, cujas diferenças contribuem para a mudança.

O capítulo tem na sua primeira seção uma breve exposição de Marx e Schumpeter sobre o caráter não estacionário e de incessante revolução tecnológica do sistema capitalista. Em seguida faz-se um leitura da escola neo-schumpeteriana, diante dos processos inovativos que traçam uma trajetória *path dependence*, criando paradigmas que desencadeiam aprisionamentos (“*lock-ins*”) tecnológicos. É ainda apresentado os aspectos que configuram um paradigma tecnoeconômico, além de conceitos e definições de difusão e transbordamento (“*spillover*”) tecnológicos, bem como a importância do método de interpretação dos dados patentes nos estudos empíricos.

1.1 – A ESCOLA SCHUMPTERIANA

Para Schumpeter, a vida econômica é entendida como um fluxo circular, que percorre os mesmos canais ao longo do tempo. A sua investigação dá-se no campo das mudanças que alteram o próprio curso natural e que surgem de dentro pela própria iniciativa da vida econômica. O capitalismo apresenta um caráter evolucionário, não estacionário e que não cresce de forma contínua. O desenvolvimento é algo que perturba a tendência ao equilíbrio. Trata-se de uma mudança espontânea e descontínua nos canais do fluxo circular que altera esse prévio estado de equilíbrio. (SCHUMPETER, 1984).

Na visão schumpeteriana, o capitalismo se inicia a partir do momento em que as situações de alternâncias começam a parecer inequivocamente. Esses movimentos contrários são responsáveis por colocar um fim num processo, em que um novo desenvolvimento surge por meio de pessoas e condições diferentes. Há, assim, uma sequência de mudanças, exemplificada com o automóvel:

O automóvel jamais teria adquirido sua importância atual e se tornado tão potente reformador da vida se não tivesse modelado as condições ambientais - estradas, entre elas - para seu próprio desenvolvimento futuro (SCHUMPETER, 1989).

A análise de Schumpeter enxerga o capitalismo como um método de transformação econômica, em sua essência. São a busca por novos bens, novos métodos de produção, novos mercados e novas formas de organização industrial, o impulso fundamental que põe em marcha a máquina capitalista. O processo de mutação industrial que revoluciona incessantemente a estrutura econômica a partir de dentro, que destrói o antigo e cria o novo. Este processo de destruição criadora é básico para entender o capitalismo (SCHUMPETER, 1984). A mudança, portanto, envolve uma ruptura na maneira como os meios de produção são combinados: “Nesse sentido, o modelo de mudanças evolucionárias de Schumpeter era essencialmente caleidoscópico” (SAVIOTTI; METCALFE, 1991).

Deve-se enfatizar o fato deste processo de destruição criadora ser de longo prazo, devendo ser estudado ao longo de décadas ou mesmo séculos. Trata-se de um processo orgânico que não deve ser entendido isoladamente, onde a inovação tem papel crucial. Para Schumpeter, a inovação está no centro da dinâmica do sistema, pois o lucro é resultado de uma inovação bem-sucedida implementada na economia. É a inovação que detona um conjunto de mudanças que está por trás do fenômeno do desenvolvimento – e sua lógica está articulada ao cerne da ação no sistema capitalista: a busca do lucro. É a inovação que alimenta o processo de destruição criadora que caracteriza o sistema capitalista (SCHUMPETER, 1984).

No Manifesto de 1848, redigido com Engels, Marx indica o papel da inovação tecnológica no sistema capitalista e a forma como essa característica distingue este sistema dos anteriores: [a] burguesia só pode existir com a condição de revolucionar incessantemente os instrumentos de produção, por conseguinte, as relações de produção e, com isso, todas as relações sociais [...] Essa subversão contínua da produção, esse abalo constante de todo o sistema social, essa agitação permanente e essa falta de segurança, distinguem a época burguesa de todas as precedentes (MARX; ENGELS, 1998).

Entre a publicação do Manifesto e a primeira edição de O Capital, Marx avança substancialmente a elaboração sobre as particularidades dessa incessante revolução tecnológica

que distingue o capitalismo dos sistemas anteriores – novas tecnologias provocam revolução no valor, a disputa pelos superlucros impulsiona a utilização de métodos mais modernos de produção e caracteriza a competição intercapitalista, a aplicação sistemática da ciência à produção transforma a natureza das forças produtivas (ALBUQUERQUE, 2020)

1.2 – A ESCOLA EVOLUCIONISTA NEO-SCHUMPTERIANA

1.2.1 – Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas

Desde Karl Marx, ficou explícito o entendimento de que o sistema capitalista requer o contínuo revolucionar de suas forças produtivas. Joseph Schumpeter entende o desenvolvimento econômico como um processo evolucionário e de destruição criadora, no qual a criação de novas estruturas dá-se em um sistema sujeito a rupturas e descontinuidades (AREND, 2012). A partir das discussões do papel da inovação no crescimento econômico, bem como do caráter evolucionista do sistema capitalista, a escola neo-schumpeteriana se propõe a avançar sob as características e dinâmicas da inovação nos processos de mudanças tecnológicas e revoluções.

É inerente à teoria evolucionária neo-schumpeteriana uma menor abstração da realidade. Apresentando uma metodologia que preconiza uma estreita ligação com a história, considera que compreender os contextos social, econômico, tecnológico e institucional, sua evolução e diferentes formas de interação são de fundamental importância para a explicação das trajetórias de um sistema econômico (FREEMAN, 1995).

Para Dosi (1988), o processo inovativo nunca é um processo aleatório, mas segue determinados padrões, onde a inovação tecnológica envolve a busca por soluções de problemas. Explorando os padrões de mudança tecnológica, Dosi (1982) traça um paralelo entre ciência e tecnologia, em termos de definições e procedimentos, e busca na epistemologia uma analogia:

Em ampla analogia com a definição kuhiana de um "paradigma científico", deve-se definir um "paradigma tecnológico" como "modelo" e um "padrão" de solução de problemas tecnológicos com base em princípios derivados das ciências naturais e tecnologias de materiais selecionados (DOSI, 1982).

O "paradigma tecnológico" define as necessidades que devem ser satisfeitas e os problemas que são tecnologicamente relevantes, bem como um conjunto de heurísticas e procedimentos que definem o padrão de pesquisa necessária para a descoberta e criação de soluções inovativas (DOSI, 1988). Além disso, ressalta-se que um paradigma define tanto direções da mudança tecnológica a serem selecionadas e perseguidas – critério positivo – quanto direções a serem negligenciadas e ignoradas – critério negativo –, com um poderoso

efeito de exclusão: os esforços se concentram em limitadas direções, dificultando a percepção de outras oportunidades tecnológicas (DOSI, 1982).

Dosi (1982) define como trajetórias tecnológicas os processos “normais” de solução de problemas dentro de um paradigma tecnológico estabelecido, ou seja, os múltiplos caminhos de progresso possíveis dentro dos limites impostos pelos *trade-offs* econômicos e tecnológicos de um determinado paradigma (DOSI, 1982; DOSI, 1988). Esse progresso “normal” está ligado às inovações incrementais, e ressalta a importância do papel dessas na trajetória de crescimento de cada tecnologia, que em algum ponto do tempo foi uma inovação radical. Uma trajetória tecnológica, originada de uma inovação radical introduzida ainda em versões primitivas, é determinada pelas inovações incrementais subsequentes. Essas inovações são mais lentas nas fases iniciais de experimentação, se intensificam e se aceleram uma vez que é estabelecido um design dominante e uma direção às quais as melhorias subsequentes vão seguir, e se tornam novamente lentas no ponto em que a trajetória alcança altos níveis de maturidades, o investimento em inovação passa a ter retornos decrescentes e o espaço de oportunidade para inovações incrementais se reduz (PEREZ, 2010).

Ao longo das trajetórias, pode-se verificar a propriedade de cumulatividade da mudança tecnológica, segundo a qual a tecnologia avança sobre a pré-existente e acumulam-se capacidades necessárias para solucionar problemas (DOSI, 1982). Essa cumulatividade do conhecimento tecnológico implica que, após o estabelecimento de uma trajetória, o progresso seja mais fácil nessa direção em detrimento de direções alternativas, isto é, faz com que trajetórias específicas estabelecidas apresentem retornos crescentes dinâmicos e não-lineares, o que implica em forte irreversibilidade do progresso tecnológico e *path dependency* (DOSI, 1988).

As tecnologias modernas e complexas podem apresentar retornos crescentes: quanto mais elas são adotadas, mais se acumula experiência e, por conseguinte, mais são melhoradas. Quando isso é verdadeiro, argumenta Arthur (1989), insignificantes eventos aleatórios que concedam vantagens iniciais para a adoção de uma determinada tecnologia magnificam-se ao longo do tempo através de feedbacks positivos (ARTHUR, 1990). Uma determinada tecnologia beneficiada pode, então, passar por maiores melhorias frente às tecnologias concorrentes, por consequência, pode se tornar ainda mais atrativa para uma maior parcela de adotantes potenciais; recursivamente, esse processo pode eventualmente fazer com que essa domine o mercado e as tecnologias concorrentes sejam *locked-out* (ARTHUR, 1989).

1.2.2 - *Lock-in* tecnológico

As melhores práticas, ou paradigmas tecnoeconômicos, evoluem através do uso de novas tecnologias, da superação de obstáculos e da procura por melhores processos e rotinas. Um paradigma é gradualmente internalizado pelos agentes e acaba por se tornar uma lógica compartilhada, ou “senso-comum”, enraizada na estrutura institucional, facilitando as inovações compatíveis e dificultando as incompatíveis (PEREZ, 2002). Esse processo caracteriza-se como auto-reforçador: por um lado, um paradigma tecnoeconômico funciona como sinalizador das melhores direções para os investimentos e as inovações; por outro, a maior adoção de novas tecnologias e a maior propagação em uma determinada direção confirmam na prática a sabedoria dos princípios compartilhados, fortalecendo ainda mais o paradigma (PEREZ, 2010).

Nas fases iniciais da história de uma tecnologia há diversas variações ou, até mesmo, paradigmas concorrentes entre si e, com o passar do tempo, uma dessas variantes torna-se a dominante enquanto as outras são abandonadas e um paradigma tecnológico é estabelecido. Na interpretação tradicional, a tecnologia vencedora é sempre a superior, e os processos de experimentação, tentativa e erro são necessários para evidenciar tal superioridade; por outro lado, numa interpretação baseada em retornos crescentes e *path dependencies*, entende-se que a tecnologia vencedora não precisa ser, necessariamente, a superior, mas apenas a variante que recebeu ao acaso maiores vantagens iniciais, desencadeando um processo “bola de neve” (DOSI; NELSON, 2013).

O modelo de Arthur (1989) inclui a possibilidade de que pequenos eventos históricos aleatórios que aconteçam durante a adoção de uma tecnologia se acumulem ao longo do tempo sob retornos crescentes, apresentando quatro propriedades: a) imprevisibilidade: os equilíbrios ou resultados possíveis são múltiplos e o conhecimento das preferências dos consumidores e das possibilidades tecnológicas não é suficiente para que se preveja o resultado de mercado; b) ineficiência potencial: a tecnologia aleatoriamente beneficiada nos estágios iniciais pode não ser a de maior potencial no longo prazo, implicando que não há garantia de que no sistema de *laissez-faire* a tecnologia superior seja a selecionada; c) inflexibilidade ou *lock-in*: a tecnologia dominante que emerge desse processo torna-se progressivamente mais *locked-in* no tempo, podendo ser abandonada apenas mediante altos custos; d) não-ergodicidade ou *path dependency*: os pequenos eventos não são esquecidos com o passar do tempo, mas podem se tornar persistentes e determinar o resultado final.

1.3 – A ESCOLA NEO-SCHUMPERIANA, *SPILLOVER* E DIFUSÃO TECNOLÓGICA

1.3.1 – Revoluções Tecnológicas e Paradigma Tecnoeconômico

O conceito de revoluções tecnológicas é apresentado por Carlota Perez e Chris Freeman para discutir a mudança tecnológica e o seu processo de destruição criadora, tendo duas características centrais em sua definição. Primeiro, as revoluções tecnológicas são um conjunto inter-relacionado de importantes inovações radicais, tanto de produto quanto de processo, que formam uma grande constelação de tecnologias interdependentes (PEREZ, 2010). A interação, coerência e sinergia dos sistemas tecnológicos dentro de uma revolução tecnológica implica que eles geram externalidades e mercados uns para os outros, influenciando as direções das inovações subsequentes (PEREZ, 2010).

A segunda característica, consiste em que as revoluções tecnológicas são mudanças nos sistemas tecnológicos que, por serem altamente pervasivas, não apenas introduzem importantes produtos, serviços e indústrias totalmente novos, como também possuem potencial de redefinir e afetar, direta ou indiretamente, os outros setores da economia (FREEMAN&PEREZ, 1988; PEREZ, 2002). Uma revolução dá origem a um processo de multiplicação de inovações e sistemas tecnológicos para além dos seus sistemas centrais, abrindo oportunidades lucrativas para a expansão e o crescimento (PEREZ, 2001). É essa característica que justifica a utilização do termo “revolução”.

A revolução tecnológica é uma condição necessária para a ocorrência de um período prolongado de crescimento econômico, porém não é condição suficiente, dado que é necessário também, uma estrutura socioinstitucional compatível com as novas tecnologias. Cada revolução tecnológica conduziu uma profunda transformação do conjunto de tecnologias utilizadas, tanto pela simples substituição quanto pela modernização do equipamento e processos existentes (PEREZ, 2002).

Depois de um período de incubação, difusão e amadurecimento de um conjunto inter-relacionado de inovações, tanto em termos técnicos quanto socioculturais, organizacionais e institucionais, novos produtos, novos serviços, novos mercados e novos investimentos lucrativos, gradativamente conforma-se um novo modelo de *best practices*, capaz de difundir por todo o sistema – econômico e socioinstitucional – um novo paradigma que, fruto daquela revolução tecnológica, impulsiona o crescimento da economia, que, por sua vez, influencia o ânimo e a confiança dos empresários (inovadores), estabelece duradoura onda de expansão econômica, marcada por uma forma mais eficiente e mais moderna da prática produtiva (PEREZ, 2004). Estes são os principais pontos do que se pode entender por paradigma tecnoeconômico (PTE). A configuração deste conjunto de fatores (tecnológico, econômico,

social, institucional e político) fornece as evidências empíricas que moldam a forma como os indivíduos enxergam as mudanças em curso e o ambiente onde se encontram. A partir do conceito de paradigma tecnoeconômico, evidencia-se que a evolução de um sistema econômico é determinada pela configuração e pelo conteúdo das relações entre sua base tecnológica, as condições econômicas – que definem o padrão das decisões econômicas –, mas sempre em conformidade com sua configuração institucional e social (SILVA & VILLASCHI, 2020).

O paradigma tecnológico é definido em Dosi (1982), num sentido micro – como o paradigma tecnológico do motor a combustão. Já o paradigma tecnoeconômico é definido em Freeman & Perez (1988) em um sentido mais macro, como uma constelação de paradigmas tecnológicos – como o paradigma tecnoeconômico do Petróleo, Automóvel e Produção em Massa. Ainda segundo Perez, os paradigmas “tecnológicos” e “tecnoeconômicos” são conceitos que não se contradizem, mas que de certa forma se complementam: os fenômenos macro, como revoluções tecnológicas e paradigmas tecnoeconômicos, são construídos sobre os micro-fundamentos da mudança tecnológica (PEREZ, 2010).

É através da influência de uma revolução tecnológica sobre o paradigma tecnoeconômico, que essa exerce sua capacidade de transformar outros setores, multiplicando o impacto das novas tecnologias por toda a economia. Além de promover o crescimento por longos períodos com as novas indústrias, uma revolução tecnológica também é capaz de guiar uma reorganização nas indústrias pré-existentes, impulsionando o aumento de produtividade e aumentando o potencial de criação de riqueza (PEREZ, 2010). Um novo paradigma tecnoeconômico surge em um mundo ainda dominado pelo paradigma antigo e começa a apresentar sua vantagem comparativa em apenas um setor, ou em alguns deles (FREEMAN; PEREZ, 1988).

A tecnologia evolui por revoluções, pois a prevalência de um paradigma específico, com suas amplas oportunidades inter-relacionadas, induz a uma profunda adaptação social às suas características. Isso cria um poderoso mecanismo de inclusão-exclusão, que evita divergências radicais no paradigma prevalecente, até que o imenso potencial dessa revolução se tenha consumido e se aproxime de seu esgotamento. O novo paradigma chega a se converter em senso comum geral, terminando por se enraizar na prática social, na legislação, e em outros componentes do marco institucional, facilitando as inovações compatíveis e obstaculizando as incompatíveis (AREND, 2012).

Segundo Conceição (2008), sob a perspectiva evolucionária, o crescimento econômico deve ser compreendido como resultado da progressiva introdução de novas tecnologias, associadas a níveis crescentemente mais elevados da produtividade do trabalho, à habilidade

em se produzir novos e melhores bens e serviços, que são progressivamente capital-intensivo. Nessa formulação, as novas “instituições” e “tecnologias sociais¹” aparecem como mudanças nos modos de interação (novos modos de organização do trabalho, novos tipos de mercados, novas leis, novas formas de ação coletiva), que são chamadas, como as novas tecnologias, a trazer novos usos econômicos.

Pode-se sugerir uma aproximação do conceito de paradigma tecnoeconômico com o de “tecnologias sociais”. Segundo Perez (1992, 2001, 2004), um novo paradigma serve como impulsor da difusão tecnológica, porque proporciona um modelo de prática ótima que pode ser seguido por todos. Da mesma forma, para Nelson e Sampat (2001), uma vez que novas tecnologias sociais [...] se institucionalizam, se convertem em métodos atrativos de fazer as coisas [...]. As tecnologias sociais definem maneiras de fazer as coisas com baixos custos de transação, que envolvem interações humanas [...]. As instituições são restrições, pois definem maneiras particulares de como se devem fazer as coisas (NELSON; SAMPAT, 2001).

1.3.2 – Difusão tecnológica

Na perspectiva neo-schumpeteriana, a difusão tecnológica é um conceito chave para o arcabouço referente aos impactos das inovações no ambiente econômico e social. A maioria dos estudos empíricos de difusão enfoca em como uma tecnologia, ou um conjunto delas, se propaga no sistema econômico (STONEMAN, 2001). Tradicionalmente, os que estudam a difusão buscam compreender como as coisas – ideias e práticas – vão de um lugar a outro (KATZ, 1999). No mesmo sentido, Stoneman (2001) afirma que a difusão de inovações é comumente entendida como o processo pelo qual novas tecnologias se propagam por seus mercados potenciais ao longo do tempo e do qual resultam os padrões de propriedade ou uso.

A difusão é um processo que acontece em dois estágios: o primeiro, denominado difusão inter-firmas, sinônimo de adoção, é o processo de propagação das inovações entre diferentes empresas. O segundo estágio é o processo gradual de intensificação do uso da inovação que acontece internamente à empresa, após a adoção, denominado difusão intra-firma

¹ Conceito desenvolvido por Nelson e Sampat (2001), onde a tecnologia tem uma “outra” dimensão, uma grandeza social, além daquilo que se poderia apreender como sendo sua dimensão física. Nessa perspectiva, a tecnologia é relacionada a formas de coordenação que surgem da interação entre os atores sociais para definir os parâmetros para a utilização física da tecnologia. A dimensão física da tecnologia corresponde aos insumos e aos procedimentos empregados na produção de um determinado bem, e a dimensão social corresponde à forma como o trabalho é dividido e coordenado entre os atores. As duas dimensões da tecnologia, conjuntamente, determinariam a produtividade de qualquer atividade produtiva.

(STONEMAN, 2001). A inovação na maioria dos modelos padrões aparece como uma criação acabada, pronta para ser adotada (SILVERBERG, 1991). Entretanto, segundo Rosenberg (1972), a difusão não é sempre a última etapa de um processo linear, após a invenção e a inovação, pois em muitos casos está contida num processo sucessivo de inovações incrementais, entendidas como os diversos e constantes aperfeiçoamentos pelos quais uma inovação totalmente original passa no decorrer de sua difusão. No caso de muitas tecnologias são as inovações incrementais que favorecem e aceleram a sua difusão (ROSENBERG, 1972).

No modelo de difusão de Silverberg, Dosi e Orsenigo (1988), a difusão é resultado de um processo evolucionário de seleção de tecnologias e competição de firmas, moldado por três pressupostos centrais, relacionados à natureza da tecnologia e às características das firmas:

(i) A tecnologia é caracterizada por diferentes graus de cumulatividade, oportunidades para avanços técnicos futuros, apropriabilidade, incerteza em relação à técnica, conhecimento tácito e experiência sob os quais as atividades de inovação estão baseadas;

(ii) As tecnologias se desenvolvem ao longo de caminhos relativamente ordenados, definidos como trajetórias tecnológicas, incorporadas em paradigmas tecnológicos;

(iii) Existirá, em consequência de (i) e (ii), como característica permanente e fundamental de ambientes industriais que passam por mudança técnica, a diversidade entre as firmas. Essa diversidade pode ocorrer até mesmo dentro de uma mesma indústria, e pode ser dividida em três categorias principais: assimetrias tecnológicas, variedade tecnológica e diversidade comportamental

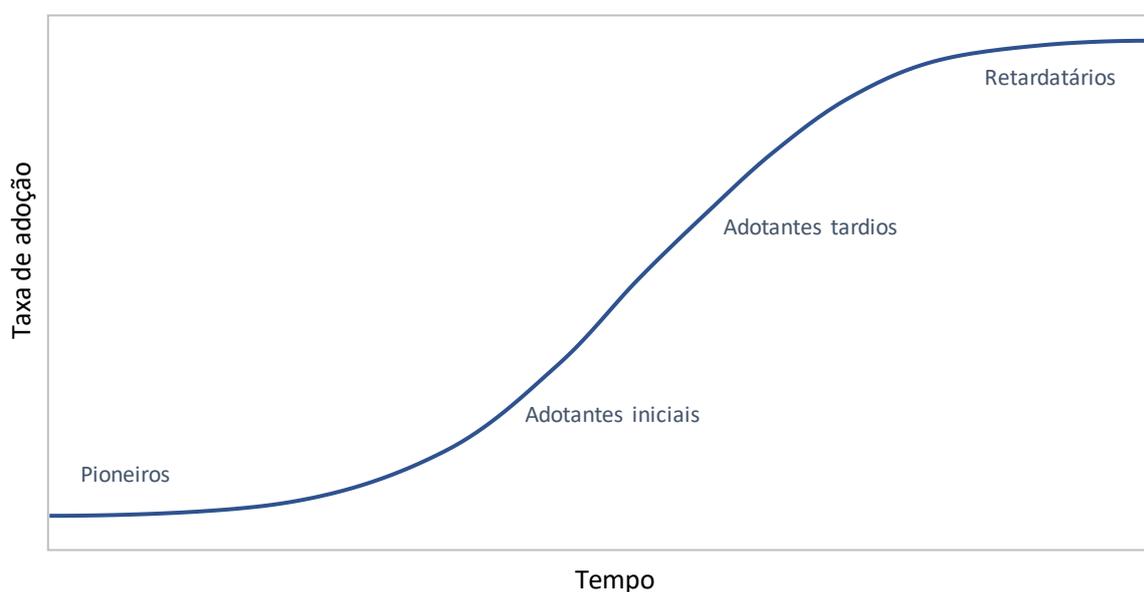
Como parte da diversidade das firmas, as diferenças comportamentais relacionadas às estratégias de inovação e de mercado são características que influenciam os processos de inovação e difusão. Uma inovação é uma ideia, prática, ou objeto que é percebido como novo por um indivíduo ou outra unidade de adoção (ROGERS, 2003). Tal apresentação conceitual extrapola a inovação como algo meramente tecnológico, atribuindo essa condição não somente para o ineditismo da ideia em si, mas seu real impacto social, já que uma novidade, não sendo “percebida” como nova, tem suas propriedades inovadoras praticamente anuladas (GINO et al, 2007).

Hall (2006) coloca que o conhecimento pré-existente influencia a escolha da adoção da nova tecnologia. Intrínseco a esse fator, a incerteza sobre os benefícios, custos ou duração da vida da inovação irá reduzir a taxa de adoção, e poderá inferir um problema de decisão em uma situação de escolha de opções. Rogers (1995) retrata ainda que a informação confere o poder de redução dessa incerteza, nas relações de causa e efeito na solução de problemas, e que a

difusão implicaria em uma espécie de “mudança social”, onde um sistema social tem sua estrutura e função alteradas.

Uma das contribuições emblemáticas dos estudos pioneiros sobre a difusão foi a verificação de que a difusão bem-sucedida tem o formato de uma curva em S (Figura 1), que representa a proporção de adotantes da inovação ao longo do tempo, para uma determinada população. Esse padrão de curva S encontrado na difusão de tecnologias é base para uma série de estudos que o relacionam às diversas características dos adotantes, classificados ao longo da curva como “pioneiros”, “adotantes iniciais”, “adotantes tardios” e “retardatários” (ROGERS, 1995).

Figura 1 – Curva do modelo padrão de difusão e a classificação dos adotantes



Fonte: ROGER (1995)

Segundo Roger (1995), a taxa de adoção seria a velocidade relativa na qual uma inovação é adotada pelos membros de um sistema social. O uso aumenta lentamente e depois acelera até um ponto de inflexão após o qual o uso continua a crescer, mas em uma taxa decrescente até que a assíntota seja alcançada. Hall (2006) destaca que o melhor benefício que pode ser recebido com a adoção de uma inovação seria a melhoria de desempenho em relação à tecnologia anterior. Entretanto, a lentidão na adoção de tal tecnologia pode se dar pelo fato de que uma vantagem relativa das novas tecnologias é geralmente pequena no momento do seu lançamento. Com o tempo a tecnologia vai sendo aperfeiçoada e adaptada para diferentes ambientes, se tornando mais atrativa para um conjunto mais amplo de indivíduos. Por meio do acúmulo de conhecimento os benefícios da adoção vão crescendo com o passar do tempo.

Outro aspecto colocado por Hall (2006) é que o valor da inovação percebido pelos consumidores vai depender da extensão de rede (*network*) na qual ela é adotada por outros. Padrões tecnológicos aumentam a chance de sucesso de comunicação entre dois ou mais produtos, além de facilitar o aprendizado dos consumidores e encorajam a adoção, quando os mesmos padrões ou similares são usados em uma gama de produtos. Ou seja, o tamanho da *network* é fundamental para difusão da inovação, podendo ser um fator importante para diminuir os custos de produção e aumentar a variedade e disponibilidade de bens complementares.

De acordo com Saloner & Shephard (1995), o tamanho do estabelecimento mostra um impacto significativo e positivo sobre a decisão de adoção, uma vez que empresas maiores sejam mais capazes de se apropriar dos benefícios da atividade inovativa. O tamanho pode ser uma proxy para eficiência, apoiando-se na ideia schumpeteriana de que empresas maiores são melhores na assimilação de inovações (STONEMAN & BATISIT, 1997). Além do tamanho, a estrutura de mercado e o ambiente industrial, influenciam a taxa de difusão da inovação no momento que empresas possuem maior poder de aquisição e diluição de custos, e que certos benefícios e melhorias podem trazer eficiência tanto para a vida dos consumidores quanto para os processos das organizações (HALL, 2006).

Na abordagem de Stoneman & Batisti (1997), temos ainda o enfoque da oferta e demanda da nova tecnologia de produto e/ou processo na análise do processo de difusão tecnológica. No geral, vê-se sob a ótica da oferta que a difusão envolverá o crescimento da capacidade de produção da nova tecnologia, provavelmente aliada a mudanças ao longo do tempo na localização do fornecimento e nos padrões de importação e exportação. Já do lado da demanda, veremos novas tecnologias primeiro espalhadas por um número crescente de países e, em seguida, a intensidade de uso ou propriedade nesses países aumentará à medida que mais famílias e / ou empresas (e talvez indústrias) usam as novas tecnologias, seguido por mais intensivo uso nessas famílias e empresas.

Em nossa opinião, portanto, a análise da difusão não é o estudo de uma área de nicho bastante pequena que apenas considera o primeiro uso de nova tecnologia por empresas em contextos de economia fechada, mas sim abrange muitas das grandes e importantes questões subjacentes ao desenvolvimento internacional de bem-estar econômico, o crescimento das nações e a distribuição da riqueza (STONEMAN & BATISTI, 1997).

No que se refere aos padrões internacionais no uso de novas tecnologias, Comin, Hobijn and Rovito (2006) destacam que não se espera necessariamente que a produção ocorra em todos os países, por uma série de razões, incluindo vantagem competitiva e especialização. A

produção de um novo produto começa em um país e, com o passar do tempo, se espalha para outros, sendo este também um processo de difusão. Importante enaltecer que antes de ser produzido em outros países, o produto teria que ser exportado, de modo a ser usado e difundido nos novos mercados.

1.3.3 – *Spillover* tecnológico

A discussão sobre *spillovers* tecnológicos tem origem na teoria neoclássica e ao longo do tempo, o conceito vai sendo incorporado por diversas outras vertentes do pensamento econômico, de modo a explicar a ocorrência de externalidades não capturadas pelos mecanismos de mercado (CARVALHO, 2005). *Spillovers* (transbordamentos) tecnológicos ou de conhecimento seriam externalidades positivas provenientes da atividade de P&D (ou atividade inovadora) realizada por um agente que, por diversos canais, podem beneficiar terceiros com conhecimentos novos, seja por meio de mecanismos de mercado ou não, mesmo sem se apropriar totalmente dos benefícios que gerou (JAFFE, 1996).

A constatação de que o crescimento da produtividade das empresas era influenciado não somente por seus próprios esforços tecnológicos, mas também pelos esforços de terceiros, está no cerne das discussões sobre *spillover* tecnológico. Esse conhecimento ‘emprestado’ ou ‘furtado’ de outras empresas ou indústrias é o que se convencionou chamar de *spillover* de P&D, ou seja, “o efeito do capital conhecimento ‘de fora’ – da firma ou da indústria em questão – influenciando a produtividade dentro de uma indústria” (GRILICHES, 1979). A abordagem neoclássica dada ao conceito de *spillovers* se preocupa, fundamentalmente, em medir os efeitos do transbordamento – ganhos do consumidor e do produtor, retornos social e privado. A ocorrência do fenômeno é analisada supondo uma função de produção, seguindo os pressupostos de racionalidade e equilíbrio. Grosso modo o conceito se baseia numa visão otimista e simplificada da difusão do conhecimento e da tecnologia, pelo qual, uma vez presentes, não haveria empecilhos para a difusão, sendo perfeitamente possível que essa ocorra através dos mecanismos de mercado (CARVALHO, 2005).

O enfoque evolucionista de tecnologia considera o desenvolvimento tecnológico como algo dependente de uma trajetória anterior (*path dependent*) e de esforços empreendidos que resultam no acúmulo de capacidades ao longo do tempo. Dessa forma, a tecnologia não seria um fator exógeno ao desenvolvimento das empresas ou economias, mas um objetivo a ser atingido através de busca e seleção (NELSON & WINTER, 1982). Em especial, a tecnologia não seria tão facilmente transmitida entre os agentes devido à presença de componentes tácitos,

não codificados, derivados da especificidade do conhecimento em suas diversas áreas de aplicação (NELSON, 1992). A difusão tecnológica não é um processo sem custos e automático, mas consequência desse processo de aprendizado. O processo de aprendizado é cumulativo e dependente das trajetórias anteriores (LALL & TEUBAL, 1998). Para Nelson & Winter (1982), os *spillovers* tecnológicos são vistos como resultado do processo de busca de “modelos” de desempenho pelas firmas dentro do ambiente a fim de desenvolver novas técnicas produtivas. Eles estão inseridos no processo de aprendizado coletivo.

A questão do prejuízo causado pelos transbordamentos tecnológicos para o nível de P&D adquire uma perspectiva oposta daquela levantada pelos neoclássicos, já que, de acordo com a teoria evolucionista, a existência de capacidades inovativas prévias seria pré-condição para a absorção do conhecimento disponibilizado por terceiros (LANGLOIS et al, 1996). Ao invés de desestimular, o exercício constante de P&D pela empresa contribui para fortalecer sua trajetória tecnológica e consiste num de seus mais valiosos diferenciais competitivos. A capacitação dos agentes locais determina a intensidade com que os mesmos conseguem absorver novos conhecimentos disponibilizados por outras empresas (CARVALHO, 2005). Ao considerar essa trajetória de capacidades tecnológicas acumuladas anteriormente, o processo de *spillover* tecnológico torna-se muito menos automático.

Spillover tecnológico é o resultado do extravasamento de conhecimento desenvolvido por um determinado agente (uma empresa, por exemplo), capaz de contribuir para o aprendizado tecnológico de outro agente (CARVALHO, 2005). Para que a difusão de determinado conhecimento ou tecnologia configure *spillover* tecnológico, o mesmo deve ser absorvido e assimilado pelos agentes locais de forma a ampliar suas aptidões tecnológicas, deixando-os mais capacitados do que antes de sua chegada (CHEN, 1993).

Ambas as escolas, neoclássica e evolucionista, direcionam meios de caracterização da existência de *spillovers* tecnológicos. São eles:

(i) Relações com agentes do sistema local de inovação: relações estabelecidas ao longo da cadeia produtiva, com fornecedores e clientes e com outras instituições (universidades e institutos de pesquisa);

(ii) Mobilidade da mão-de-obra: o conhecimento tecnológico pode ser transmitido por empregados que deixam empresas multinacionais para se alocar nas empresas locais, ou pela interação que tende a ocorrer entre os pares, em associações e entidades de classe, eventos do

setor etc. Algumas vezes a capacitação criada pelo trabalho naquela empresa possibilita mesmo a criação de empresas *spin-offs*²;

(iii) Efeito demonstração/imitação: aprendizado resultante da simples observação de novos produtos e processos produtivos que se disponibilizaram ou são introduzidos naquele mercado em função das atividades de uma empresa multinacional.

Esses mecanismos podem se manifestar sob dois âmbitos: quando ele acontece dentro de uma mesma indústria, os efeitos de transbordamentos são chamados de *spillovers* horizontais; quando ocorrem entre diferentes indústrias, entre empresas em etapas diferentes da cadeia produtiva, são chamados *spillovers* verticais ou inter-setoriais (LAPLANE et al, 2004).

Um método usualmente utilizado por grande parte da literatura para quantificar *spillovers* é através das medições da variação da produtividade de uma indústria. *Spillovers* estão presentes quando uma alteração positiva na produtividade for constatada a partir de uma regressão que tem entre suas variáveis explicativas a presença de empresas multinacionais. Variações na produtividade são usualmente associadas a uma maior intensidade ou desenvolvimento tecnológico, uma consequência da ocorrência de *spillovers* tecnológicos (KELLER, 2004).

Outro método adotado para medir a ocorrência de *spillovers* é o uso de dados de citação de patentes em determinado país (JAFEE et al, 1993). Uma patente dá ao seu titular um temporário monopólio legal para usar uma inovação em um mercado específico ao preço da divulgação pública de informações técnicas na descrição da patente (KELLER, 2004). Trabalhos desse tipo utilizam informações sobre a localidade de registro de patentes, e fazem então uma comparação com as localidades onde são constatadas citações dessa patente, o que configura uma medida da disseminação daquele conhecimento. De acordo com Jaffe et al (1993), “os fluxos de conhecimento deixariam um rastro (que poderia ser medido) na forma de citações de patentes”. Isso faz com que as citações de patentes sejam um instrumento não apenas de medição da disseminação do conhecimento, mas também do alcance dessa disseminação.

1.3.4 – As patentes

Com base na perspectiva do crescimento recombinate, as inovações tecnológicas surgem da capacidade de recombinar o conhecimento acumulados dentro de um determinado contexto institucional de maneiras novas (BESSANT & TRIFILOVA, 2017). As inovações

² O termo *spin-off* é utilizado para designar o processo que identifica o nascimento e/ou surgimento de instituições a partir de outras já existentes, e que com isso ganham vida própria.

recombinantes são pensadas para criar “atalhos” para tecnologias de nível superior em baixa comutação de custos, permitindo que os especialistas superem um *lock in* tecnológico (FRENKEN et al, 2012). Países que têm capacidade superior de dominar a geração recombinante de novos conhecimentos tecnológicos, têm provado alcançar taxas mais altas de crescimento da produtividade (ANTONELLI et al, 2010). Assim, a busca por novas oportunidades inovadoras é *path dependent*, onde os estoques de conhecimento servem como ponto de partida e bloco de construção para futuras inovações (AALDERING et al, 2019).

A esse respeito, Wu e Shanley (2009) indicam que o estoque de conhecimento determina não apenas a seleção, mas também a direção e a eficácia das atividades de exploração do conhecimento. As características do estoque de conhecimento existente de uma empresa influenciam até que ponto os esforços exploratórios são realizados. Neste sentido, uma compreensão abrangente dos estoques de conhecimento existentes e seu potencial de desenvolvimento pode ajudar os especialistas a decisões sobre a formulação da estratégia tecnológica. O conhecimento é tipicamente incorporado em vários tipos de recursos, como nas redes de funcionários de uma empresa, rotinas organizacionais, processos, estruturas e tecnologias de produtos e processos, em que o conhecimento tecnológico pode ser predominantemente encontrado em documentos de patentes (ERNST, 2003). Além de seu papel como meio de proteger as invenções, as patentes são consideradas um documento atualizado e reflexo confiável dos avanços tecnológicos e da atividade inventiva (YOON & KIM, 2012).

De acordo com vários resultados de pesquisas, as patentes incluem cerca de 80% das informações técnicas globais mais recentes, e esta informação não é publicada em nenhuma outra forma (ASCHE, 2017). Além disso, os dados bibliográficos de patentes contêm vários metadados para processamento estatístico, como números dos registros e suas respectivas datas, requerentes, inventores, códigos de classificação e informações de citação. Assim, a análise de dados de patentes pode fornecer uma cronologia da acumulação de conhecimento da empresa e de um setor (ZHANG & BADEN-FULLER, 2010). Por essas razões, os dados de patentes têm sido amplamente usado como uma fonte de entrada para a previsão de tecnologias emergentes, formulando estratégias de tecnologia, analisando as tendências de convergência tecnológica e visualizando o ecossistema de conhecimento tecnológico (SONG et al., 2017). Especialmente, o uso de classificação de códigos de patentes tem desempenhado um papel crucial na compreensão do fluxo de conhecimento tecnológico, medindo a importância e a intermediação potencial de cada setor de tecnologia (PARK e YOON, 2014). Além disso, Ahuja e Katila (2001) sugerem que, embora uma única patente represente um elemento de

conhecimento, um conjunto de patentes tematicamente semelhantes pode representar uma coleção de unidades de conhecimento relacionadas.

Os pilares da teoria econômica evolucionista aprofundados neste capítulo inicial darão embasamento para os próximos dois capítulos desta dissertação. A metodologia neoschumperiana que preconiza as ligações históricas, que busca explicações para as trajetórias do desenvolvimento econômico – compreendendo os contextos social, tecnológico e institucional – serão a base de sustentação teórica para entender a dinâmica dos paradigmas da Indústria Automotiva do passado, presente e futuro.

2 - REVOLUÇÕES TECNOLÓGICAS E A HISTÓRIA AUTOMOTIVA: O *LOCK-IN* DO MOTOR A COMBUSTÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar, numa análise secular, as principais transformações da Indústria Automotiva mundial ao longo das últimas duas revoluções industriais, do paradigma fordista do petróleo e da produção em massa e das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). A ideia central é mostrar que as principais transformações estruturais e consolidação da Indústria Automotiva ocorreram nas décadas iniciais da Segunda Revolução Industrial, seguido de um período de relativa estabilidade concorrencial e maturidade tecnológica, do pós II Guerra até os anos 1970. Com a irrupção de uma nova revolução industrial, ancorada no paradigma das TICs no final do século XX, mudanças na intensidade do processo de inovação técnica e na concorrência setorial tornam-se marcantes na Indústria Automotiva mundial, decorrente de maiores oportunidades de inovação pela incorporação da microeletrônica nos produtos e processos produtivos. Essa nova dinâmica inovativa alterou substancialmente o padrão de comércio e a geografia produtiva internacional, através do fenômeno do toyotismo e das cadeias globais de valor, além de evidenciar a ascensão dos países e empresas asiáticas como grandes *players* da Indústria Automotiva no início do século XXI. O paradigma tecnológico das TICs, aliado a ações de políticas públicas visando a sustentabilidade, sugerem um processo de rejuvenescimento (*de-maturity*) industrial do setor Automotivo no século XXI, com a superação do motor à combustão (*carbon lock-in*) através da eletromobilidade, novos processos produtivos e conectividade (ALBERNATHY & CLARK, 1985)

A intenção é demonstrar que na fase inicial da Segunda Revolução Industrial, o padrão tecnológico, bem como, a estrutura de mercado da Indústria Automotiva em consolidação passaram por transformações substantivas, em termos do número de empresas atuantes e tecnologias potenciais. Após algumas décadas de instabilidade e mudanças institucionais à estrutura de mercado e o padrão tecnológico estabilizaram-se, tornando a indústria oligopolizada e concentrada em poucas empresas e países. Essa dinâmica econômica na fase de instalação da 2ª RI originou um forte aprisionamento tecnológico e institucional, com impactos negativos ao meio ambiente, popularmente denominado de *carbon lock-in*. De certo modo, a irrupção da 3ª RI novamente alterou o padrão tecnológico e a estrutura de mercado da Indústria Automotiva no final do século XX, permitindo a entrada de novas empresas e países, bem como o surgimento de pressões institucionais para mudanças técnicas substanciais na direção da sustentabilidade. A agenda ambiental, em especial do século XXI, trouxe novamente a disputa

entre o motor a combustão e o veículo elétrico, evidenciada no início do século XX, porém com fortes evidências de que futuramente supere-se o *carbon lock-in* na Indústria Automotiva com a eletromobilidade.

A Indústria Automotiva, em uma análise secular, passou por diversas transformações, entre tecnologias revolucionárias, designs dominantes, sistemas de produção e variadas configurações de produtos através de inovações de nicho e incrementais. Primeiramente, do final do século XIX e início do século XX, presenciou-se um período de forte instabilidade no padrão tecnológico e energético, marcado pela breve hegemonia do motor elétrico frente o a combustão interna. Todavia, mecanismos institucionais, políticos e produtivos em co-evolução, na presença de retornos crescentes, levaram à consolidação do paradigma tecnológico do motor a combustão na Indústria Automotiva ao longo do século XX. Esse processo esteve relacionado à criação e constituição do complexo automotivo e petroquímico, onde os conceitos de produção em massa de Henry Ford se disseminam por todos os demais setores industriais. A produção de automóveis tornou-se mais barata e rápida, e apesar da pouca tecnologia embarcada, uma total integração entre indústria, fornecedores e consumidores enraizou-se na sociedade capitalista. É neste contexto que o motor a combustão tornou-se a tecnologia dominante nos veículos e o automóvel tornou-se o principal “sonho de consumo” do sistema capitalista.

A década de 1970 anuncia a chegada de um longo período de reestruturação na Indústria Automotiva. Após décadas de relativa estabilidade do paradigma assentado no petróleo e na produção em massa, choques no preço do petróleo e a irrupção de uma nova revolução industrial viriam a provocar profundas transformações no setor Automotivo global. Assistiu-se à disseminação do toyotismo, caracterizado pela produção enxuta e flexível, maior diferenciação de produtos, qualificação de trabalhadores e valorização de recursos humanos. É neste período que ocorre a inserção das marcas asiáticas no mercado internacional, com novas cadeias de fabricantes e fornecedores e o início da globalização. As novas tecnologias da informação e comunicação (TICs) reestruturam a Indústria Automotiva. Neste período os carros são caracterizados pela inserção de sistemas elétricos, melhorias na segurança e pelos avanços de eficiência energética – motorização 1.0 bem acima dos 50 CV da década de 1950, chegando a mais de 120 CV, como os motores 1.0 turbo compactos de alto desempenho com injeção direta da Volkswagen, por exemplo.

Atualmente, assiste-se a um processo de rejuvenescimento da indústria automobilística, na direção da sustentabilidade. A Agenda Ambiental, iniciada na década de 1970 aprofunda-se no século XXI, com impactos importantes na trajetória tecnológica e energética da Indústria

Automotiva. Em pleno século XXI, percebe-se forte convergência entre os setores emblemáticos das duas últimas revoluções industrial, na direção da sustentabilidade. A revolução da microeletrônica lançou *spillovers* tecnológicos para um novo rejuvenescimento da Indústria Automotiva. Seria essa uma possibilidade de reversão do *carbon lock-in*, proporcionando veículos conectados, compartilhados e automatizados, combinados à responsabilidades ambientais? Às seções que estruturam o presente capítulo objetivam exatamente aprofundar os parágrafos dessa breve introdução.

2.1 – O INÍCIO DA 2ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL, A ELETRICIDADE E O CURTO CICLO DE VIDA DOS CARROS ELÉTRICOS

A Segunda Revolução Industrial foi amplamente ancorada na energia, particularmente o petróleo, que alavancou o paradigma da produção em massa fordista. Carlota Perez a denomina de Era do Petróleo, do Automóvel e da Produção em Massa, marcada pela infraestrutura de autopistas, portos, aeroportos, redes de oleodutos, eletricidade de plena cobertura (inclusive doméstica); e telecomunicação analógica mundial.

É importante reter que uma revolução industrial, em seu início, traz consigo inicialmente a disputa de diferentes estruturas de oferta. Segundo Dosi (2006), na fase inicial da revolução é provável que o progresso tecnológico seja fluido, muitas vezes caracterizado pela alta taxa de natalidade e mortalidade das novas empresas “schumpeterianas”. Posteriormente, sempre que as trajetórias tecnológicas apresentam cumulatividade e grande apropriabilidade privada, provavelmente se desenvolve uma estrutura oligopolista mais estável, ganhando destaque barreiras estáveis à entrada.

Nessa linha, Utterback (1996), examinando exatamente a dinâmica de nascimento da Indústria Automotiva no final do século XIX e início do século XX, atesta para o desenvolvimento de uma trajetória tecnológica composta por três estágios: fluido, transitório e específico. As empresas que adotam uma nova tecnologia exibem um padrão fluido de inovação. A taxa de inovação de produtos, de caráter mais radical do que incremental, é alta. Nesse estágio, o risco de completo malogro é alto. As mudanças de produto são frequentes, assim como as mudanças no mercado e, dessa forma, o sistema de produção permanece fluido e a organização precisa de uma estrutura flexível para responder com rapidez e eficácia às mudanças no mercado e na tecnologia. À medida que as necessidades do mercado se tornam mais bem compreendidas e que as tecnologias de produtos alternativos vão convergindo ou desaparecendo, começa uma fase de transição em direção ao projeto de um produto dominante.

Nesse estágio, a concorrência nos custos leva a mudanças radicais nos processos, provocando rapidamente sua queda. A capacidade e a escala de produção assumem uma crescente importância para a obtenção de vantagens via economias de escala. As empresas grandes e sólidas tiram partido de seus recursos de produção, marketing e administração, bem como de suas atividades de P&D. À medida que o ramo industrial e o mercado amadurecem, e que a concorrência nos preços vai se tornando mais intensa, o processo de produção torna-se automatizado, integrado, sistematizado, específico e rígido, dando origem a um produto altamente padronizado. Entretanto, o dinamismo do ramo pode ser restaurado através das invasões de inovações radicais introduzidas por novos concorrentes.

Esta breve seção, ao retratar o ciclo curto de vida dos carros elétricos no início da Segunda Revolução Industrial, procura exatamente a dinâmica de progresso tecnológico “fluida” e instável, de acordo com a tipologia de Dosi (2006) e Utterback (1996). A 2ª RI baseou-se na eletricidade, no aço e no petróleo, ocorrendo importantes desenvolvimentos na química, e nas comunicações (DATHEIN, 2003). Uma de suas principais características foi o papel assumido pela ciência e pelos laboratórios de pesquisa, com desenvolvimentos aplicados à indústria elétrica e química, por exemplo (HOBSBAWN, 1968).

O desenvolvimento da eletricidade mudou radicalmente não só a economia e as indústrias, mas a vida cotidiana de toda a população. Esta energia possui muitas vantagens, como a transmissibilidade, sem perda de muita energia, e a flexibilidade, podendo ser facilmente convertida em movimento, luz, calor e som. A energia elétrica permitiu que os motores fossem acoplados aos instrumentos, diminuindo o uso de eixos e correias de transmissão. A facilidade de transmissão deu à energia elétrica um caráter onipresente e colocou-a ao alcance de uma parcela muito mais ampla da população, dado seu baixo custo. Facilitou também o desenvolvimento de pequenas indústrias, que podiam agora utilizar a mesma fonte geradora de energia das grandes e pagar de acordo com o seu consumo (DATHEIN, 2003).

As descobertas no âmbito da eletricidade atravessaram o século XIX, que desencadearam o surgimento de uma nova indústria, a indústria elétrica, de material, geração e distribuição (DATHEIN, 2003). Em 1832, o inglês Michael Faraday desenvolveu o dínamo, que permite converter energia mecânica em elétrica. Os dínamos foram acoplados a máquinas a vapor, rodas hidráulicas ou turbinas, o que tornaria possível o uso da eletricidade como energia para a indústria, a iluminação e o transporte. Em 1878/79 Thomas Edison inventou a lâmpada de filamento e em 1880 foi desenvolvida a tração elétrica, permitindo a criação do trem elétrico e a construção, por exemplo, dos metrô de Londres, Budapeste e Boston na década de 1890.

Na década de 1880 foram desenvolvidos também alternadores, transformadores e novos motores elétricos (LANDES, 1969a; HENDERSON, 1969).

Apesar de estarem no centro das discussões contemporâneas do século XXI de inovações tecnológicas e aparecerem com uma alternativa menos agressiva ao meio ambiente, os veículos elétricos (EV – *Electric Vehicle*) não são uma novidade e sua história se confunde com a própria história do setor Automotivo. O que se apresenta atualmente como inovador, na realidade surgiu em meados século XIX, onde os primeiros modelos movidos a eletricidade aparecem nos anais da história.

Ainda no final da década de 1820 e início da década de 1830 nomes como o do húngaro Anios Jedlik e do escocês Robert Davidson estão associados aos primeiros veículos elétricos. No entanto, foi apenas a partir da década de 1880 que se assistiu ao avanço tecnológico dos motores e baterias elétricas, acompanhado do início da exploração industrial das chamadas “carruagens sem cavalos”, os ditos automóveis da época. É neste período que se intensifica o desenvolvimento e criação de veículos movidos a eletricidade armazenada em bateria de chumbo, tanto na Europa como nos EUA (HOYER, 2010).

O primeiro veículo elétrico foi desenvolvido em 1837 pelo escocês Robert Davidson, uma locomotiva elétrica. Em 1842, ele apresentou um protótipo de tamanho real, a Galvani, que chegou a andar 2 km a uma velocidade superior a 6km/h, sendo alimentado por baterias não recarregáveis de zinco-acido. O interessante é que o veículo foi destruído por mecânicos que viram a Galvan como uma ameaça aos seus empregos, numa época que ficou conhecida como Ludismo (HOYER, 2010).

Foi apenas em 1881 que surgiram os primeiros triciclos, onde as rodas eram movidas por um motor elétrico, com bateria de chumbo, autonomia de 40km e velocidade de 15km/h. Já em 1890, William Morrison construiu um EV com um conjunto de baterias que demoravam 10h para carregar. Uma versão modificada deste veículo, ao qual foi retirado o banco traseiro para acomodar mais baterias, entrou na primeira corrida de carros de Chicago, em 1895, (MARTINS & BRITO, 2011). Na França, ainda em 1891, Charles Jeantaud, adotando baterias patenteadas por Camille Faure, começou a criar veículos elétricos. Com veículos capazes de rodar 60km em 4h, ele promoveu um serviço de taxis elétricos na cidade de Paris. No final da década de 1890, surgem os primeiros taxis elétricos também nas cidades de Londres pela *London Eletrical Cab Company* e Nova Iorque pela *Eletric Vehicle Company*. Esta última chegou a fabricar mais de 1 mil unidades de táxis baseados no modelo *Electrobat*, criado por Henry G. Morris (DAY, 1966).

No ano de 1899, o belga Camille Jenatton criou o famoso veículo batizado de *La Jamais Contente*, que foi o primeiro a ultrapassar a barreira dos 100km/h, se tornando o veículo mais veloz do planeta naquele momento. O veículo tinha um design que lembrava um torpedo, contendo 2 motores elétricos de 34cv cada. Este mesmo ano de 1899, marca um interessante duelo entre o *Jamais Contente* e o *Profilee*, de Charles Jeantaud, que promoveu as primeiras corridas de carros na França (WAKEFIELD, 1994). Segundo Martins & Brito (2011), Charles Jeantaud ganhou a primeira corrida e humilhou a tal ponto o único carro à combustão da prova (um Peugeot), que um jornalista teria afirmado que “o carro a gasolina jamais será uma proposta prática para as grandes cidades”.

Na exposição universal de Paris, em 1900, Ferdinand Porsche, com apenas 25 anos de idade, apresentou seu primeiro veículo, o elétrico e revolucionário Lohner-Porsche Elektromobil. Feito em madeira, incorporou pela primeira vez na história motores montados diretamente nas rodas (*motor-in-wheel*) com 3.5cv cada. Segundo alguns, trata-se também do primeiro veículo com tração integral 4x4. Pouco tempo depois, Ferdinand Porsche adaptou a versão de corrida deste veículo, tornando-o muito provavelmente, no primeiro veículo híbrido da história. Neste modelo, o motor de combustão apenas gerava eletricidade, não estando mecanicamente ligado as rodas. Isto possibilitava uma autonomia muito maior que a de um veículo elétrico puro (HOYER, 2010).

Durante a primeira década do século XX tivemos um *boom* no desenvolvimento e produção de veículos elétricos, na Europa e EUA. Eram muitas as marcas a fabricar veículos particulares e comerciais elétricos, que eram vendidos em números significativamente superior aos com motor a combustão, alcançando o pico de produção em 1912. **No início do século XX parecia que o futuro pertencia aos carros elétricos** (WAKEFIELD, 1994).

Destaca-se o *Auto-Mixte*, de 1906, um dos primeiros veículos híbridos paralelos, onde os motores elétricos e de combustão estão mecanicamente interligados. Trata-se dos mesmos conceitos utilizados na atualidade, como o Toyota Prius e o Honda Insight, por exemplo. A *Baker Electric Motor Vehicle Company*, de Cleveland (EUA), foi uma das marcas mais populares da era dourada do veículo elétrico e uma das mais vendidas até hoje. Segundo Martins & Brito (2011), o seu slogan era o de possuir os carros mais seguros e simples de serem utilizados do mercado, “um carro sem conta de reparações”, diziam. O modelo Baker Electric, de 1911, bateu o recorde de distância percorrida entre recargas, com 393,5km, utilizando as inovadoras baterias de níquel-ferro produzidas por Thomas Edison. Uma autonomia espetacular, ainda para os dias de hoje.

A mais popular das marcas de EVs e a que mais vendeu foi a Detroit Electric (mais de 35 mil unidades produzidas). Seus veículos também utilizavam as baterias níquel-ferro, (onde conseguiram exclusividade em 1912) e ofereciam uma garantia de 160 km de autonomia por carga. No mesmo período, ocupavam o mercado os luxuosos Woods, os robustos Studebaker e os suaves e elegantes Milburns. Este último, foi comprado pela *General Motors* (GM) em 1923, que por sua vez aniquilou a produção de veículos elétricos (HOYER, 2010).

A partir do avanço tecnológico dos motores a combustão, das técnicas de produção em massa de Henry Ford, e sobretudo da expansão da extração de petróleo, o veículo elétrico perde espaço. No entre guerras a produção de EVs praticamente parou, sendo utilizados em algumas cidades nos EUA e Reino Unido basicamente para a coleta de lixo, serviços de entregas e para distribuição de leite. Há, no entanto, alguns pequenos construtores na França, que mesmo com a racionalização de energia durante a Segunda Guerra, podiam ser carregados a noite. O mesmo ocorreu no Japão, quando em 1947 a Nissan produziu o que parece ser seu primeiro carro elétrico, o *Tama Electric Vehicle*. No Japão do pós-guerra, o carro elétrico tornou-se também bastante popular, por causa do racionamento de combustíveis, mas sua produção foi descontinuada na década de 1950 quando o racionamento cessou (BARAN & LEGUEY, 2008).

2.2 – A CONSOLIDAÇÃO DA ERA DO PETRÓLEO E DO MOTOR A COMBUSTÃO: o fordismo e o *carbon lock-in* da Indústria Automotiva no século XX.

A longo do século XX determinadas inovações tecnológicas e organizacionais concederam modelos de organização industrial que deram sustentação ao crescimento das economias, e ao desenvolvimento do sistema capitalista. Segundo Costa (2000), o estabelecimento de novos princípios manufatureiros, ao se constituírem em *drive* de produtividade, se convertem em paradigmas, passando a imperar na paisagem industrial até serem substituídos por outras práticas mais eficientes.

É a partir dos princípios de intercambialidade e de máquinas dedicadas, usados no Sistema Americano de Manufaturas³, que Henry Ford (1863-1947) promove uma série de inovações relacionados aos métodos de fabricação, sendo o pioneiro daquilo que passou a ser chamado de sistema de produção em massa. Segundo Chandler (1995), a nova forma de produção vai além da manufatura em grande escala. A eficiência desse sistema encontra-se nas

³ A expressão Sistema Americano de Manufatura (*American System of Manufacture*) refere-se a uma nova maneira de produzir bens industriais, que se difunde desde a metade do século XIX entre as empresas americanas, a partir dos métodos de produção introduzidos na indústria de armas — The Springfield Armory — em Massachusetts. A novidade na produção diz respeito à fabricação de peças intercambiáveis por meio de máquinas especializadas.

economias de tempo mediante o aumento na velocidade com que os materiais são trabalhados na produção. É essa ampliação no volume de material a ser transformado que permite reduções nos custos unitários do produto e não o porte da empresa em si; o maior tamanho da planta é uma resultante desse processo. A intensificação do ritmo do processo produtivo foi viabilizada ainda por outras inovações aplicadas no âmbito do chão-de-fábrica: a organização da produção em linha, a administração científica do trabalho e a linha de montagem móvel (COSTA, 2000).

Uma das principais transformações na organização do trabalho no século XX provém dos "princípios de administração científica", que Frederick Winslow Taylor (1856-1915) vinha desenvolvendo na produção manufatureira, nos Estados Unidos, desde fins do século anterior. Taylor (1987) acreditava que a lógica da mecanização, em que determinados movimentos padronizados de fabricação são incorporados a uma máquina especializada e, assim, repetidos de maneira mecânica, poderia igualmente ser estendida à área do trabalho. Taylor argumenta que os tempos e os movimentos que o trabalhador utiliza na execução de uma dada tarefa poderiam ser estudados e otimizados de acordo com leis científicas, possibilitando elevar assim o rendimento do trabalho a níveis nunca antes alcançados.

A revolução na organização do trabalho daí decorrente, ao separar a concepção e a execução das tarefas, bem como a sua simplificação, fez com que as atividades a serem realizadas pelos trabalhadores passassem a não lhes exigir qualificações sofisticadas, tornando-os, assim como as peças, intercambiáveis. Por exemplo, na fabricação do Modelo T, Ford estabeleceu que, em suas várias etapas de produção, o trabalhador deveria executar apenas uma tarefa, no geral bastante simples: assim, cerca de 43% das atividades a serem efetuadas não requeriam mais de um dia de treinamento, e boa parte da mão-de-obra da empresa era constituída de estrangeiros que não possuíam especialização alguma (FORD, 1926).

A lógica do sistema de produção em massa requer essencialmente que, em um dado tempo, se produza a máxima quantidade de uma mesma mercadoria. Para isso, o processo produtivo é realizado mediante a especialização de máquinas e de mão-de-obra, ou seja, equipamentos e trabalhadores, respectivamente, são dedicados à feitura de peças e à execução de tarefas específicas. Na execução do trabalho, quanto maior o tempo que um operário dedica a uma mesma tarefa, mais elevada tende a ser sua produtividade (princípio smithiano de divisão do trabalho e de que "a prática leva à perfeição"). Nesse caso, o aumento da eficiência produtiva está vinculado ao trabalhador individual, decorrente do fracionamento e especialização de tarefas, (estudos de tempos e movimentos tayloristas), redução da porosidade e intensificação do trabalho (linha de montagem móvel fordista) (COSTA, 2000).

Neste contexto de fabricação de amplos volumes em série, se faz necessário o controle do processo de trabalho e de eficiência produtiva, configurando assim a grande empresa industrial. A organização do processo de trabalho social no capitalismo contempla tanto a divisão técnica do trabalho no interior da planta, quanto sua divisão entre os diferentes ramos de produção, em que se estabelecem as relações das empresas com seus fornecedores/clientes e que são mediadas pelo mercado (MARX, 1983).

Para Chandler (1990), o fator dominante na aparição da empresa de grande porte na economia americana vincula-se a razões de eficiência. O imperativo de aumentar o volume de material transformado em um dado tempo leva a que as firmas façam investimentos em máquinas e equipamentos, estabeleçam canais de distribuição e *marketing* para dar vazão à produção e criem também um sistema articulado na gestão de suas atividades através de uma estrutura empresarial burocratizada, sob o comando de uma equipe gerencial na administração e no planejamento dos recursos. Esses são os elementos que para Chandler irão moldar a grande empresa industrial.

Segundo Costa (2000), no alvorecer do século XX, a produção manufatureira ingressava em uma nova era, onde as empresas já não eram somente de dimensões pequenas, com suas técnicas produtivas artesanais e ligadas a mercados locais. Ao contrário, desde então, consolidou-se a grande empresa com o domínio das diferentes fases da produção em uma única estrutura organizacional, indo desde a produção de matérias-primas até a venda do produto final. Essa organização industrial trouxe consigo novas formas de competição e de ajustes às mudanças econômicas. A empresa de grande porte atende à necessidade de estabilizar o mercado, pois a produção em maior escala, para ser efetiva, requer dos consumidores a absorção contínua dos produtos que, em massa, saem da linha de produção. Instabilidade no mercado e fragmentação da demanda são fatores perturbadores da eficiência e dos ganhos de produtividade (COSTA, 1995).

A obrigação em manter as linhas de produção em constante funcionamento, somadas às exigências de insumos adequados às suas necessidades, conduz a busca por minimizar a dependência dos fornecedores. Surge então a planta verticalmente integrada, como resultado da empresa industrial de maximizar a fabricação em massa e reduzir os custos. A Ford, de acordo com Womack et al (1992), ilustra bem essa estratégia de integração, cuja intensidade foi tal que agregou à produção de automóveis desde plantação de borracha, fábrica de vidros, minas de ferro, navios e ferrovia para o transporte de matérias-primas até a venda do produto ao consumidor final.

Segundo Hobsbawn (1968), com a Segunda Revolução Industrial surge uma produção em massa de bens padronizados e a organização ou administração científica do trabalho, além de processos automatizados e a correia transportadora. Concomitantemente, criou-se um mercado de massas, principalmente e em primeiro lugar nos EUA, com ganhos de produtividade sendo repassados aos salários. Por fim, houve um grande aumento de escala das empresas, via processos de concentração e centralização de capital, gerando uma economia amplamente oligopolizada (HOBSBAWN, 1968). Na estrutura industrial que se tornou hegemônica, a produção é feita em altos volumes standardizados em empresas de grande porte, verticalmente integradas, burocratizadas e com o emprego de mão-de-obra de baixa qualificação na execução de tarefas fragmentadas, repetitivas e especializadas (COSTA, 2000).

Nos limiares da indústria automobilística em fins do Século XIX, o veículo elétrico apresentava grandes vantagens quando comparado aos com motor a combustão e a vapor. O motor elétrico era muito mais limpo de operar, confiável e eficiente. A autonomia não era um empecilho para a época, haja vista que não havia estradas asfaltadas, e os trajetos eram percorridos em pequenas distâncias dentro das localidades. O motor elétrico não custava a arrancar: um veículo a combustão podia necessitar de até 45 minutos para arrancar em tempo frio, (MARTINS&BRITO, 2011).

No que se refere ao petróleo, essa forma de energia já era conhecida na antiguidade, devido a exsudações e afloramentos frequentes no Oriente Médio. No Antigo Testamento, é mencionado diversas vezes, e estudos arqueológicos demonstram que foi utilizado há quase seis mil anos. No início da era cristã, os árabes davam ao petróleo fins bélicos e de iluminação. O petróleo de Baku, no Azerbaijão, já era produzido em escala comercial, para os padrões da época, quando Marco Polo viajou pelo norte da Pérsia, em 1271 (CEPA, 1999).

A moderna indústria petrolífera data de meados do século XIX. Em 1850, na Escócia, o químico James Young descobriu que o petróleo podia ser extraído do carvão e xisto betuminoso, desenvolvendo assim as bases para refinação. Em agosto de 1859 o americano Edwin Laurentine Drake, perfurou o primeiro poço para a procura do petróleo, na Pensilvânia, extraíndo óleo a 210 metros de profundidade. O poço revelou-se produtor e a data passou a ser considerada a do nascimento da moderna indústria petrolífera (CEPA, 1999).

O uso do petróleo apresenta inúmeras vantagens sobre o carvão, como o fato de que produz duas vezes mais trabalho por unidade de peso e ocupa a metade do espaço. Isto, no caso de navios, por exemplo, permite economia de espaço e mão-de-obra, resultando em maior capacidade de carga. Além disto, o petróleo permite alimentação mecânica e limpa, com controle automático. O custo do carvão ainda era menor, mas o petróleo barateou rapidamente

com o uso de novas técnicas de refino e de transporte e com descobertas de novos poços (LANDES, 1969). Em 1859 a produção foi de 2 mil barris e em 1874 já havia chegado a 11 milhões de barris (HOBSBAWM, 1977). Dessa forma, a substituição do carvão pelo petróleo ocorreu primeiramente nas marinhas, enquanto nas ferrovias e na indústria ocorreu mais lentamente (DATHEIN, 2003).

O motor a combustão interna (ICE – *Internal Combustion Engine*) é uma máquina capaz de transformar energia térmica em energia mecânica a partir da explosão de uma mistura de ar e combustível. O sistema usa a combustão explosiva de combustível para empurrar um pistão dentro de um cilindro - o movimento do pistão gira um eixo de manivela que gira as rodas do carro por meio de uma corrente ou eixo de transmissão. Os diferentes tipos de combustível comumente usados para motores de combustão de automóveis são gasolina, diesel, querosene e etanol (BELLIS, 2019).

A história do motor a combustão começa ainda em 1680, quando o físico holandês Christian Huygens projetou (mas nunca construiu) um ICE, o qual deveria ser alimentado com pólvora (ALBERT, 2007). Já no século XIX, no ano de 1854, o primeiro projeto de um motor de combustão interna foi patenteado na Itália pelos engenheiros Eugenio Barsanti e Felice Matteucci. Em 1860, o engenheiro belga Jean Joseph Étienne Lenoir inventou e patenteou um motor elétrico de combustão interna de ignição por centelha de dupla ação, movido a gás de carvão. Em 1863, Lenoir acoplou um motor aprimorado (usando petróleo e um carburador primitivo) a uma carroça de três rodas que conseguiu completar uma viagem histórica de 80 quilômetros. O veículo foi batizado de Hippomobiles, o qual vendeu aproximadamente 350 unidades (DAY, 1966).

No ano de 1864, o engenheiro austríaco Siegfried Marcus construiu um motor de um cilindro com um carburador rudimentar e prendeu seu motor a um carrinho para uma condução rochosa de 500 pés. Vários anos depois, Marcus projetou um veículo que rodou brevemente a 16 Km/h, que alguns historiadores consideraram como o precursor do automóvel moderno, por ser o primeiro veículo movido a gasolina do mundo (BELLIS, 2019). Durante os anos em que Marcus trabalhava no projeto do Marcus II, outro alemão, Nikolaus Otto desenvolvia seu conceito do ciclo Otto, com os quatro tempos de funcionamento do motor (admissão, compressão, explosão e descarga). Otto criaria o primeiro motor de combustão interna eficiente, que queimava combustível dentro do cilindro em uma câmara de combustão propriamente dita, em 1876, juntamente com Gottlieb Daimler e Wilhelm Maybach (ALBERT, 2007). As contribuições de Otto foram historicamente significativas, seu motor de quatro tempos foi

universalmente adotado para todos os automóveis movidos a combustível líquido, de lá para frente (BELLI, 2013).

Em 1885, Gottlieb Daimler (junto com seu parceiro de design Wilhelm Maybach) levou o motor de combustão interna de Otto um passo adiante e patenteou o que é geralmente reconhecido como o protótipo do motor a gasolina moderno. O motor Daimler-Maybach de 1885 era pequeno, leve, rápido, usava um carburador com injeção de gasolina e tinha um cilindro vertical. O tamanho, velocidade e eficiência do motor permitiram uma revolução no design do carro. Em 8 de março de 1886, Daimler pegou uma diligência e adaptou-a para conter seu motor, projetando assim o primeiro automóvel de quatro rodas do mundo. Daimler é considerado o primeiro a inventar um motor de combustão interna prático. Já em 1889, Daimler e Maybach construíram seu primeiro automóvel do zero, diferentemente das adaptações a partir de outros veículos, como sempre faziam anteriormente. Onze anos depois, Wilhelm Maybach projetou o automóvel Mercedes (ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL, 1974).

O engenheiro mecânico alemão Karl Benz projetou e construiu, em 1885, o primeiro automóvel prático do mundo a ser movido por um ICE (ALBERT, 2007). Em 29 de janeiro de 1886, Benz recebeu a primeira patente (DRP No. 37435) para um carro movido a gasolina, era um veículo de três rodas. Benz construiu seu primeiro carro de quatro rodas em 1891, e sua empresa (Benz e Cia) tornou-se a maior fabricante mundial de automóveis em 1900. Benz foi o primeiro inventor a integrar um motor de combustão interna a um chassi - projetando ambos juntos (BELLIS, 2019). Cabe destacar ainda o desenvolvimento do ICE baseado no modelo de ignição por compressão, apresentado ao público no ano de 1900, pelo engenheiro franco-alemão Rudolf Diesel (BELLI, 2013).

Os franceses Rene Panhard e Emile Levassor são creditados com a invenção da transmissão moderna. Foi instalado nos veículos uma embreagem operada por pedal, com uma transmissão de corrente levando a uma caixa de câmbio de mudança de velocidade e um radiador dianteiro. Panhard-Levassor foram também os projetistas pioneiros a mover o motor para a frente do carro e usar um layout de tração traseira. Este design era conhecido como Systeme Panhard e rapidamente se tornou o padrão para todos os carros, proporcionando um melhor equilíbrio e uma direção aprimorada (BELLI, 2013).

Segundo Bellis (2019), O primeiro automóvel a ser produzido em massa nos Estados Unidos foi o Curved Dash Oldsmobile 1901, construído pela montadora americana Ransome Eli Olds (1864-1950). Olds inventou o conceito básico da linha de montagem e deu início à indústria automobilística da área de Detroit. Ele começou a fabricar motores a vapor e a gasolina com seu pai, Pliny Fisk Olds, em Lansing, Michigan, em 1885. Olds projetou seu primeiro carro

movido a vapor em 1887. Em 1899, com uma experiência crescente em motores a gasolina, Olds mudou-se para Detroit para iniciar a Olds Motor Works e produzir carros baratos.

O fabricante americano de automóveis Henry Ford (1863-1947) fez seu primeiro carro, chamado de "Quadriciclo", em junho de 1896. Em 1903 ele criava a Ford Motor Company, sua terceira empresa formada para produzir os carros que ele projeta e no ano de 1908 ele apresentou o famoso Ford Modelo T. Já em 1913, Ford aprimora as linhas de montagens e instala a primeira linha baseada em correias transportadoras, em sua fábrica de automóveis de Highland Park em Michigan. O método de fabricação reduziu o tempo de montagem (Modelo T foi montado em noventa e três minutos), reduzindo assim os custos de produção dos carros. Depois de instalar as linhas de montagem móveis em sua fábrica, a Ford se tornou a maior fabricante de automóveis do mundo. Em 1927, 15 milhões de Modelos Ts foram fabricados (BELLIS, 2019).

Uma importante passagem na história de Henry Ford foi a vitória conquistada por ele numa batalha de patentes com George B. Selden. Selden, que nunca construiu um automóvel, detinha a patente de um "motor de estrada", pela qual recebia royalties de todos os fabricantes de automóveis americanos. A Ford conseguiu anular a patente de Selden, abrindo assim o mercado automotivo americano para a construção de carros baratos (FORD, 1926).

Saída do primeiro Ford Modelo T em 1908 da planta de Detroit, Michigan, é considerado por Perez (2004) a inovação tecnológica mais emblemática da Segunda Revolução Industrial. É também a ilustração de uma inovação arquitetônica (Abernathy & Clark, 1985) capaz de desafiar empresas concorrentes e definir a estrutura produtiva e tecnológica do futuro, pela força de seu conceito, crescimento potencial e aplicação da própria ciência. A inovação arquitetônica do Ford Modelo T definiu o "produto dominante" na Indústria Automotiva, consolidando o motor a combustão e expulsando as empresas concorrentes que utilizavam motores elétricos. A partir de sua mudança radical no processo produtivo e com a aceitação do mercado consumidor, os custos de produção rapidamente entraram em queda. A capacidade e a escala de produção assumiram uma crescente importância, concentrando o setor e consolidando-se as grandes empresas e suas atividades de P&D. A partir desse momento, a Indústria Automotiva tornou-se emblemática no século XX, e o motor à combustão com o uso do petróleo como fonte de energia (ABERNATHY & CLARK, 1985). Após o boom inovativo, sobretudo nas tecnologias ligadas a baterias, pela qual a indústria dos EVs atinge seu ápice em 1912, a produção de EVs perde força durante a Primeira Guerra Mundial, e passa a ser irrelevante a partir da década de 1920, onde poucos eram os modelos em circulação. Segundo

Baran & Leguey (2008), atribui-se a derrocada do veículo elétrico e a vitória do motor a combustão a alguns fatores:

- A produção em série do Ford T, desenvolvido por Hery Ford, permitiu que o preço final dos carros a gasolina ficasse entre US\$ 500 e US\$ 1.000, o que correspondia a metade do preço pago pelos elétricos;
- Invenção do motor de arranque elétrico em 1912, que eliminou a manivela utilizada para acionar os motores a combustão;
- Estradas pavimentadas já conectavam cidades ao redor dos EUA, que por sua vez demandavam maior autonomia;
- Somam-se ainda as descobertas de petróleo no Texas, que reduziram os preços da gasolina.

É justamente a partir do fim da Grande Guerra que o veículo elétrico perde força (*locked-out*), onde um novo paradigma tecnoeconômico começa a se desenhar com o *lock-in* do motor a combustão. O caso da Indústria Automotiva e a mudança de trajetória tecnológica do EV para o ICE é bastante emblemático nos conceitos de *path dependency* e *lock-in* tecnológico. É difícil mensurar a frequência ou a importância do *path dependency*, por ser impossível construir um contrafactual; de qualquer maneira, a interpretação evolucionária da mudança tecnológica rejeita a visão de que o resultado obtido é, necessariamente, o ótimo, ou seja, que a mudança é um processo inevitável do “bom” para o “melhor” (DOSI; NELSON, 2013).

Uma vez estabelecido, o veículo ICE e seu sistema fordista associado de produção em massa, entrou em um período de retornos crescentes de escala, reduzindo os preços, melhorando o desempenho e iniciando o processo de *lock in* do ICE como o projeto dominante de propulsão (UNRUH, 2000). Estudos empíricos demonstraram que o *lock-in* de um projeto dominante, como o ICE, resulta em um “*industry shake*” onde os produtores de designs alternativos, como a propulsão elétrica, são forçados a sair negócios (ABERNATHY & UTTERBACK, 1978). Na década de 1890, por exemplo, havia 1900 diferentes firmas, produzindo mais de 3.200 versões diferentes de veículos ICE nos EUA. Porém, na década de 1920, esse número foi reduzido a algumas dezenas com o familiar “*big three*” da General Motors, Ford e Chrysler na liderança oligopolística. Em 1955, o “*big three*” detinha 90% do mercado nacional e 80% do mercado Automotivo global (NESTER, 1997).

Além do *lock-in* no âmbito tecnológico, podem ocorrer “obstruções institucionais” para o desenvolvimento de um determinado paradigma tecnoeconômico em determinada realidade

socioeconômica, ou em determinado país. Segundo North (1995), as economias são caracterizadas por serem formadas por mercados imperfeitos, dadas as dificuldades de se compreender um ambiente complexo, e por serem dinâmicas. Também, as instituições caracterizam-se por apresentar retornos crescentes e, por conseguinte, sua evolução resultar em equilíbrios inerciais em determinadas trajetórias, com custos e barreiras à mudança para trajetórias alternativas crescentes – o que é chamado de “*lock-in* institucional” (SETO et al, 2016). Isso significa que, uma vez escolhido um caminho, há a atuação dos mecanismos auto-reforçantes, que fazem com que a matriz institucional fique *lock-in* e seja *path dependence*. Assim, mesmo que as instituições existentes não sejam as mais eficientes para gerar desenvolvimento econômico, como há retornos institucionais crescentes, a tendência é que elas persistam (AREND, 2012).

Unruh (2000) argumenta que o avanço tecnológico *path dependent* e sujeito a retornos crescentes, combinado com a inércia das instituições políticas e do poder dos interesses estabelecidos, conduziu a um *lock-in* das economias industriais em um sistema energético – tecnologias e infraestrutura – fortemente baseado em combustíveis fósseis, intensivo em carbono e que levanta obstáculos à transição para sistemas alternativos. O estado de *carbon lock-in* é, portanto, resultado de um processo de co-evolução tecnológica e institucional, no qual os fatores institucionais e tecnológicos se reforçam mutuamente (UNRUH, 2000).

O termo *lock-in* implica no favorecimento do *status quo*, porém é normativamente neutro, podendo reforçar e aprisionar um sistema num resultado positivo ou negativo; o *carbon lock-in*, por outro lado, é necessariamente negativo, pois representa um obstáculo para uma desejada transição em direção de uma economia de baixo carbono (SETO et al 2016). Apesar do *carbon lock-in* restringir a expansão de mercado de tecnologias alternativas, entende-se que ele apenas atrasa o que é entendido como uma transição inevitável (UNRUH et al, 2006).

A dinâmica de desenvolvimento do *carbon lock-in* deve ser percebida em paralelo com a trajetória em direção à maturidade tecnológica da Indústria Automotiva, entre a Segunda Guerra Mundial e a década de 1970. Nesse período de quatro décadas, as inovações de processo e produto no setor tornaram-se incrementais e regulares, concentradas em pequenos avanços que reforçaram o projeto dominantes estabelecido no início do século XX. Direção hidráulica e os freios hidráulicos, transmissão automática, cintos de segurança, *airbags*, partida elétrica, aquecedores, para-brisas, limpadores, carrocerias mais aerodinâmicas etc. são exemplos de inovações incrementais que ocorreram na Indústria Automotiva até a década de 1970, evidenciando seu estado de maturidade tecnológica. Até esse momento, não se identifica

nenhuma inovação arquitetônica radical no setor, tampouco mudanças significativas nos negócios e nas cadeias de valor.

Cabe destacar que nesse período de maturidade do paradigma tecnológico, já existiam preocupações relacionadas aos poluentes liberados pelas emissões de CO₂ dos automóveis, evidenciando-se a questão do *carbon lock-in* no maiores centro urbanos das economias desenvolvidas. A tecnologia de baixa emissão de carbono dos motores a combustão (*low carbono emission*) foi desenvolvida nos anos 1950, pela General Motors. Todavia, essa tecnologia pode ser caracterizada também como uma inovação incremental, sendo aperfeiçoada somente décadas posteriores com o crescimento da Agenda Ambiental e a popularidade do fenômeno do carbon lock-in.

2.3 – A 3ª REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O TOYOTISMO: PRODUÇÃO ENXUTA E FLEXÍVEL, CADEIAS GLOBAIS DE VALOR E A AGENDA AMBIENTAL.

O desenvolvimento econômico ao longo do século XX teve no petróleo a sua fonte energética principal, com a consolidação do automóvel e, sobretudo, do motor a combustão como tecnológica dominante. O carvão mineral e o petróleo foram insumos fundamentais para a primeira e segunda etapas da Revolução Industrial, na Inglaterra e Estados Unidos, respectivamente. Os derivados do petróleo e a eletricidade, produzida a partir dos potenciais hidráulicos, do carvão e também do petróleo, tornaram-se a principal forma de energia do modo de vida urbano-industrial (SOUZA et al, 2014). Por essa razão, choques no preço do principal insumo energético atingem de forma avassaladora o processo produtivo de toda economia global, provocando pressões para transformações técnico-produtivas disruptivas. É nesse contexto que deve ser entendida a emergência da Terceira Revolução Industrial, e a reestruturação da Indústria Automotiva.

No dia 17 de outubro de 1973, os ministros das nações-membro da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP) determinaram o embargo das suas exportações, medida que entraria para a história como o primeiro “Choque do Petróleo”. O preço do barril saltou de USD 2,59 para USD 11,65, entre outubro e dezembro de 1973 (FURTADO, 1984). Racionamento e filas nos postos de gasolina nos Estados Unidos viraram manchete dos jornais.

“A crise do petróleo de 1973 e a acentuadas altas nos preços que se seguiram à revolução iraniana de 1978 causou estragos na economia mundial e dos Estados Unidos. O produto interno bruto dos EUA caiu entre 1973-75, 1980 e 1982. Desemprego e inflação escalaram rapidamente durante esse período” (GELLER, 1994).

Para entender melhor o contexto, no período entre 1945 e 1973 havia, no centro das decisões do mercado internacional, grandes empresas transacionais anglo-americanas, conhecida como as “Sete Irmãs” (Exxon, Mobil, Gulf, Texaco, Standard, British Petroleum e Royal Dutch Shell). Segundo Torres Filho (2004), este grupo seletivo estabelecia preços estáveis e atuavam em toda a cadeia de produção – desde o poço de extração até a distribuição em postos de gasolina. Sua capacidade de decisão estava suportada por uma série de contratos de concessões com os países produtores – periféricos – e por acordos entre elas que estabeleciam áreas geográficas de atuação para cada uma. O mercado apresentava taxas de crescimento de 7% anual, e a oferta era estruturalmente excessiva – desde a década de 1920. Ao Reino Unido correspondia, através da presença militar na região do Oriente Médio, a segurança interna e externa dos países produtores; e os EUA tinham o papel de “ofertantes de última hora”, garantindo assim sua segurança energética e a dos países da OCDE (SOUZA et al, 2014).

De acordo com Furtado (1984), durante quase duas décadas, enquanto os preços de quase todas as matérias-primas acompanharam aproximadamente a elevação internacional dos custos de produção, o preço do petróleo foi mantido artificialmente baixo, em torno de USD 2-3 barril, pelas companhias petrolíferas. À medida que o diferencial de preços entre o petróleo e outras fontes de energia aumentava em favor do petróleo, a carboquímica foi sendo substituída pela petroquímica, a química do álcool abandonada, sendo substituídas as matérias-primas por produtos sintéticos, (FURTADO, 1984). Os produtores basicamente vendiam sua mercadoria a preço baixo e compravam a dos outros países a preços cada vez mais altos, tendo em vista a inflação nos preços dos produtos por eles importados (GALVÊAS, 1985).

Outro fator importante que contextualiza o período é a suspensão unilateral da conversibilidade do dólar, em agosto de 1971, durante o governo Nixon nos EUA, pondo fim ao acordo de Bretton Woods. Este episódio desencadeou forte desvalorização do dólar, provocando inquietação nas oligarquias dos países exportadores de petróleo, uma vez que o produto era comercializado e cotado na moeda estadunidense. Além disso, existia um interesse entre a OPEP – formada em 1960 – e as companhias petrolíferas para a elevação do preço do barril de petróleo. A primeira estava preocupada em elevar as receitas de exportação dos países membros. Já as “Sete Irmãs” tinham interesse na subida do preço, pois possibilitava (economicamente) o investimento na exploração de outras jazidas de custos mais elevados – por exemplo petróleo no Alasca (BEAUD, 1987).

Por fim, um fator político soma-se a essa convergência de interesses, a guerra entre árabes e israelenses, que se torna o estopim para a OPEP decidir arbitrariamente quadruplicar o preço do petróleo.

“A guerra árabe-israelense, trouxe um componente político à reunião dos países produtores, no Kuwait, em outubro de 1973, na qual foi decidido adotar um corte seletivo nos fornecimentos de petróleo, como arma de pressão para a reconquista dos territórios tomados por Israel. Essa interrupção nos suprimentos revelou o alto grau de dependência dos países ocidentais com relação ao petróleo no mundo árabe (FURTADO, 1984).

Entre fins de 1973 e início de 1979, o preço do petróleo cresceu mais de 330%. A visão geral sobre a relação entre energia e sociedade sofre então uma mudança radical. De pré-condição para o desenvolvimento social, passa a ser percebida como um limite (ROSA, 1988), especialmente pelos economistas ecológicos. Na medida em que o crescimento econômico depende da disponibilidade de energia e esta, por sua vez, está limitada pela segunda lei da termodinâmica⁴, o crescimento econômico não poderia continuar indefinidamente, argumentou Georgescu-Roegen (1971,1976. In: ROSA, 1988). Existiriam, portanto, limites físicos ao crescimento econômico e a demonstração disto seria a crise em que os países importadores de petróleo mergulharam naquele período (SOUZA et al, 2014).

Em 1972, a ONU elaborou a Conferência Nacional sobre o Homem e o Meio Ambiente, conhecida como Conferência de Estocolmo. Para Le Prestre (2000), foram quatro os principais fatores que motivaram a conferência sobre meio ambiente e que, definitivamente, consolidou o que ele denomina de Ecopolítica Internacional – política socioambiental que trata do ambiente planetário:

1º) A constatação científica de que as ameaças à biosfera atingiam um caráter irreversível, especialmente em relação à qualidade das águas disponíveis para consumo e às mudanças climáticas;

2º) Catástrofes com repercussão internacional mobilizaram movimentos ecologistas em todos os países, especialmente nos ricos. O grande público destes países também começou a sensibilizar-se, embora em menor grau, com o desaparecimento de comunidades autóctones de algumas regiões dos países subdesenvolvidas, com as rápidas modificações nas paisagens naturais e com os acidentes ambientais nos mares;

3º) O rápido crescimento econômico do pós-guerra deixou duas consequências graves nos países periféricos: a transformação profunda no modo de vida das populações tradicionais, e o aumento significativo do êxodo rural; e, como consequência destes, um inchaço acelerado das zonas urbanas e, por último;

⁴ Pelo enunciado de Rudolf Clausius: “*É impossível a construção de um dispositivo que, por si só, isto é, sem intervenção do meio exterior, consiga transferir calor de um corpo para outro de temperatura mais elevada*”. Deste enunciado, pode-se estabelecer a impossibilidade do "refrigerador ideal". Assim, todo aparato refrigerador, para retirar calor de um ambiente, produzirá mais calor externamente.

4º), a constatação de que os problemas ambientais não poderiam mais ser resolvidos nos limites nacionais. As chuvas ácidas, a poluição dos mares, a acumulação de metais pesados e pesticidas, nos rios e mares, extrapolavam as fronteiras, indicando que as soluções só poderiam se dar pela cooperação internacional.

Entre os pesquisadores, políticos e ambientalistas, há quase uma unanimidade: A Conferência de Estocolmo, realizada em 5 de junho de 1972, representou um marco, tanto na popularização da problemática ambiental, como nas estratégias e/ou propostas adotadas, depois dela, pelos agentes envolvidos nesta questão. A partir daí, em quase todas as partes do mundo, a questão ambiental passou a fazer parte das agendas políticas. À parte suas deficiências, foi notável a influência que as questões debatidas, neste evento, tiveram nas políticas ambientais dos governos, tanto dos países centrais como periféricos (ROCHA, 2003).

Já em 1983, a ONU preocupada com o modelo de desenvolvimento dos países industrializados criou a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMD), a qual foi chefiada pela ex-primeira-ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland. Novas propostas foram apresentadas para enraizar concretamente a necessidade de uma relação ideal entre desenvolvimento e meio ambiente, redefinindo o problema ambiental com ênfase no desenvolvimento sustentável (LE PRESTRE, 2000). O documento final desta comissão, também conhecido como *Brundtland Report*, foi apresentado em 1987, e propõe o desenvolvimento sustentável que é, “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem às suas necessidades” (CMMAD, 1988). O relatório aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes (MARTINS, 2007).

A partir de então temas como mudanças climáticas, emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), nível dos oceanos, doenças respiratórias, poluição sonora, entre outros, passam a ser comumente abordados em conferências e acordos internacionais. Entre os principais acordos relacionados nas últimas décadas destacam-se: 1) Protocolo de Montreal (1987, alterado em 1990, 1991 e 1992), que defendia a eliminação dos clorofluorcarbonos (CFCs) e halocarbonetos; 2) Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas (1992), conhecida como Rio 92: evitar intervenções humanas perigosas no clima global; 3) Protocolo de Kyoto (1997): reduções de emissões de gases poluentes (de pelo menos 5%) por uma série de países; 4) Acordo de Paris (2015): medidas de redução de emissões de GEE a partir de 2020 (MONTENEGRO & CARVALHO, 2020).

Em 2015 foi elaborado um documento que ficou conhecido como Acordo de Paris, que prevê metas de redução do aquecimento global, por meio de práticas a serem adotadas pelos

196 países signatários, estabelecendo que: [...] dos compromissos de mitigação das Partes em termos de emissões anuais globais de gases de efeito estufa até 2020 e as trajetórias das emissões agregadas consistentes em manter o aumento da temperatura média global a menos de 2°C acima dos níveis industriais e promover esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (NAÇÕES UNIDAS, 2015).

O Acordo de Paris é hoje o principal documento de intenção de mobilização de esforços dos governos em prol de um planeta mais saudável para as próximas gerações. Em 2017 o governo de Donald Trump anunciou a saída dos EUA do acordo que havia sido assinado pelo seu antecessor Barack Obama. No entanto, em um de seus primeiros atos, o presidente atual Joe Biden ratificou o retorno ao compromisso firmado em 2015. Já a China (segunda economia do planeta) vem adquirindo protagonismo no Acordo de Paris, comprometendo-se na adaptação às mudanças climáticas e na adoção de energias renováveis (ENGELS, 2018).

Como vimos, o sistema que vinha prevalecendo durante as primeiras décadas do século XX foi da produção em massa. A *best practice* então conhecida era aquela fornecida pela produção em massa, isto é, a manufatura em altos volumes de produtos padronizados para um mercado de amplas dimensões. Com fim da Segunda Guerra, a reconstrução do Japão passa pelo conjunto de inovações organizacionais propostos pela fabricante de automóveis Toyota, em meados da década de 1940. A Toyota passa a propor novos conceitos de produção, de modo a viabilizar a fabricação de veículos de maneira mais eficiente, para um mercado de pequenas dimensões, como o Japão – o produto de apenas um dia e meio de trabalho na indústria automobilística nos EUA o era equivalente a toda produção anual japonesa, (SAYER & WALKER, 1992). As inovações de processo produtivo que ocorreram na Indústria Automotiva do Japão serão o cerne da dinâmica de reestruturação da indústria global a partir dos anos 1980, movimento denominado de Toyotismo. O fenômeno da estagflação da década de 1970, acarretado pelo choque do petróleo e pela maturidade tecnológica do padrão fordista de produção, as inovações ancoradas na microeletrônica, bem como as reformas liberalizantes na economia internacional intensificadas no final do século XX devem ser percebidas como movimentos coetâneos e paralelos da 3ª RI. A Indústria Automotiva novamente apresenta-se como o cenário de intensas mudanças técnicas e produtivas, que seriam em seguida adotadas pela quase generalidade dos demais setores produtivos da economia global.

Taiichi Ohno (1997) observa que, na equação simples de produtividade (produto total/número de trabalhadores), a forma tradicional de se conseguir a sua elevação é pelo aumento do numerador através da ampliação da escala de produção, o que implica na expansão dos mercados. Entretanto, em períodos de lento crescimento econômico, ou de queda de

produção, a eficiência deve ser alcançada pela redução do denominador mediante a diminuição da quantidade de trabalho empregada na produção. Isto, por sua vez, requer uma racionalização do processo de trabalho diferente daquela da produção em massa. É a baixa produtividade relativa da indústria japonesa, em formas inadequadas de trabalho, que levavam ao desperdício. Se fosse possível obter a eliminação de todos os tipos de desperdícios, então a produção de automóveis seria viável no Japão.

No sistema de manufatura em massa, o processo é concebido de modo a empurrar a produção para fora, cabendo ao departamento de vendas a responsabilidade por encontrar demanda para o produto que está saindo da linha de produção. Já no sistema de produção enxuta, a fabricação é puxada desde o exterior, a partir de uma demanda preexistente. Num sentido inverso ao da produção em massa, as solicitações de materiais têm origem nos pedidos. Essa filosofia do processo de trabalho evita desperdícios, garantindo assim, aumentos de produtividade e reduções de custos. Para alcançar a eficiência, o processo é organizado sob dois pilares básicos: a automação⁵ – combinação de autonomia e automação – e o *just-in-time* (OHNO, 1997). Este último refere-se ao processo de produção onde o material a ser trabalhado chega à linha de montagem apenas quando está sendo demandado e somente na quantidade necessária. Os benefícios dessa iniciativa vão desde a redução de *buffers stocks*⁶, pela não existência de material sobressalente, a um maior aprendizado sobre a produção, dado que os *feedbacks* são mais rápidos, bem como à minimização da área de retrabalho. Outro ganho refere-se à sincronização da produção; na tentativa de fazer com que haja fluidez do processo produtivo, os dirigentes da Toyota estenderam o *just-in-time* aos fornecedores e, em 1973, permitiram que entregassem as peças diretamente na linha de montagem (CUSUMANO, 1988).

As relações industriais adquirem outra dimensão sob o sistema de produção enxuta. A ligação vertical no chão-de-fábrica, tipo *top-down*, característica da produção em massa, é substituída por um relacionamento menos hierarquizado, onde se espera um maior envolvimento do trabalhador. A essa nova forma de organizar o processo de trabalho corresponde também um novo perfil de mão-de-obra, onde exige-se trabalhadores com um mínimo de escolaridade, capaz de ler e de entender instruções, de transmitir informações e de ser participativo no processo produtivo (COSTA, 2000). Destaca-se ainda o novo formato de desespecialização dos trabalhadores. Diferente do modelo taylorista/fordista de especialização,

⁵ Dispositivo inventado por Sakichi Toyoda que permite a parada automática na linha de produção, com a vantagem de que um mesmo operador possa monitorar várias máquinas simultaneamente. Isto permite a redução nos desperdícios de matérias-primas e em peças defeituosas ao detectar o problema com antecedência.

⁶ Tentativa de usar o armazenamento de mercadorias com o objetivo de estabilizar os preços em uma economia inteira ou em um mercado individual.

os operários são agora polivalentes e multifuncionais, não estando restritos a um único posto, pode assim circular entre diferentes tarefas.

Outra importante transformação ocorre no ambiente de relacionamento interempresas. O vínculo com os fornecedores de insumos na produção enxuta deixa de ser "distante" e passa a ser feito mediante parceria, com o estabelecimento de contratos de longo prazo entre a empresa e seus fornecedores. A rede de subcontratação é hierarquizada, estendendo-se em "camadas", ou seja, a empresa principal subcontrata fornecedores de primeiro nível, os quais subcontratam outras empresas de segundo nível e assim sucessivamente. Segundo Aoki (1990), nos *keiretsu* de capital, a rede de subcontratação é hierarquizada, estendendo-se em "camadas", ou seja, a empresa principal subcontrata fornecedores de primeiro nível, os quais subcontratam outras empresas de segundo nível e assim sucessivamente. Com a subcontratação, a empresa torna-se mais enxuta e flexível, capaz de dar respostas rápidas às mudanças no mercado (COSTA, 2000).

Cabe destacar, por fim, o caráter de ampla flexibilização do mix de produtos desta nova empresa, proporcionada sobretudo pelo emprego de novas tecnologias. Os avanços alcançados na microeletrônica desde o desenvolvimento do microprocessador no início dos anos de 1970, possibilitaram a geração de tecnologias de informação com a convergência entre as áreas da informática e de telecomunicações. Na visão de Costa (2000), o uso de tecnologias associadas a essas áreas permitiu às empresas se tornarem flexíveis, capacitando-as a criar vantagens competitivas superiores em fatores extra preço. De acordo com Perez (1986), a busca de flexibilidade não significa que a grande empresa ou o porte de ampla dimensão do estabelecimento deixe de existir. O ponto é que a escala da planta é capaz de se tornar independente do tamanho do mercado e, ao mesmo tempo, continuar eficiente. Essa nova configuração do processo produtivo irá impulsionar e aumentar a rivalidade no comércio internacional, pois o foco das empresas deixa de ser apenas o mercado interno, para tornar-se global.

Com a microeletrônica e a automação, a capacidade de os equipamentos serem programáveis é o que dá flexibilidade à produção, permitindo que se fabriquem lotes menores e variáveis de produtos. A expansão empresarial, assim, vincula-se à horizontalização do mercado pela variedade e diversificação dos produtos.

Na avaliação de Toffler (1985), à medida que se incrementa o mix de produtos, é necessária uma nova forma de gerenciar insumos e produtos, pois aumenta a complexidade organizacional e administrativa da empresa. Em um ambiente empresarial interno de frequente mudanças, uma estrutura organizacional permanente perde o sentido. É preciso, nesse caso, que

existam unidades modulares, criadas *ad hoc*, que permaneçam enquanto durarem os objetivos ou as metas estabelecidas.

Este conjunto de novos conceitos de produção adotadas na Indústria Automotiva é visto como o principal fator dos elevados indicadores de performance e ganhos de produtividade das empresas japonesas, já em meados da década de 1960. Entre os fatores que explicam a perda de eficiência no modelo de produção em massa, vê-se o esgotamento dos ganhos em produtividade via a organização do trabalho vigente. Além disso, tem-se a saturação nos mercados, que impõe limites de expansão da demanda, impactando diretamente no então vigente modelo de redução de custos via aumento na escala de produção. Como resposta, temos a configuração de um novo ambiente produtivo, pelo qual as empresas vão em busca de novos produtos, processos e práticas organizacionais.

Segundo Costa (2000), os alicerces dessa mudança encontram-se no surgimento de um novo paradigma tecnológico resultante dos progressos ocorridos nas áreas da microeletrônica, da biotecnologia e dos novos materiais e de técnicas organizacionais a partir de experiências bem-sucedidas de empresas japonesas. A segmentação de mercados mediante a individualização do consumo deu origem a uma "nova" empresa, em que a flexibilidade se constitui em um imperativo para se alcançar competitividade e sobrevivência nos mercados. Essa característica – ser flexível – permite à empresa adaptar-se a um novo ambiente transformado pela ação do progresso técnico. Conforme Womack et al (1992), a Indústria Automotiva é palco, mais uma vez, para profundas transformações na produção industrial a que se assistiu no último quarto do século XX.

A difusão acelerada de mecanismos digitalizados capazes de programar os processos de automação, como sensores e medidores digitais (CLP – Controlador Lógico Programável), permitiram otimizar de forma mais eficiente os fluxos de produção, com controle em tempo real. Vê-se um movimento onde a eletrônica passa a substituir a eletromecânica. Como visto, a aplicação da microeletrônica em uma base tecnológica comum de produtos e serviços, permitiu, o agrupamento de indústrias, setores e segmentos, na forma de um complexo eletrônico, densamente intra-articulado pela convergência da tecnologia da informação e comunicação. Segundo Coutinho (1992), a formação deste cluster de inovações capazes de penetrar amplamente, direta ou indiretamente, todos os setores da economia, configura a formação de um novo paradigma tecnológico, no mais puro sentido neo-schumpeteriano.

Desde meados dos anos 1970, já se mostravam configuradas as condições técnicas de aglutinação das TICs e da automação industrial, nas economias avançadas. No entanto, é ao longo dos anos 1980 que a rápida difusão dos bens e serviços do complexo eletrônico produzem o que Freeman e Perez, denominaram de um verdadeiro “vendaval de destruição criativa” (COUTINHO, 1992).

A criação de redes internas computadorizadas, passa a estabelecer novas relações com fornecedores, clientes, prestadores de serviços, institutos de pesquisa, universidades, ou mesmo concorrentes tradicionais, promovendo novas estruturas e estratégias empresariais. Mudanças importantes na organização das multinacionais, a partir da telemática, introduziu novos arranjos globais, combinando-se formas de descentralização regional ou por grupos de produtos com centros de serviços globais, ligados a finanças, comércio, P&D, processamento de dados e transportes (COUTINHO, 1992). Este conjunto de características é o início do que hoje denomina-se de cadeia global de valores.

A superioridade da grande empresa japonesa, que passa a ser imitada pelas multinacionais estadunidenses e europeias – reside numa estrutura multi-industrial, cooperativa e baseada num perfil tecnológico dinâmico. A capacidade de coordenar a cooperação interna (desde o chão de fábrica até a relação com os fornecedores e clientes); de enfrentar riscos, de colaboração técnica e solidariedade financeira (intragrupo); e de colher benefícios da inovação, aparecem como pontos chave do modelo. A conjugação destas características, somadas as já mencionadas automações flexíveis, diferenciação de produtos, bem como maior qualificação de trabalhadores e valorização de recursos humanos, passa a ser descrita como uma nova forma de organização e produção capitalista, denominada como toyotismo.

A partir dos anos 1990 tem-se o avanço de abertura das economias nacionais aos fluxos de investimento, comércio e tecnologia, que promove o aprofundamento da internacionalização diante de um processo de globalização. A interconexão verdadeiramente global dos mercados é facilitada pela desregulamentação dos sistemas financeiros, resultando num intenso processo de interpenetração patrimonial, entre grandes grupos industriais e financeiros, das principais economias capitalistas. Um dos efeitos é o crescimento de fusões e aquisições, com a criação de oligopólios globais, desencadeando por sua vez, um processo de concentração de concorrência mundial em algumas poucas empresas, sobretudo na Indústria Automotiva.

Importante destacar também, o movimento de formação de alianças tecnológicas entre duas ou mais empresas concorrentes, através de acordo de cooperação, projetos conjuntos, consórcios de pesquisas, *joint ventures* etc. Essas práticas visam compartilhar custos e riscos em P&D mas, sobretudo, a imposição de padrões tecnológicos dominantes em determinadas áreas. Na medida em que o produto oriundo de soluções padronizada se difunde, há um ganho de produção em escala, assegurando, por sua vez, participação de mercado. Este processo de formação de alianças entre empresas oligopolistas pode ser entendido como característica do avanço da globalização nas economias industriais. Segundo Coutinho, 1992:

As mudanças significativas de reorganização tecnológica, empresarial e financeira, das principais economias capitalistas a partir de meados da década de 1970 – complexo eletrônico, TICs, automação flexível, cadeias globais de valores, globalização como aprofundamento da internacionalização, e alianças tecnológicas interoligopolistas – configuram um cenário de evidente inovação econômica, entendida como uma onda schumperiana endogenamente articulada.

Esta seção procurou mostrar que os anos 1970 e 1980 foram marcados pela irrupção de uma nova revolução industrial, cujo epicentro novamente esteve relacionado com as transformações da Indústria Automotiva. Essas décadas evidenciaram a difusão do toyotismo e formas organizacionais de produção flexível. Turbinadas pela inovações tecnológicas da microeletrônica, o processo de globalização intensificou-se bem como a competitividade setorial. Novas tecnologias automotivas passaram a ser introduzidas, a partir dos avanços da eletrônica, TICs e novos materiais.

Os transbordamentos tecnológicos da Terceira Revolução Industrial, com a utilização de sistemas e componentes eletrônicos integram praticamente a generalidade das funções do automóveis contemporâneos (aceleração, frenagem, controles de tração, de estabilidade e de injeção de combustível (incluindo injeção eletrônica), sistemas de combustão *lean-burn*, dirigibilidade, identificação de problemas mecânicos, segurança, notificação de roubo, rastreamento e monitoramento via sistemas de posicionamento global, ajuste da posição da direção e dos bancos, navegação, proteção antichoque, telemática, sistemas de controle de voz e entretenimento (CARVALHO, 2008).

Nas últimas décadas, a Indústria Automotiva reestruturou-se globalmente, rompendo a situação de estabilidade concorrencial e maturidade tecnológica evidenciada no período do pós-guerra até a década de 1970. Um processo de rejuvenescimento industrial (*de-maturity*) (ABERNATHY & CLARK, 1985) de fato vem de fato ocorrendo num dos setores industriais mais relevantes do sistema de produção capitalista.

2.4 – EVOLUÇÃO SECULAR DA ESTRUTURA DE MERCADO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: a ascensão asiática na 3ª RI.

A Indústria Automotiva passou por várias e importantes mudanças ao longo do século XX. Nesta seção são apresentados os dados de produção (nos EUA entre as décadas de 1900-1950 e a nível global entre 1960-2019) e *market share* (nos EUA entre 1900-2021). Como detalhado na seção anterior, a introdução de inovações organizacionais pela Toyota foram assimiladas pela demais empresas do sistema capitalista global. É neste contexto que se vê a

estrutura de mercado da Indústria Automotiva sendo abalada – sobretudo com o rápido crescimento das empresas asiáticas.

Segundo dados da Wards Intelligence (2021), foram produzidos nos EUA 369.573 veículos durante a década de 1900, feitos por nada menos do que 23 diferentes fabricantes. Entre as marcas, os principais *market shares* foram da Ford (24%), Buick (16%) e Cadillac (10%). Já na década de 1910 a Indústria Automotiva estadunidense tem um grande salto em sua capacidade de produção, onde a fabricação total alcança 8,2 milhões de carros, feitos agora por 19 marcas. Juntamente ao aumento da escala nota-se um movimento de queda no número de fabricantes, caracterizando o início do processo oligopolização na Indústria Automotiva. A Ford ganha destaque, alcançando a incrível marca de 56% do total de carros fabricados nos EUA. No ano de 1914, 7 em cada 10 carros feito nos EUA tinha o selo de Henry Ford.

Na década de 1920 a Indústria Automotiva tem um boom nos EUA, com a produção total de 27,7 milhões de automóveis – 3,4 vezes superior ao dos anos 1910. Com a crise de 1929, a produção de automóveis estadunidense perde força na década de 1930, com queda de 21,6% em relação a década anterior. A GM assume a liderança no *market share* americano, com 28% de participação, ultrapassando a Ford (27%) e seguida pela Plymouth (16%), (WARDS INTELLIGENCE, 2021). Um dos fatores que explicam a ascensão da GM é a implantação, por Alfred Sloan, de uma linha de cinco modelos básicos de veículos para atender melhor o mercado (a Ford tinha apenas o modelo T). Além disso, Sloan criou funções na área de finanças e *marketing*. Diferente da Ford, que mantinha sua conduta de centralização das decisões, a GM estabelecia uma forma de convivência do sistema de produção em massa com a necessidade de gerenciar uma organização gigantesca e multifacetada (WOOD JR, 1992).

Já na década de 1940 a produção nos EUA é impulsionada para atender as forças armadas, no entanto ainda aquém dos números da década de 1920. É apenas na década de 1950 que a Indústria Automotiva volta a crescer, cuja produção registrou o número total de 55,8 milhões de veículos. A era de ouro de capitalismo faz também nascer novos competidores, com o recorde jamais alcançado de 29 marcas fabricantes de automóveis apenas nos EUA (WARDS INTELLIGENCE, 2021). Segundo dados da OICA (2021), apenas no ano de 1960, foram produzidos no mundo cerca de 16,5 milhões automóveis, pelo qual os EUA lideraram com 48,9% de participação global, seguidos pela Alemanha (12,9%), Reino Unido (10,9%) e França (8,3%).

Na década de 1960 a produção de veículos nos EUA cresceu 40,0% em relação a década anterior, com um volume total de 78,1 milhões de veículos, fabricados por 23 diferentes marcas, todas estadunidenses (WARDS INTELLIGENCE, 2021). A produção global no ano de 1970

chegou a 29,4 milhões de veículos, um crescimento de 78,4% em relação a 1960. Entre os países, o maior crescimento foi do Japão, que saltou sua produção de 481,5 mil para 5,3 milhões de unidades, chegando a 17,9% de participação na produção global de automóveis (OICA, 2021). No fim dos anos 60, a Toyota já trabalhava totalmente dentro do conceito de produção flexível. Os outros fabricantes de veículos japoneses também passaram a adotar os mesmos princípios (WOOD JR, 1992).

Segundo dados da AEI (2019), em 1970, as japonesas Toyota e Nissan fecharam o ano com participação de 1,4% e 1,0% nos emplacamentos registrados nos EUA. Trata-se do início de um novo mercado automobilístico, com o avanço das marcas japonesas dentro do mercado estadunidense. Em 1975, a participação das japonesas somadas (Toyota, Nissan, Honda e Subaru) chegou à 5,6% nos emplacamentos nos EUA, dando um grande salto para 15,6% em 1985 (AEI, 2019). No que se refere a produção global, o volume total produzido chega a 38,6 milhões de unidades no ano de 1980 – crescimento de 31,1% ante 1970. O Japão assume a liderança entre os países, com 28,6% do total de veículos fabricados no mundo – um recorde histórico jamais alcançado (OICA, 2021).

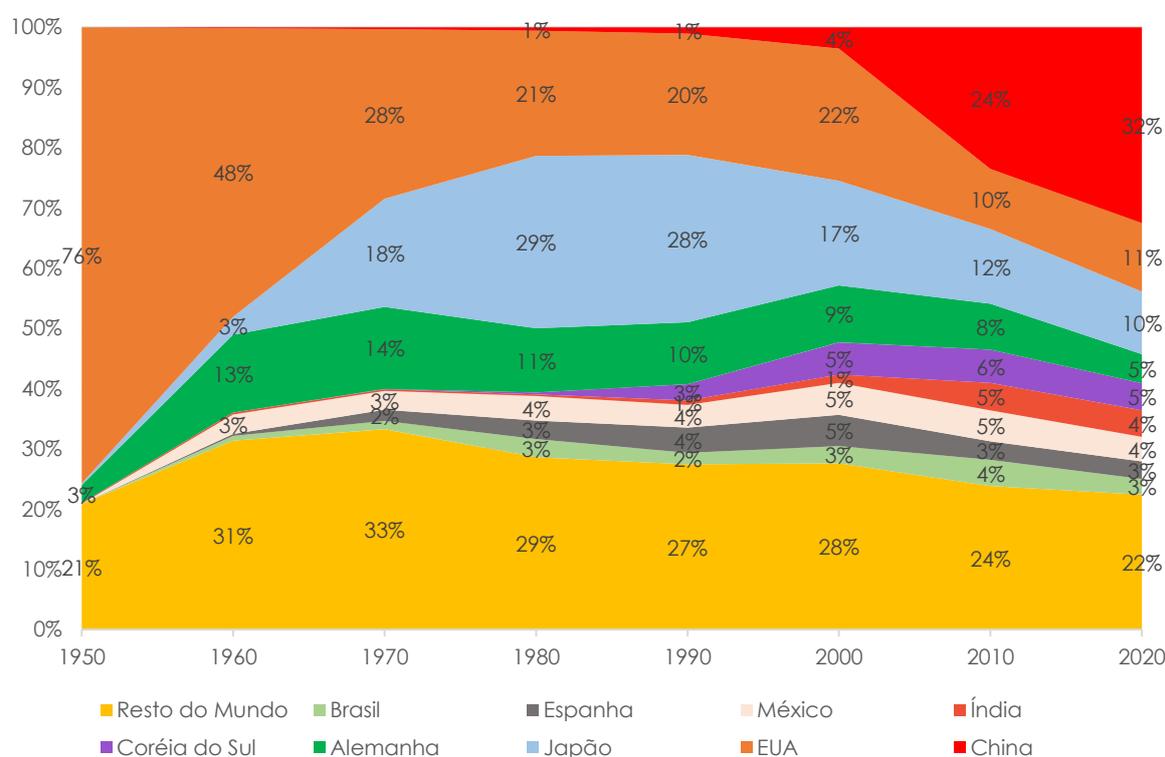
Já em 1990, a produção mundial chega a 48,6 milhões de veículos, fortemente concentrada entre Japão, EUA e Alemanha, que somam juntos 58,2% de participação global. Cabe destacar a queda na participação do Reino Unido, de 10,9% no ano de 1960 para 3,2% em 1990, que, além de não ter acompanhado o crescimento global, reduziu sua capacidade de produção em volume (OICA, 2021). No mercado estadunidense, a década de 1990 marca a consolidação definitiva das marcas japonesas, que chegam a 18,1% de *market share* em 1995 (AEI, 2019).

Na década de 2000, vê-se o avanço das marcas sul-coreanas, Hyundai e KIA, que somam 4,1% de participação no mercado dos EUA. O mesmo movimento é observado na produção global, onde a Coreia do Sul chega a 5,3% de participação (3,1 milhões unidades), atrás apenas de EUA, Japão, Alemanha e França. No ano de 2000 é possível ainda observar o crescimento da produção chinesa que salta de 509,2 mil em 1990 para 2,1 milhões de unidades – avanço de 306,3%. A década marca ainda, em 2008, a nova liderança da Toyota, que ultrapassa a GM e passa a ser a maior fabricante mundial de veículos, com mais de 9,2 milhões de unidades produzidas e 13,3% de participação (OICA, 2021).

No ano de 2010 a China assume a liderança na produção mundial de veículos, com mais 18,2 milhões de unidades e 23,5% de participação. EUA e Japão perdem espaço, cuja soma de suas produções passa a ser inferior a chinesa. O volume total no mundo chega a 77,6 milhões de unidades – crescimento de 33,0% ante 2000 (OICA, 2021). No mercado estadunidense, a

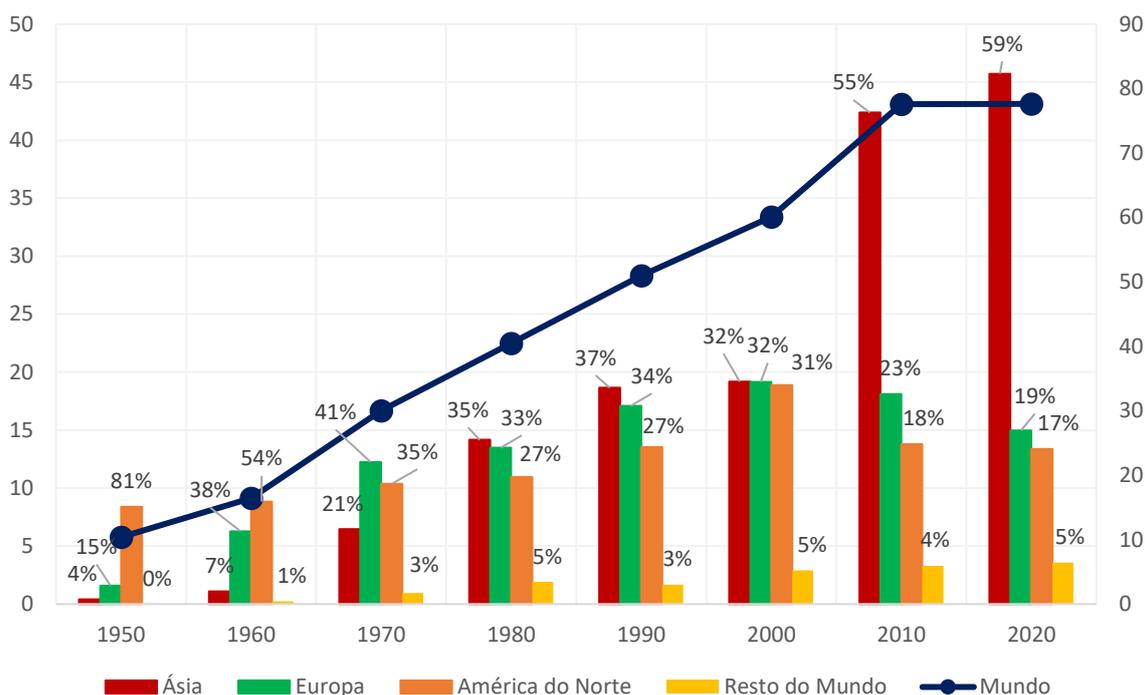
Toyota chega a 16,2% de participação em 2010, com as marcas japonesas respondendo por 36,4% da fatia do mercado de veículos (AEI, 2019). Já no ano de 2020 a produção chinesa chega a 25,2 milhões de veículos e 32,5% de participação – 1 a cada 3 veículos fabricados no mundo hoje é feito na China (OICA, 2021). O ano de 2021 marcou um fato importante na história automotiva, onde pela primeira vez uma marca de origem estrangeira liderou o mercado estadunidense. A Toyota registrou o total de 2,2 milhões de unidades vendidas nos EUA (com 14,9% de participação), superando a GM que sustentava a primeira colocação desde 1931 (GOODCARBADCAR, 2022).

Gráfico 1 – Participação da produção global de veículos – por países



Fonte: OICA (2021)

Gráfico 2 – Produção global de veículos – por localidade e total (milhões de unidades)



Fonte: OICA (2021)

Um exemplo da difusão da produção pode ser observado na Indústria Automotiva. A Tabela 1 nos mostra que nos setenta anos percorridos, o padrão de produção de veículos no mundo mudou significativamente. Os maiores produtores no ano de 1950 perderam participação na produção à medida que outros países produziam quantidades cada vez maiores. Essa dinâmica concorrencial faz parte do processo de difusão, bem como de estratégias de desenvolvimento de economias em desenvolvimento abertas pela janela de oportunidade proporcionada pela Terceira Revolução Industrial.

Tabela 1 - Participação da produção global de veículos – anos e países selecionados

País	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
China	0%	0%	0%	1%	1%	3%	24%	32%
EUA	77%	48%	28%	20%	19%	21%	10%	11%
Japão	0%	3%	18%	27%	26%	17%	12%	10%
Alemanha	3%	13%	13%	10%	10%	9%	8%	5%
Coreia do Sul	0%	0%	0%	0%	3%	5%	6%	5%
Índia	0%	0%	0%	0%	1%	1%	5%	4%
México	0%	3%	3%	4%	4%	5%	5%	4%
Espanha	0%	0%	2%	3%	4%	5%	3%	3%
Brasil	0%	1%	1%	3%	2%	3%	4%	3%
França	3%	8%	9%	8%	7%	6%	3%	2%
Reino Unido	8%	11%	7%	3%	3%	3%	2%	1%

Fonte: OICA, 2021

2.5 – ELETROMOBILIDADE, SUSTENTABILIDADE E OS *SMARTS CARS* COMO FUGA DO CABON LOCK-IN?

Com o avanço das discussões de mudanças climáticas ainda na década de 1990, passou-se a utilizar o termo “*carbon lock-in*”, referindo-se ao aprisionamento em torno de energias baseadas em combustíveis fósseis, com grandes emissões de dióxido de carbono (CO₂), onde obviamente os veículos ICE estão inseridos. Esta condição, chamada de *carbon lock-in*, surge através de uma combinação de forças sistemáticas que perpetuam as infraestruturas baseadas em combustíveis fósseis, apesar de suas externalidades ambientais conhecidas (UNRUH, 2000).

O termo aquecimento global é frequentemente usado de forma intercambiável com o termo mudança climática, embora o último se refira ao aquecimento produzido tanto pelo homem como naturalmente desencadeados em nosso planeta. Ele é mais comumente medido como o aumento médio na temperatura global da superfície da Terra. Segundo a Agência Aero Espacial estadunidense (NASA, 2021), o aquecimento global é o aquecimento de longo prazo do sistema climático da Terra observado desde o período pré-industrial (entre 1850 e 1900) devido às atividades humanas, particularmente a queima de combustível fóssil, o que aumenta os níveis de GEE que, por sua vez retêm o calor na atmosfera, aumentando a temperatura média da superfície terrestre.

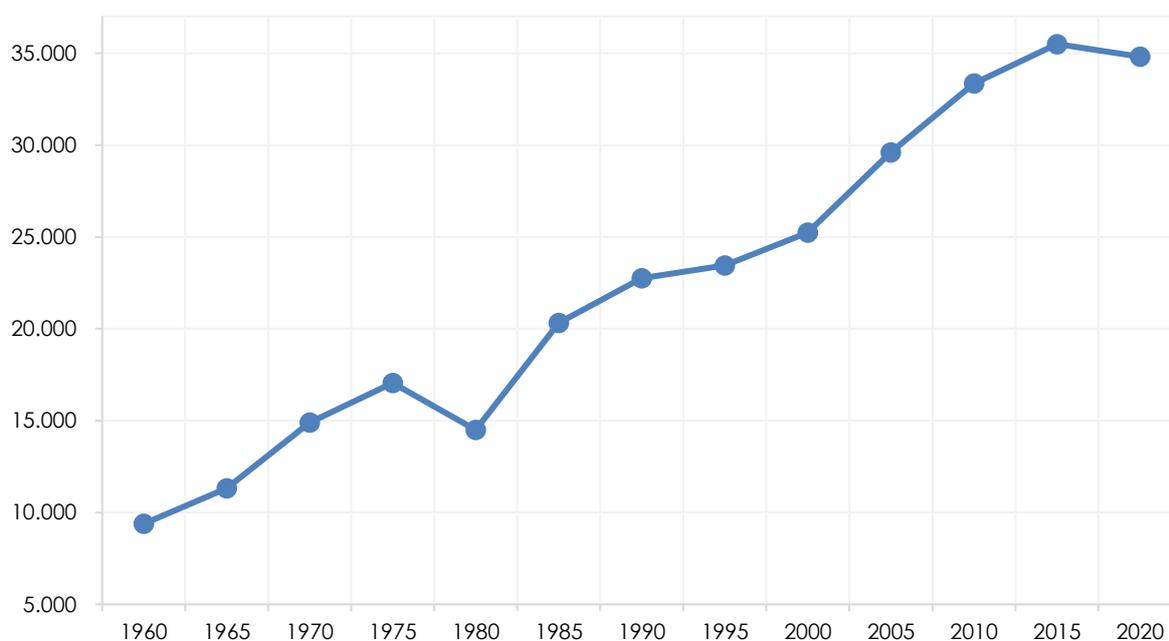
Cientistas usam observações do solo, do ar e do espaço, junto com modelos teóricos, para monitorar e estudar as mudanças climáticas passadas, presentes e futuras. Os registros de dados climáticos fornecem evidências de indicadores-chave de mudança climática, como aumentos globais de temperatura terrestre e oceânica; elevação do nível do mar; perda de gelo nos polos da Terra e nas geleiras das montanhas; mudanças de frequência e gravidade em condições meteorológicas extremas, como furacões, ondas de calor, incêndios florestais, secas, inundações e precipitação; e mudanças na cobertura de nuvens e vegetação, para citar apenas alguns (NASA, 2021).

Desde o período pré-industrial, estima-se que as atividades humanas aumentaram a temperatura média global da Terra em cerca de 1,18°C, um número que atualmente está aumentando em 0,2°C por década. Há mais de 95% de probabilidade indicando que a tendência atual de aquecimento é o resultado da atividade humana desde 1950 e está ocorrendo a uma taxa sem precedentes ao longo de décadas. A maior parte do aquecimento ocorreu nos últimos 40 anos, com os sete anos mais recentes sendo os mais quentes. Os anos de 2016 e 2020 estão empatados como os anos mais quentes já registrados (NASA, 2021).

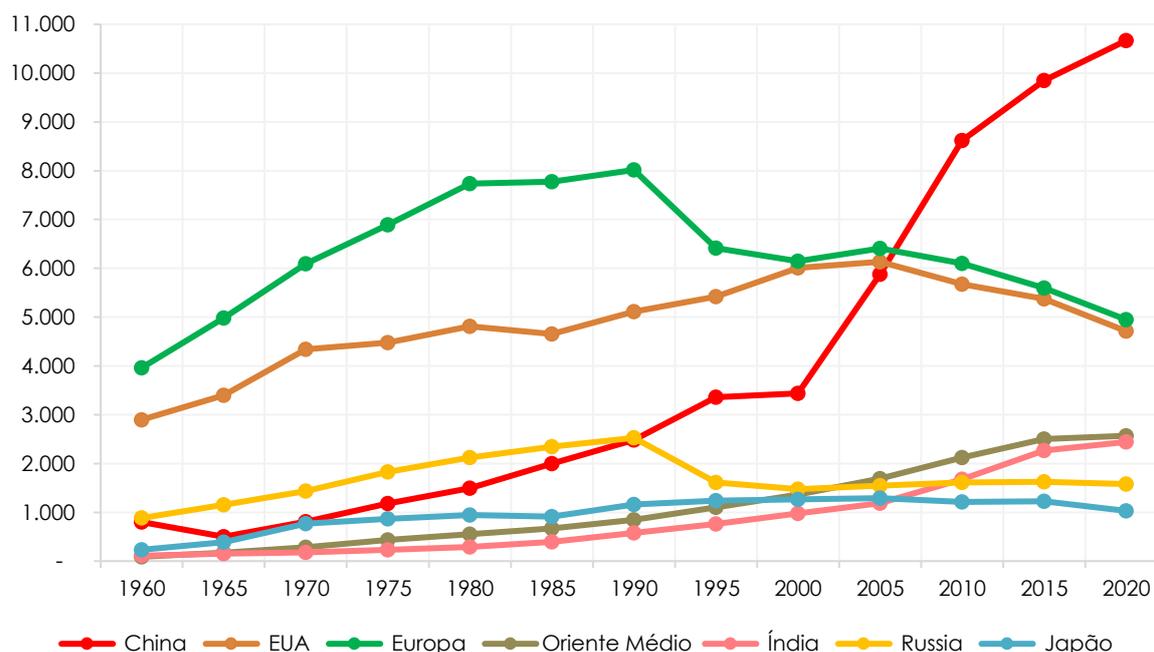
O processo de mudança climática está intimamente ligado à emissão de GEE, sendo os países que mais emitem aqueles que possuem uma estrutura industrial e tecnológica baseada em combustíveis fósseis. O principal GEE é o CO₂, responsável por cerca de 60% do efeito estufa. Segundo informações da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (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. As atividades humanas geram emissões em um nível maior do que o meio ambiente é capaz de absorver, aumentando a concentração desses gases e o aprisionamento da energia infravermelha na atmosfera; isso, por sua vez, aumenta a temperatura global média na superfície terrestre e representa potenciais efeitos catastróficos para o meio ambiente, para a economia e para a vida na Terra (STERN, 2015).

A partir de dados extraídos do Global Carbon Atlas, é possível observar no Gráficos 3 e 4 a escalada das emissões de dióxido de carbono medida em milhões de toneladas métricas, com dados desde o ano de 1960. No ano de 2006 a China ultrapassam os EUA e passam a liderar as emissões entre os países, chegando em 2020 a mais que o dobro das emissões de CO₂ estadunidenses. As duas maiores economias do mundo hoje (EUA e China) foram responsáveis por 44,2% do total de CO₂ emitido na atmosfera terrestre em 2020 (GCA, 2021).

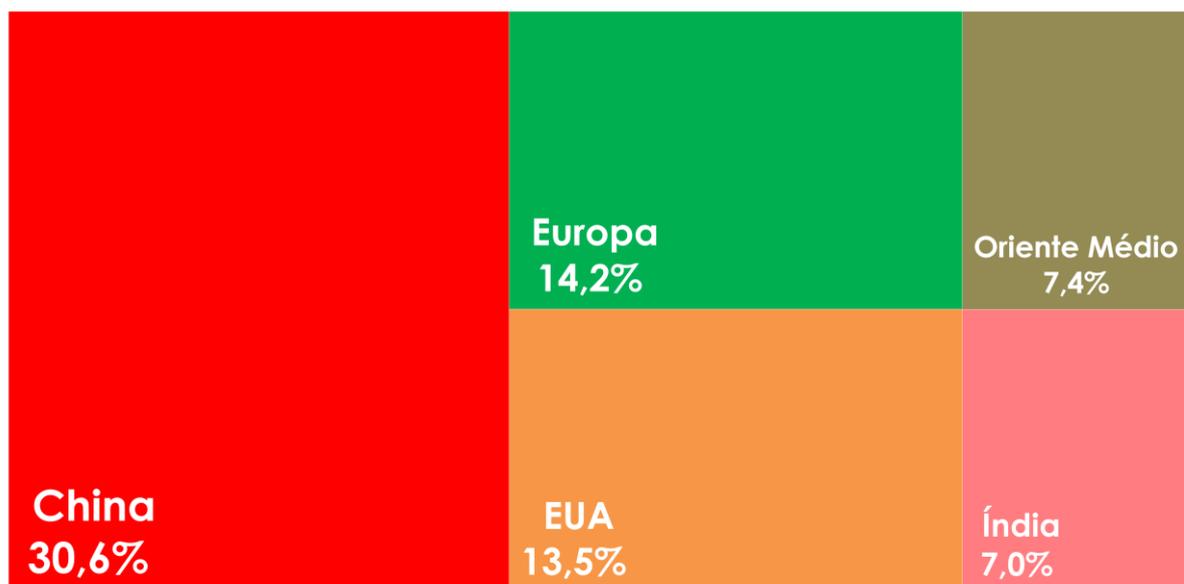
Gráfico 3 – Emissões globais de CO₂ (milhões de toneladas)



Fonte: GLOBAL CARBON ATLAS (2021)

Gráfico 4 – Emissões globais de CO₂ (em milhões de toneladas) – por localidade

Fonte: GLOBAL CARBON ATLAS (2021)

Gráfico 5 – Participação nas emissões globais de CO₂ em 2020 – por localidade

Fonte: GLOBAL CARBON ATLAS (2021)

Questões relacionadas aos impactos ambientais dos derivados de petróleo passam a ser abordadas apenas a partir da década de 1960. Até então, a tecnologia no setor Automotivo focava em ganho de produtividade, design, segurança e rendimento dos motores a combustão, sem uma preocupação explícita com emissões de gases e poluentes.

Pode-se classificar a poluição veicular em função da abrangência dos impactos causados pelos seus principais poluentes. Os poluentes locais causam impactos na área de entorno por

onde é realizado o serviço de transporte, por exemplo, os ruídos gerados pelos motores dos veículos e a fuligem expelida pelos escapamentos que se acomodam nas ruas, nos passeios e nas fachadas dos imóveis. Podem-se considerar ainda nesta categoria os poluentes que se deslocam de uma região para outra pelas correntes de ar, no caso de gases que causam a chuva ácida, por exemplo, ou o efeito smog que é a formação de uma névoa densa devido à grande concentração de ozônio (O_3) no ar. Já os poluentes globais são gases que são expelidos para a atmosfera e acabam impactando todo o planeta pelo aquecimento global, no caso da emissão de gases de efeito estufa. Na categoria dos poluentes globais o CO_2 é o principal poluente, servindo também como unidade de equivalência para os demais GEE (CARVALHO, 2011).

Para atingir as metas estabelecidas no Acordo de Paris, os países signatários estão adotando medidas de descarbonização, visando reduzir as emissões de GEE, principalmente nas áreas urbanas. O aumento da demanda por transportes individuais exigiu maior uso de petróleo, que foi acompanhado pelo aumento das emissões de CO_2 . Segundo dados da IEA (2020), durante todo o século XX o petróleo foi a fonte de energia predominante no setor de transportes, fornecendo 92% do consumo final na década de 2010, apenas 2% a menos em relação a 1973. Hoje o setor de transportes é responsável por quase um quarto do total de CO_2 emitido globalmente, contribuindo significativamente para a poluição do ar (IEA, 2020). Neste contexto, a descarbonização está diretamente ligada à poluição veicular, onde o motor a combustão torna-se o grande vilão e o veículo elétrico ressurgue como alternativa mais limpa, tanto em termos de GEE quanto de poluição sonora (são silenciosos).

Este processo de transformação segue um movimento disruptivo cada vez maior rumo à eletromobilidade (e-mobilidade). Regulamentos de emissões mais rigorosos, custos de bateria mais baixos, estações de carregamento amplamente disponíveis e aumento da aceitação do consumidor estão criando um novo e forte impulso para a penetração de veículos eletrificados (híbridos, plug-in e bateria elétrica) nos próximos anos (GAO et al 2016; MCKINSEY&COMPANY, 2014).

Segundo Zhao (2018), a e-mobilidade vem recebendo atenção política significativa, se tornando extremamente importante internacionalmente, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, fornecendo uma chave para proteger o clima, meio ambiente e recursos, além de promover inovações tecnológicas e permitindo novos modelos de negócios. A e-mobilidade desempenha um importante papel na promoção do desenvolvimento da inovação tecnológica e na tomada de mudanças radicais em todos os campos convencionais (ZHAO, 2018).

De acordo com a (IEA, 2020), os EVs têm ganhado força graças à capacidade de oferecerem vários benefícios ambientais, sociais e de saúde. Entre esses incluem:

- Eficiência energética: os EVs são três a cinco vezes mais eficientes em termos de energia do que veículos convencionais ICE;
- Dependência energética: a e-mobilidade aumenta a segurança energética no setor de transportes que possui forte dependência de combustíveis derivados do petróleo, reduzindo as importações de petróleo em muitos países;
- Poluição do ar: EVs tem emissões zero do tubo de escape, sendo adequados para lidar com problemas de poluição, especialmente em áreas urbanas e rodovias onde um grande número de pessoas está exposto a poluentes nocivos dos veículos ICE;
- Emissões de GEE: o avanço da e-mobilidade em associação com um aumento na geração de eletricidade de baixo carbono pode proporcionar reduções significativas em emissões de GEE do transporte rodoviário em relação aos veículos ICE. Além disso, EVs podem desempenhar um papel ainda mais complexo, por meio de seu uso para alimentação das redes de energia via sistema *smart grids*⁷;
- Redução de ruído: os EVs são muito mais silenciosos do que os veículos ICE e, portanto, contribuem para menos poluição sonora, especialmente na categoria de motocicletas;
- Desenvolvimento industrial: os EVs estão posicionados de maneira crucial como um capacitador potencial de grandes reduções de custos em tecnologia de baterias, uma das principais cadeias de valor de importância estratégica para a competitividade industrial, tanto para a energia limpa como para as TICs.
- Estas e outras vantagens dos veículos elétricos levaram ao crescimento global de implantação e maior compreensão dos desafios e oportunidades da e-mobilidade na última década. A eletrificação é uma estratégia tecnológica chave para reduzir a poluição do ar em áreas densamente povoadas e uma opção promissora para contribuir com a energia dos países diversificação e redução das emissões de GEE (IEA, 2020).

O termo Veículo Elétrico (EV) compreende um conjunto constituído por carros, ônibus, caminhões, motocicletas etc. Eles são categorizados de acordo com sua tecnologia de propulsão por motores elétricos, conforme abaixo. Essa classificação e a descrição dos sistemas provêm de informações da Agência Internacional de Energia (IEA).

⁷ As *smart grids* são redes inteligentes de transmissão e distribuição de energia com base na comunicação interativa entre todas as partes da cadeia de conversão de energia. As *smart grids* conectam unidades descentralizadas de geração grandes e pequenas com os consumidores para formar uma estrutura ampla. Um EV pode fornecer a rede de energia seu excedente em horários de pico.

- HEV (*Hybrid Electric Vehicle*): Utilizam dois motores, elétrico (energia mecânica de frenagem regenerativa) e à combustão interna (fósseis ou biocombustíveis) para propulsão. Não são carregados na rede elétrica. O modelo mais popular é o Toyota Prius;

- PHEV (*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*): Sistema igual ao HEV, porém são recarregados na rede elétrica. Dispõem de baterias com maior autonomia em relação aos HEV e o motor à combustão interna é o principal. O modelo mais popular é o Chevrolet Volt.

- BEV (*Battery Electric Vehicles*): Veículos 100% elétricos com baterias recarregáveis e nenhum motor a gasolina. Conectados diretamente à fonte externa de eletricidade, por meio de plugs ou utilizando cabos aéreos. Baterias com a maior de todas as autonomies. Os modelos mais populares são Nissan Leaf, Tesla S e Renault Zoe;

- FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*): Célula a combustível alimentada por hidrogênio ou bioetanol, a qual gera energia para os motores elétricos com um único subproduto: água. Baterias com baixa capacidade.

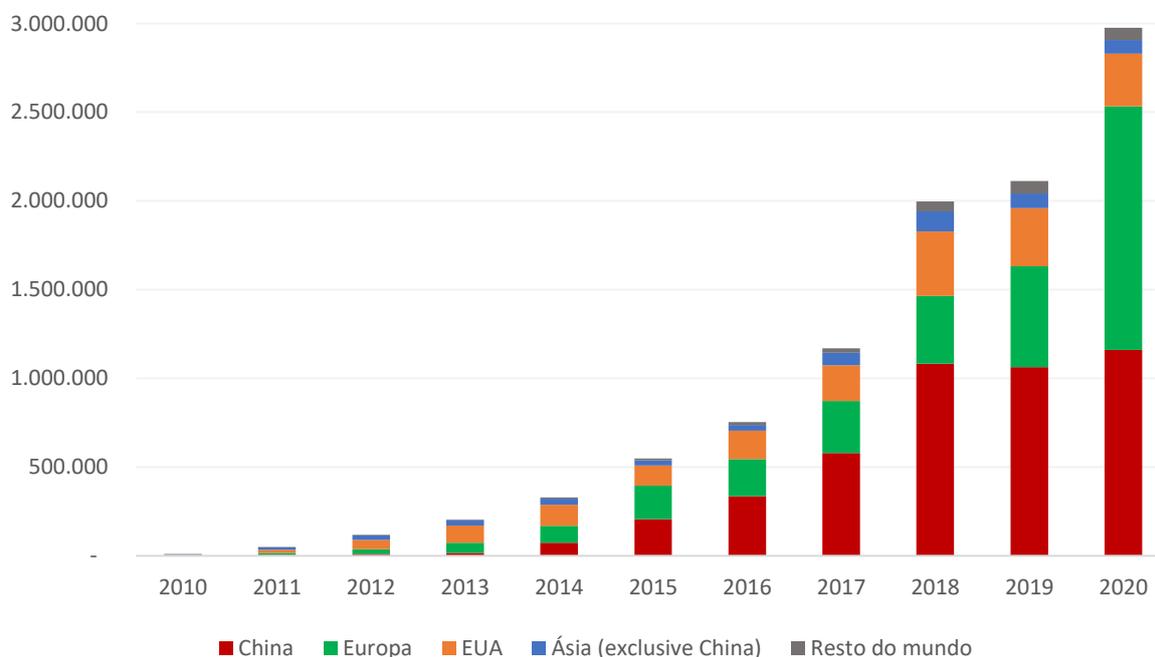
Conforme já vimos, ao contrário daquilo que é visto por muitos como inovador, os veículos elétricos não são uma novidade. A partir da consolidação do motor a combustão interna na década de 1920, os EVs são deixados de lado durante décadas. É após a Crise do Petróleo em 1973 que alguns fabricantes passam a considerá-lo como alternativa de mobilidade. Na década de 1980 algumas companhias de energia elétrica da França, Reino Unido e EUA desenvolveram modelos em parceria com fabricantes tradicionais como Citroen, Peugeot e Ford (MARTINS & BRITO, 2011). No entanto, foi apenas na década de 1990 que as grandes montadoras passaram a associar os veículos elétricos à sustentabilidade nos transportes, sobretudo com a instituição de novas normas regulatórias derivadas da Agenda Ambiental. No final da década de 1990 e início da década de 2000, praticamente todas as grandes montadoras tinham projetos de EVs. O Nissan Prairie Joy, foi o primeiro a utilizar baterias de íon-lítio, em 1996. O RAV4 EV da Toyota, de 1997, teve cerca de 1.500 unidades fabricadas na Califórnia e utilizava baterias NiMH. Na França o Clio Electrique, da Renault, teve várias centenas de unidades vendidas, com baterias NiCd (MARTINS & BRITO, 2011).

Já no ano de 2007, a Tesla Motors lança no mercado o que é considerado como o primeiro esportivo elétrico, o Tesla Roadster, um carro elétrico por excelência. O veículo foi produzido em parceria com a Lotus, sua autonomia alcançava 350 km com apenas uma recarga, utilizando baterias de íon-lítio (WOODYARD, 2011). É na primeira metade da década de 2010

que o carro elétrico⁸ chega ao mercado mais fortemente, com as vendas disparando nos últimos cinco anos. No ano de 2010 cerca de 17,4 mil unidades de carros elétricos circulavam pelo mundo e apenas cinco países contavam com mais de 1 mil unidades: China, Japão, Noruega, Reino Unido e EUA. Em 2020 o mundo alcançou a marca dos 10,2 milhões de carros elétricos nas ruas, representando 0,94% do estoque total global (IEA, 2021).

Atualmente aproximadamente 44,1% da frota global de carros elétricos estão na China, seguidos por Europa 30,9% e EUA 17,5%. O país com o maior *market share*⁹ é a Noruega, com 17,0% de carros elétricos em sua frota total, tendo registrado em 2020 um recorde de 74,8% de participação nas vendas totais. No ano de 2020 foram vendidos 2,99 milhões de carros elétricos no mundo – crescimento de 40,6% em relação a 2019 – chegando a 4,6% de participação no mercado global de carros. O Gráfico 6 nos mostra a evolução das vendas nos últimos 10 anos e sua distribuição entre os principais mercados consumidores. Pela primeira vez a Europa liderou, com 1,37 milhão de novos registros, ultrapassando a China com 1,16 milhão e seguidos pelos EUA, com 296 mil carros. A participação dos 100% elétricos (BEV) vem crescendo a cada ano, alcançando 67,2% das vendas globais em 2020, cujo estoque total já representa também 67,0% dos carros elétricos no mundo (IEA, 2021).

Gráfico 6 – Vendas globais de veículos elétricos por localidade



FONTE: IEA, 2021

⁸ Neste artigo, “carro elétrico” refere-se ao Veículo Elétrico a Bateria (BEV) ou Veículos Elétricos Híbridos Plug-in (PHEV), ambos no segmento de Veículos Leves de Passageiros (PLDV). Não estão incluídos os Veículos Híbridos Elétricos (HEV), pois não podem ser plugados.

⁹ O *market share* refere-se à participação de EV no mercado total de PLDV considerando todos os tipos propulsão.

Aliado ao movimento rumo a eletromobilidade, a conectividade e a digitalização se tornam parte do valor de um automóvel. À medida que evolui, o automóvel assume funções que o tornam muito mais que um meio de transporte. A bordo, já é possível agendar compromissos, ouvir audiolivros, pedir comida, reservar restaurante. É uma rota irreversível: o “*smartcar*” será uma extensão de onde moramos, trabalhamos e nos divertimos (OLMOS & ROSA, 2021). A conectividade e a tecnologia autônoma permitem, cada vez mais, que o carro se torne uma plataforma para que motoristas e passageiros usem seu tempo de trânsito para atividades pessoais, o que pode incluir o uso de novas formas de mídia e serviços. As pessoas se acostumaram com a praticidade do celular fazer tudo por elas e querem, agora, que o carro também faça. Isso tem efeitos profundos na Indústria Automotiva (OLMOS & ROSA, 2021).

Com a crescente conectividade entre veículos, bem como entre veículos e infraestrutura de estradas e ruas, abrem-se novas oportunidades de negócio relacionadas a geração, tratamento e compartilhamento de informações. Bacellar (*apud* KPMG, 2016) destaca que cresce a importância de que os dados dos veículos, do consumidor e de geolocalização sejam trabalhados de maneira inovadora para gerar novos fluxos de receita para a indústria.

Neste cenário, alguns exemplos de investimentos e inovação podem ser observados entre as marcas. Segundo Olmos & Rosa (2021), a fabricante alemã Porsche planeja investir mais de 1 bilhão de euros em dois alvos considerados essenciais: eletrificação e digitalização, onde este último ficará com 80% dos recursos. As montadoras já estão incluindo chips em seus veículos para fazer com que a conexão seja feita por intermédio do próprio automóvel, em que o usuário pode acessar todos os seus aplicativos sem precisar do *smartphone*. Em 2019 a GM e a Amazon anunciaram uma aliança tecnológica. Pelo acordo, o serviço de emergência OnStar, que a montadora já oferecia em seus veículos, poderá ser acionado por meio de qualquer dispositivo com a assistente Alexa, como celulares, TVs e computadores. O serviço é pago. A ideia da companhia é ir além de seu negócio tradicional, diversificar as fontes de receita e ampliar o público-alvo (OLMOS & ROSA, 2021).

A conectividade constitui-se, ainda, em uma ferramenta que tende a permitir um aumento na segurança dos transportes, planejamento inteligente de tráfego, uso inteligente de recursos energéticos, como também, tem sido necessário para o desenvolvimento de veículos autônomos, compartilhados e elétricos (MCKINSEY, 2014; KPMG, 2016). Esse novo cenário demanda novos desafios e mudanças para as montadoras, fornecedores, novos *players*, reguladores e toda a cadeia de valor automotiva. A liderança da indústria mudará, em alguns casos, para novos participantes, enquanto as montadoras convencionais serão pressionadas a acelerar substancialmente sua busca por inovação, não apenas em tecnologia, mas em sua

cultura, abordagens de fusão e aquisição, estilos de gerenciamento e recrutamento de talentos (ALVES, 2018).

Outra grande tendência da Indústria Automotiva é referente a veículos autônomos (AV - *Autonomous Vehicles*). Por definição, um carro autônomo é aquele que 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 (*Global Position System*) para determinar sua localização, e usa inteligência artificial para determinar o caminho mais rápido e seguro para seu destino. Unidades mecatrônicas e atuadores permitem que o “cérebro” do carro acelere, freie e dirija conforme necessário (CNI, 2018). Os potenciais benefícios relacionados ao desenvolvimento de AVs 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 (LITMAN, 2017).¹⁰

Concluindo, é possível defender a hipótese da ocorrência de um processo de rejuvenescimento (*de-maturity*) da Indústria Automotiva, ao longo da Terceira Revolução Industrial, nos moldes propostos por Abernethy e Clark (1985). Para os autores, são três as principais mudanças no ambiente industrial que poderiam criar as condições para essa total reestruturação de um setor marcado pela maturidade tecnológica, mesmo em uma estrutura secularmente oligopolizada, com fortes barreiras à entrada e altamente concentrada: 1) novas oportunidades tecnológicas de novas aplicações no projeto arquitetônico dominante; 2) alterações das demandas dos consumidores provenientes de mudanças nos gostos e de alterações nos preços de substitutos ou complementares e; 3) modificações de política econômica ou de normas regulatórias.

Visando aprofundar essa discussão, o próximo capítulo irá avançar na defesa de um processo de rejuvenescimento em marcha da Indústria Automotiva, rumo a eletromobilidade,

¹⁰ Assim como os veículos elétricos, AVs 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 veículos autônomos, nos Estados Unidos, no Japão e na Europa, entre as décadas de 1960 e 1980. Os primeiros AVs foram capazes de completar as rotas de teste, mas não foram aprovados em condições reais de tráfego (STANLEY, 2013). O grande avanço nas pesquisas relacionadas a veículos autônomos veio com o projeto DARPA *Grand Challenge*, organizado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DARPA). Essa competição convocou uma série de universidades, montadoras e empresas inovadoras para criar o AV do futuro, inicialmente destinado a uso militar, mas eventualmente com cruzamento para aplicações civis. Os *Grand Challenges* impulsionaram várias montadoras e outros participantes, como Google e Cisco Systems, no campo dos AVs e muitos membros das suas equipes estão hoje liderando o desenvolvimento desses veículos (CNI, 2018).

sustentabilidade e *smart cars*. Mostraremos em detalhes que os três tipos de mudanças fundamentais para a ocorrência de um processo de *de-maturity*, sugeridos por Abernethy e Clark (1985), vem ocorrendo de forma rápida no século XXI. A busca cada vez mais intensa pela sustentabilidade e por formas de propulsão para os veículos automotores está ocorrendo a partir de *spillovers* tecnológicos das TICs e pelas mudanças regulatórias já introduzidas nos principais mercados, em decorrência da crescente preocupação com a maior eficiência energética dos automóveis e emissões de GEE, diante de um processo de descarbonização.

3. *SPILLOVER* TECNOLÓGICO DAS TICS À INDÚSTRIA AUTOMOTIVA: AGENDA AMBIENTAL, ELETROMOBILIDADE E O *LOCK-IN* DAS BATERIAS DE ÍON-LÍTIO

Este capítulo tem por objetivo observar o movimento da eletromobilidade com vistas a identificar o rompimento com o *carbon lock-in* na Indústria Automotiva e uma nova configuração rumo a um *lock-in* tecnológico das baterias de íon-lítio. É feita uma análise detalhada de dados de patentes, com a intenção em identificar *spillovers* tecnológicos que partem das TICs em direção ao automotivo, onde uma nova configuração dos mercados se apresenta. O objetivo é demonstrar que os veículos elétricos atuais só são possíveis e viáveis devido aos grandes avanços no setor de TICs, tendo em vista os significativos aumentos de eficiência das baterias. Pretende-se ainda apresentar o há de mais atual em termos de políticas públicas voltadas para a eletromobilidade, mostrando que é a importância dada a pauta ambiental que desencadeia as ações governamentais direcionadas, inicialmente, a mitigar a poluição dos veículos a combustão e, posteriormente, a eletrificação das frotas nacionais.

A leitura do capítulo 2 nos mostra as transformações ocorridas na Indústria Automotiva a longo do século XX, com mudanças significativas na estrutura do mercado. As disrupções fazem-se presentes tanto na ótica dos sistemas produtivos como dos padrões tecnológico, com desdobramentos na dinâmica global entre os países líderes na produção de veículos e em suas respectivas marcas. Esta história pode também ser contada ao analisar os registros de patentes relacionados ao motor a combustão interna. Os dados observados nas patentes demonstram que os mesmos fabricantes líderes em *market share* de veículos então entre os principais patenteadores de ICE. Da mesma forma, o movimento que transfere a hegemonia inicial na Indústria Automotiva de França e Reino Unido para Estados Unidos e Alemanha entre as décadas de 1900 e 1960 e, posteriormente, para Japão nos anos 1970 a 2000 e, mais recentemente à China na década de 2010, pode ser visto na evolução dos registros de patentes ICE.

Os dados de patentes foram obtidos junto a plataforma Derwent Innovation, pertencentes ao grupo Clarivate Analytics, de acesso restrito a usuários. As extrações foram feitas tendo como resultado a formação de três grandes grupos de bases de dados¹¹, relacionados a:

1. Motor a combustão interna entre 1900 e 2019;

¹¹ A lista com as especificações dos grupos e subgrupos selecionados encontra-se no Apêndice deste trabalho

2. Bateria de íon-lítio para uso em veículo elétrico entre 1990-2019;
3. Bateria de íon-lítio para uso em dispositivo eletrônico entre 1990-2019;

- Para o grupo 1, primeiramente foi feito um filtro para a expressão “*Internal Combustion Engine*” dentro dos textos de resumos de todas os registros de patentes do período. Em seguida (paralelamente), um novo filtro foi feito no IPC (*International Patent Classification*) **selecionando** 12 subgrupos pertencentes aos grupos F01 e F02. Em terceiro (paralelamente) outra busca foi feita filtrando no IPC o subgrupo específico B60K. Por fim, a plataforma é submetida a uma combinação dos três resultados obtidos, gerando uma única base de dados. A extração final foi feita utilizando a função INPADOC (*International Patent Documentation*).

- Para o grupo 2, primeiramente foi feito um filtro no código manual DWPI (*Derwent World Patent Index*) **combinando** os subgrupos X16-B01F1 e X21. Em seguida (paralelamente) outra busca foi feita no IPC, **combinando** os subgrupos específicos B60K e H01M. Por fim, a plataforma é submetida a uma **combinação** dos dois resultados obtidos, gerando uma única base de dados. A extração final foi feita utilizando a função INPADOC (*International Patent Documentation*).

- Para o grupo 3, primeiramente foi feito um filtro no código manual DWPI (*Derwent World Patent Index*) combinando os subgrupos X16-B01F1 e P8 **ou T ou W**. Em seguida (paralelamente) outra busca foi feita no IPC, **combinando** os subgrupos específicos H01M e H02H **ou H02J**. Por fim, a plataforma é submetida a uma **combinação** dos dois resultados obtidos, gerando uma única base de dados. A extração final foi feita utilizando a função INPADOC (*International Patent Documentation*).

Os choques do petróleo de 1973 e 1979 somados a crescente relevância da pauta ambiental impulsionaram as discussões por alternativas menos poluentes e que reduzissem a dependência do petróleo nas principais economias globais, onde os veículos elétricos estavam incluídos. É neste ambiente que o estado da Califórnia (EUA) assume o protagonismo mundial nas iniciativas ligadas à transição do motor a combustão para o veículo elétrico, por meio de políticas governamentais e metas de eletrificação de sua frota, já nos anos 1990. Dá-se início então a uma corrida tecnológica com vistas a garantir que os EVs pudessem concorrer diretamente com os veículos convencionais movidos a ICE, atacando o que seria o “calcanhar de Aquiles” do veículo elétrico, as baterias. O baixo desempenho das baterias deixa o EV vulnerável e com pouca praticidade no dia a dia do usuário, sobretudo em trajetos mais longos. Essa trajetória tecnológica é contada a partir da análise dos dados de registros de patentes

relacionadas às baterias de íon-lítio para veículos elétricos desde 1990. O que se vê é a presença predominante de registos no Japão, entre 1990 e 2012, seguido por Alemanha e EUA e, com o posterior crescimento nos depósitos realizados na Coreia do Sul e China. Marcas bastante famosas do setor de TICs – principalmente celulares e laptops – estão presentes entre os principais depositantes, além de fabricantes consolidados na Indústria Automotiva.

Conforme já mencionado, a tecnologia empregada na composição das baterias de íon-lítio (LIB, *Lithium-ion Battery*) utilizadas em veículos elétricos, são as mesmas para todos os tipos de dispositivos eletrônicos. Com o advento do microprocessador nos anos 1970, acompanhado de todo o processo de difusão e *spillovers* tecnológicos, o setor de TIC torna-se um dos mais relevantes na economia industrial. É neste cenário evolutivo que as pesquisas direcionadas à inovação tecnológica das baterias se desenvolve, sobretudo ao longo da década de 1980 e inícios dos anos 1990. Cabe destacar que os primeiros telefones celulares e laptops comercializados utilizavam baterias de níquel-cádmio (NiCd) e posteriormente de níquel-hidreto metálico (NiMH). Foi em 1991 que a Sony comercializou a primeira bateria de íon-lítio, recarregável, a qual vem constantemente sofrendo transformações que permitem maior adaptabilidade aos mais variados produtos (ROSOLEM, 2012). A análise dos dados de patentes relacionadas a LIB para dispositivos eletrônicos nos traz um movimento bastante similar ao observado para os EVs, no que se refere a distribuição global entre os países. Entre as marcas há uma forte presença do setor de TICs, porém com algumas tradicionais do setor Automotivo.

A produção mundial de baterias de íon lítio vem crescendo substancialmente nos últimos anos, estando fortemente concentrado no nordeste asiático – China, Coreia do Sul e Japão. No entanto diversos anúncios de investimentos nos EUA e Europa vem sendo noticiados, o que indica uma verdadeira corrida pela capacidade produtiva e inovativa, que envolve a soberania energética das nações. Fica evidente a configuração de novos conglomerados industriais, por meio de fusões, *joint ventures* e parcerias em P&D, entre grupos tradicionais dos setores de TIC e Automotivo, assim como com a entrada de novos *players* no mercado de LIBs para veículos elétricos.

Estudos indicam que o estoque de conhecimento presente nos registros de patentes LIBs vem crescendo na última década, indicando uma maior amplitude, assim como uma maior interdisciplinaridade deste conhecimento. Vê-se a presença de diferentes setores que se retroalimentam para compartilhar conhecimento em comum. Isto aponta para um *lock-in* tecnológico das LIBs, diante de sua capacidade de recombinação de conhecimento para aplicação em veículos, dispositivos eletrônicos e demais sistemas de armazenamento de energia. Em meio ao amplo movimento global de transição do motor a combustão para a

eletromobilidade, sustentado em grande parte pelo transbordamento do setor de TIC, o rompimento com o *carbon lock-in* estaria se mostrando uma realidade? Assim como o século XX foi marcado por uma sucessão de eventos sociais, políticos e econômicos em torno do petróleo, uma reconfiguração geopolítica com diferentes desdobramentos estaria a acontecer? A dependência do petróleo dará lugar a dos metais leves – matéria-prima presente nas LIBs – com um eventual lítio *lock-in*?

As seções seguintes ter por objetivo aprofundar as discussões lançadas nesta breve introdução.

3.1 – DADOS DE PATENTES RELACIONADAS AO MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA

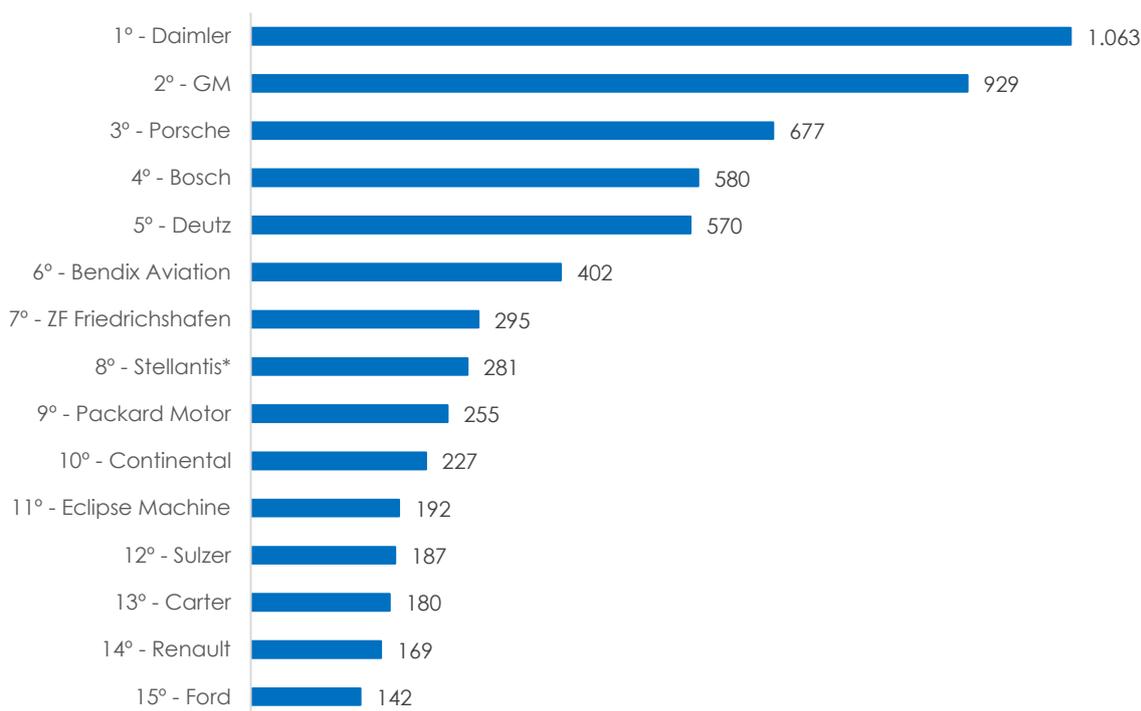
A consolidação do automóvel como principal produto do setor de transportes desencadeou um verdadeiro boom nos centros de pesquisa nas primeiras décadas do século XX. Pesquisas relacionadas a inovação tecnológica na Indústria Automotiva se disseminaram nas principais economias, onde inúmeros são os trabalhos publicados, bem como o lançamento de novos produtos. Esta confluência de fatores passa a configurar uma nova trajetória de tecnologias e designs dominantes. Um exemplo é a invenção do motor de arranque em 1912, “uma peça que de certa forma mudaria para sempre o jeito de se pensar um veículo” (FL, 2012). Num laboratório criado para atender a fabricante Cadillac, em Detroit, surgia uma gigante das autopeças, a americana Delco, que desenvolveria um sistema elétrico integrado, único, com gerador, bateria e um motor de arranque elétrico. O equipamento se tornou obrigatório em todo automóvel e “nunca mais se falou em carro elétrico por um bom tempo”. Em poucos anos a Delco se torna o maior fabricante de equipamentos elétricos para veículos do mundo (AUTOENTUSIASTAS, 2015).

A partir de dados extraídos da plataforma Derwent Innovation (2021), é possível observar o movimento dos documentos de patentes relacionados ao motor a combustão interna (ICE) – tanto para veículos quanto para aviões, indústria naval, máquinas industriais etc. Entre as décadas de 1900-1950 há um domínio absoluto nas patentes ICE documentadas na Europa e EUA, com predomínio de França e Reino Unido nos anos 1900 e 1910 e, posterior destaque de EUA e Alemanha (anos 1920-1950). Em 50 anos foram 52.292 registros, com 34,6% de participação dos EUA e 65,4% da Europa. É neste período que marcas fabricantes de automóveis surgem como grandes patenteadores, como Renault, Daimler, Peugeot, GM, Willis, Porsche, Rolls Royce, Fiat, Bugatti e Ford. Destaque também aos fabricantes de autopeças como Bosh, Deutz, ZF, Sulzer, Carter, Continental e Zenith, além de outros segmentos como o

grupo alemão Krupp (ferrovia, naval e armas, elevadores hoje ThyssenKrupp), e os suecos Electrolux (refrigeradores). Por fim cabe ressaltar o avanço das patentes ICE na indústria da aviação, a partir da década de 1930, com grande participação das americanas Bendix Aviation e Wright Aeronautical (DERWENT, 2021).

Os Gráficos 7 e 8 ilustram, respectivamente, a distribuição do volume de patentes entre os fabricantes, bem como a participação global dos documentos entre os países, analisados nas décadas de 1900 a 1950.

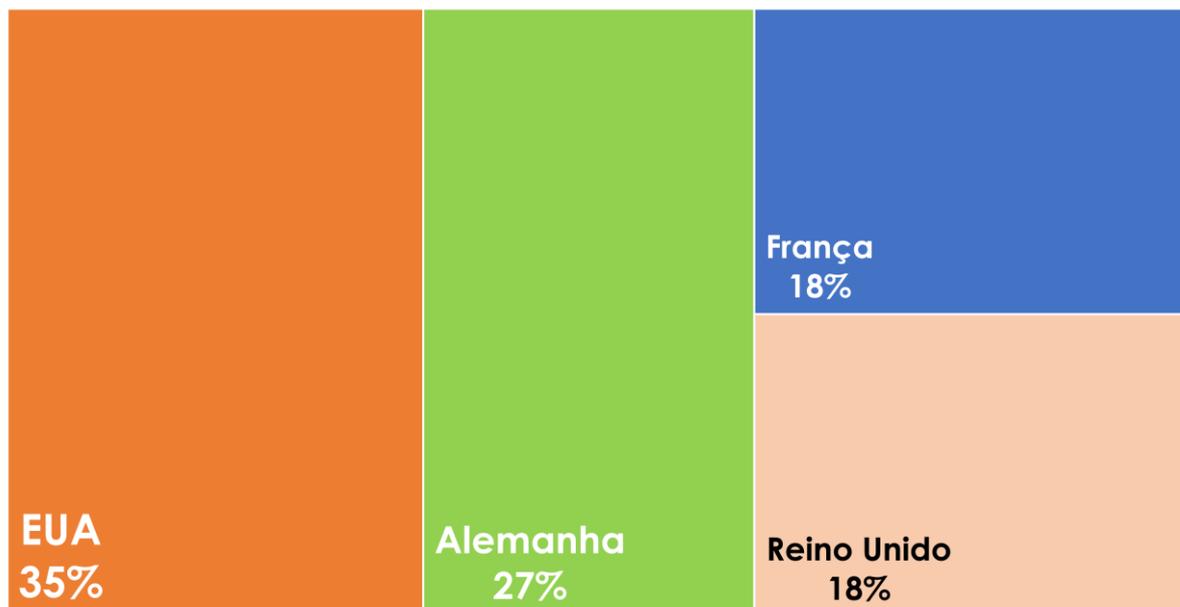
Gráfico 7 - Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas ao motor a combustão interna – décadas de 1900 a 1950



Fonte: DERWENT INNOVATION, 2021

* A plataforma Derwent unificou as marcas FIAT, Chrysler, Dodge, RAM, Peugeot e Citroen para todos os períodos de busca

Gráfico 8 - Participação no volume de documentos de patentes relacionados ao motor a combustão interna – décadas de 1900 a 1950 – países selecionados



Fonte: DERWENT INNOVATION, 2021

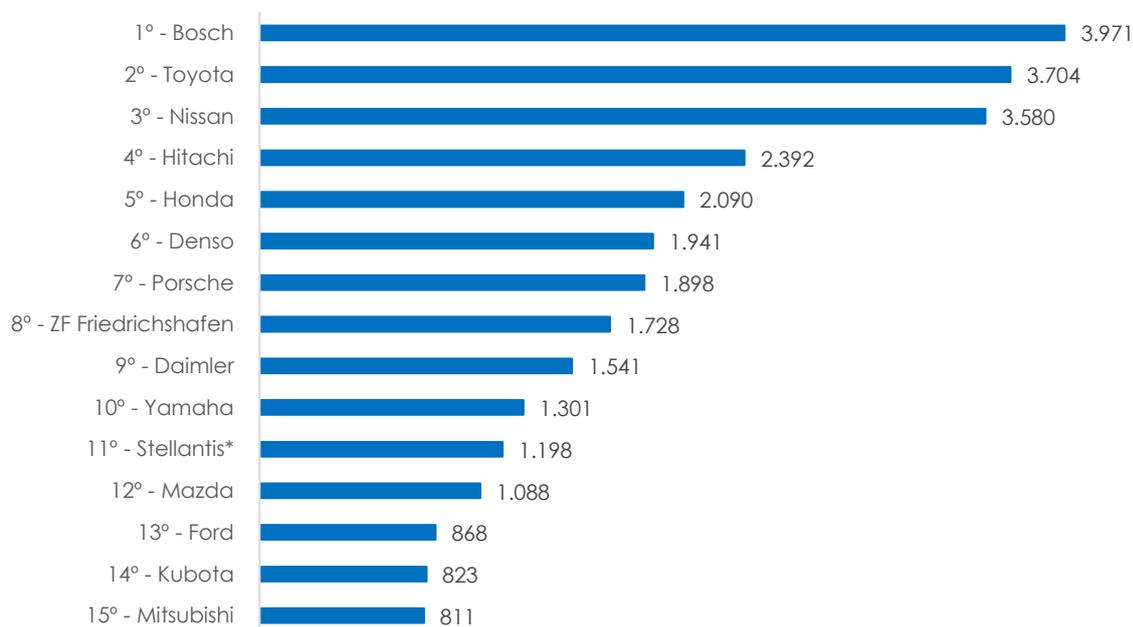
Durante a década de 1960, a quantidade de documentos de patentes relacionados ao motor a combustão interna nos EUA perde intensidade e o mercado asiático ganha espaço. Marcas como as japonesas Honda, Nissan, Mitsubishi, Mazda e Toyota, bem como a indiana Tata, começam a documentar patentes em maior número. A participação no volume total de patentes ICE chega a 10,7% no Japão, superando os EUA (6,9%) e atrás apenas de Alemanha (49,9%) e Reino Unido (23,4%). No entanto, é na década de 1970 que o processo de inovação tecnológica ganha corpo no Japão, cuja quantidade de registros de patentes ICE salta de 1.299 para 53.028, representando 73,8% do total de documentos no mundo. Novas marcas japonesas no setor Automotivo ganham destaque, como Yamaha e Kawasaki (motos), Subaru (carros) e Kubota (tratores). Cabe destacar ainda o aparecimento de patentes ICE documentadas por marcas do setor de eletrônicos, como Hitachi e Panasonic (DERWENT, 2021).

Já na década de 1980 vê-se o início da trajetória de quedas no volume de documentos de patentes relacionadas ao motor a combustão, com decréscimo de 7,4% em relação aos anos 1970. Importante ressaltar os documentos feitos na então URSS, que chegam a 5,0% de participação global, com destaque para a grande quantidade de documentos feitos pelo *Belarusian Polytechnic Institute*, com sede na cidade de Minsk, na Belarus. Outro destaque no mercado de patentes é a Austrália que alcança 2,8% de participação no mesmo período. Entre os fabricantes, as marcas alemãs e japonesas lideram o volume documentado (DERWENT, 2021).

Os anos de 1990 são marcados por redução acentuada dos documentos de patentes ICE, com queda de 31,9% em relação a década anterior e 26,6 mil documentos a menos do que o observado na década de 1970. Entre os países, o Japão fechou a década com 56,9% de participação, seguidos pela Alemanha, EUA e França, com 22,5%, 6,6% e 3,1% respectivamente. Nota-se um movimento ascendente nos documentos estadunidenses, sobretudo a partir de 1997, cujo volume saltou de 71 documentos em 1996 para 1.149 em 1999, que representou crescimento anual médio de 29,9% entre os anos de 1991 e 2000. Outro ponto a destacar neste período é o crescimento significativo nos documentos de patentes ICE da Coreia do Sul, no final da década. O volume salta de 8 em 1991 para 729 em 1999, um crescimento anual médio de 62,9 no período. A fabricante sul-coreana Hyundai passa a figurar entre as top 15 maiores depositantes de patentes, com 459 documentos (DERWENT, 2021).

Os Gráficos 9 e 10 ilustram, respectivamente, a distribuição do volume de patentes entre os fabricantes, bem como a participação global dos documentos entre os países, analisados entre as décadas de 1960 e 1990.

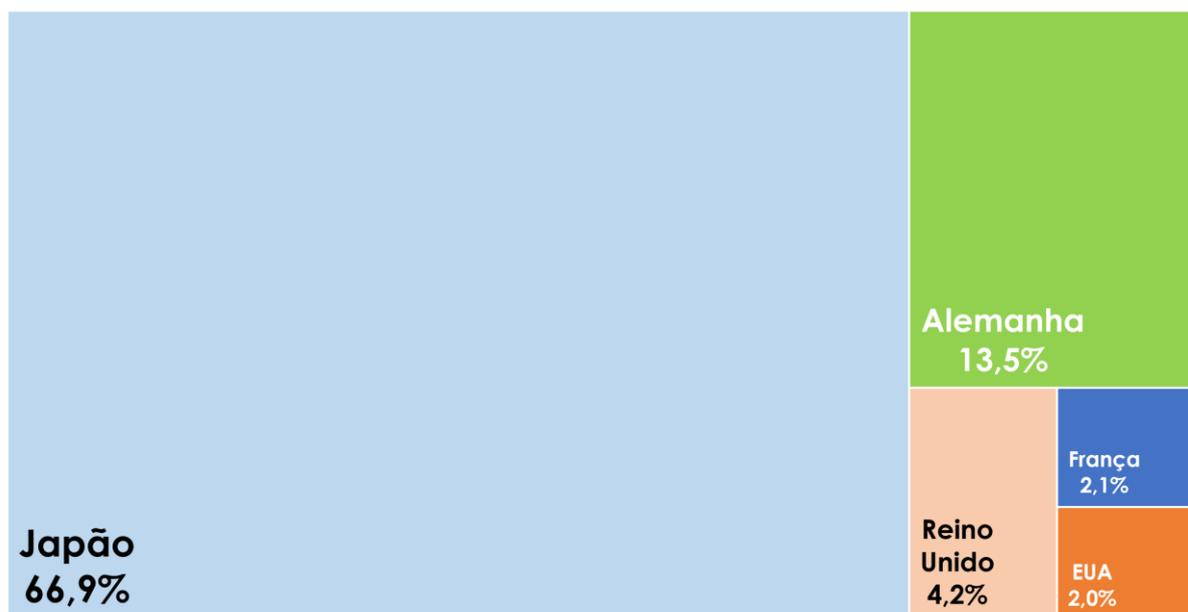
Gráfico 9 - Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas ao motor a combustão interna – décadas de 1960 a 1990



Fonte: DERWENT INNOVATION, 2021

* A plataforma Derwent unificou as marcas FIAT, Chrysler, Dodge, RAM, Peugeot e Citroen para todos os períodos de busca

Gráfico 10 - Participação no volume de documentos de patentes relacionados ao motor a combustão interna – décadas de 1960 a 1990 – países selecionados



Fonte: DERWENT INNOVATION, 2021

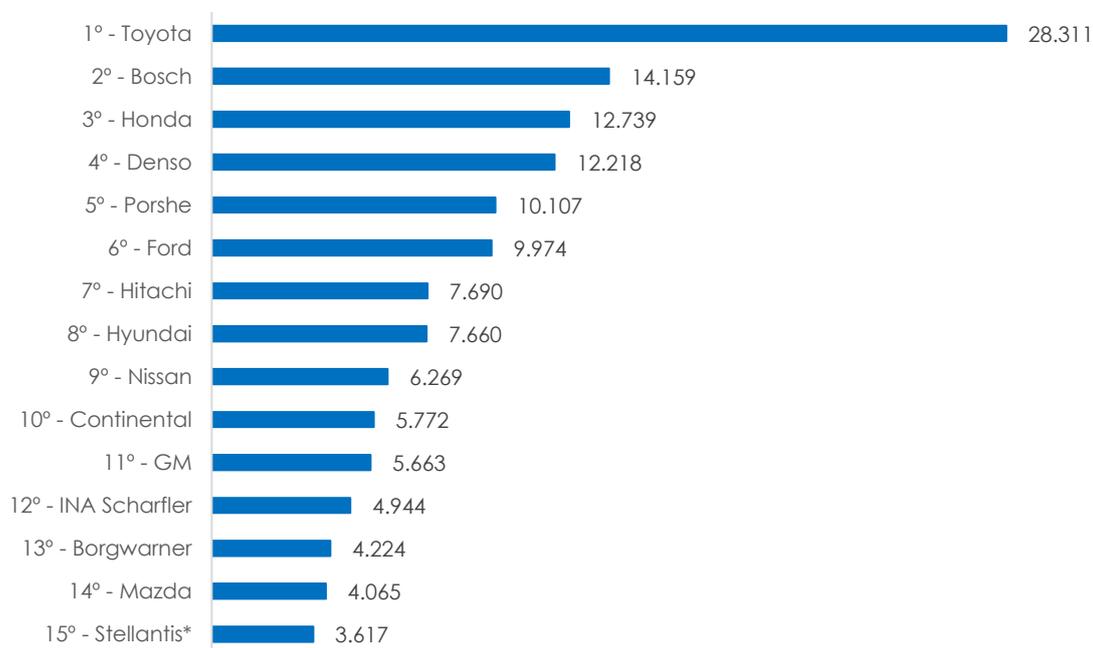
Nas décadas de 1980 e 1990 percebe-se um movimento global de recuo na quantidade de patentes ICE, sobretudo entre 1978-1996, cuja queda foi de 80,2% – entre 1960-1978 houve crescimento de 949,4% no volume de patentes. Isto pode ser explicado pelo nível de maturação das tecnologias relacionadas aos motores a combustão, dado que os documentos de patentes têm validade de 20 anos até que expirem e se tornem de uso público. Portanto, após a corrida tecnológica observada durante os anos 1960 e 1970 – superaquecida pela entrada dos fabricantes japoneses – os dados analisados indicam que há uma certa estabilização na inovação relacionada ao motor a combustão nas décadas de 1980 e 1990 (DERWENT, 2021).

Ao longo da década de 2000, o volume de documentos de patentes volta a crescer, com taxa de 84,0% em relação a década anterior. Foram documentadas 83.332 patentes, pelo qual o Japão se manteve líder com 37,0% de participação, seguidos pelos EUA (16,6%), Coreia do Sul (10,5%) e Alemanha (8,4%) – a Ásia passa a responder por 55,2% das patentes ICE documentadas no mundo. O destaque na década é a consolidação definitiva da China como importante país depositante de patentes. No ano de 2000 foram documentadas na China 18 patentes ICE, alcançando o volume de 1.975 já em 200, que correspondeu a 12,8% da participação daquele ano. Entre os fabricantes, as marcas japonesas seguem liderando o ranking dos registros, juntamente com as alemãs e estadunidenses, somadas ainda ao grupo Stellantis (a plataforma Derwent unificou as marcas FIAT, Chrysler, Dodge, RAM, Peugeot e Citroen para todos os períodos de busca) (DERWENT, 2021).

Por fim, chegamos até década de 2010, que marca um recorde histórico no mercado de patentes ICE, com 385.384 documentos – crescimento de 362,5% ante a década anterior. A China passa a liderar o volume de documentos, com 37,1% de participação, seguida por Japão, EUA e Alemanha, com 21,0%, 14,8% e 7,7%, respectivamente. Apenas no ano de 2019, foram documentadas 59.440 patentes ICE – superior a toda a década de 1990 – com a China atingindo o incrível número de 25.533 patentes. Entre os fabricantes, a japonesa Toyota lidera, com 21.307 documentos no período, seguida por Bosch, Honda, Denso e Ford. As fabricantes chinesas também passam a ter participação relevantes no mercado de patentes, com as marcas Geely, BAIC, JAC, Foton, BYD, FAW, GWM, SAIC e Cherry. Outros players se consolidam no mercado de patentes, como o grupo alemão de componentes automotivos e aeroespaciais Schaeffler e a estadunidense Borgwarner. Destaque também para a estatal chinesa Weichai, especializada em P&D e motores a diesel (DERWENT, 2021).

Os Gráficos 11 e 12 ilustram, respectivamente, a distribuição do volume de patentes entre os fabricantes, bem como a participação global dos documentos entre os países, analisados nas décadas de 2000 e 2010.

Gráfico 11 - Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas ao motor a combustão interna – décadas de 2000 e 2010

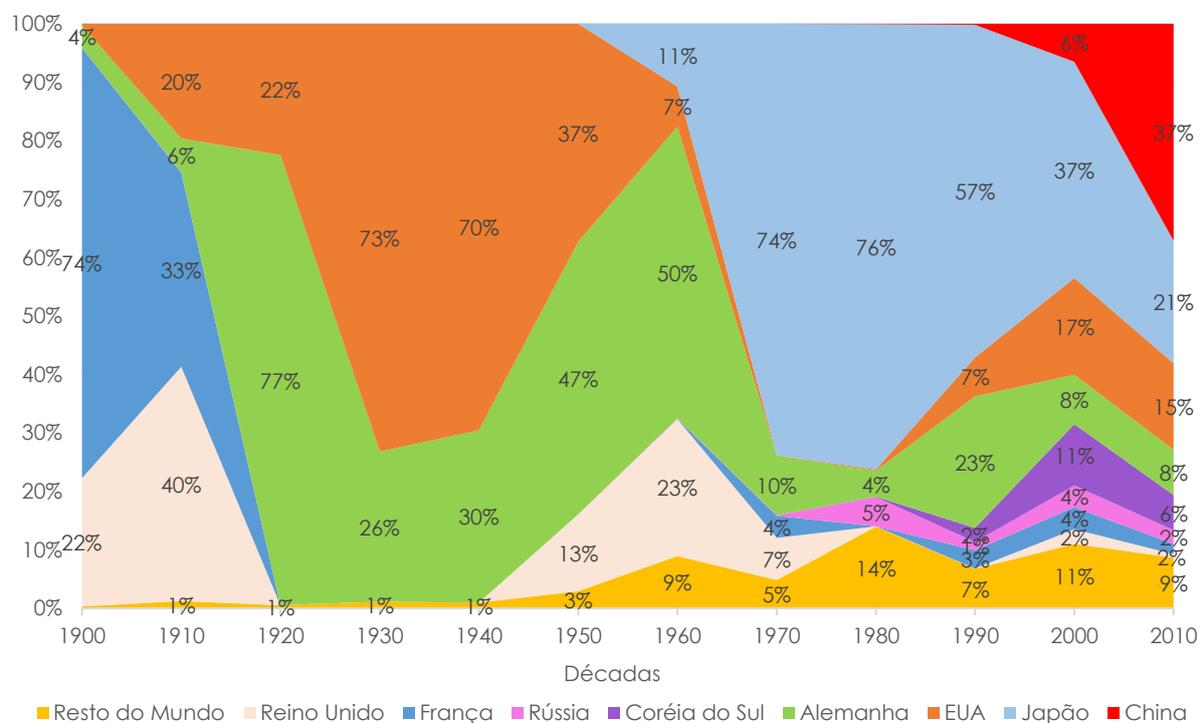


Fonte: DERWENT INNOVATION, 2021

* A plataforma Derwent unificou as marcas FIAT, Chrysler, Dodge, RAM, Peugeot e Citroen para todos os períodos de busca

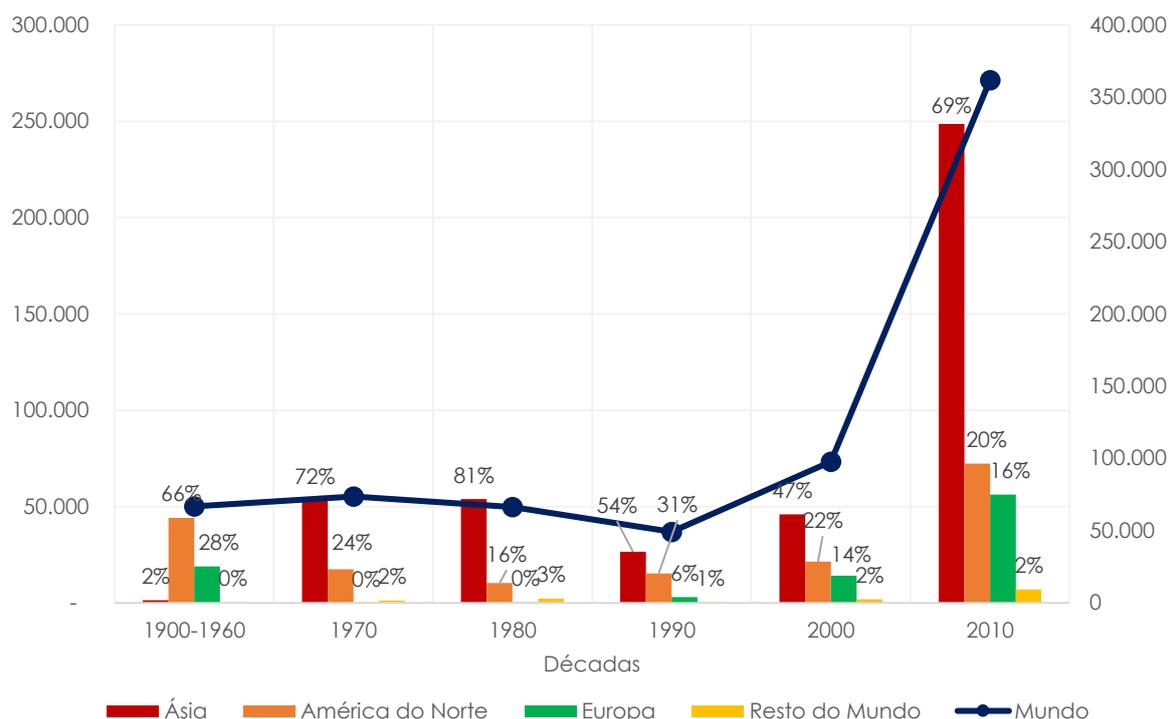
Os dados de patentes ICE nos mostra o mesmo movimento discutido no capítulo 2 – tanto geograficamente em termos de produção, como entre as marcas líderes em termos de mercado de veículos. No Gráfico 13 é possível observar o ciclo que se inicia no ano de 1900, concentrados substancialmente entre França e Reino Unido e dura cerca de 20 anos. Entre os anos 1920 e 1950, Alemanha e EUA se alternam na liderança dos documentos de patentes ICE, até a entrada dos japoneses já em fins dos anos 1960. O Japão segue na dianteira até os anos 2000, acompanhando a análise de produção e *market share*, que mostraram a ascensão de marcas japonesas dentro do mercado automobilístico estadunidense. O período se encerra com a consolidação chinesa no mercado de patentes.

Gráfico 13 - Participação no volume de documentos de patentes relacionados ao motor a combustão interna – por países ao longo das décadas



Fonte: DERWENT INNOVATION, 2021

Gráfico 14 – Volume de documentos de patentes relacionadas ao motor a combustão interna – mundo e principais continentes patenteadores



Fonte: DERWENT INNOVATION, 2021

O Gráfico 14 nos traz o movimento global do volume de patentes ICE, com uma certa estabilidade entre 1960 e 1970, uma queda em fins anos 1970 e meados dos 1990 e um crescimento significativo nas décadas de 2000 e 2010. Fica evidente a distribuição da participação entre os continentes, com predomínio inicial de América do Norte e Europa, dando lugar após os anos 1970 a Ásia, que respondeu na década de 2010 por 69% do total de patentes ICE registradas no mundo.

3.2 – AGENDA AMBIENTAL, POLÍTICAS PÚBLICAS E O MERCADO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

A partir de meados da década de 1960 várias normas e leis foram estabelecidas ao redor do planeta, de modo a transferir a responsabilidade pela emissão de poluentes aos produtores. Desde então o estado da Califórnia vem liderando as políticas de enfrentamento para a redução das emissões de poluentes. Em 1967 o *Federal Air Quality Act* deu a Califórnia poderes para determinar seus próprios níveis de emissões de poluentes veiculares. É o único estado do país com esta autoridade, a qual está mantida no atual *Clean Air Act*, na seção 209. A experiência e expertise da Califórnia com a poluição veicular é encontrada em grande parte dentro da

California Air Resources Board (CARB), que foi fundada em 1960, unindo a *California Motor Vehicle Pollution Board* e a *Bureau of Air Sanitation*. Atualmente a CARB faz parte da *California Environmental Protection Agency* tendo autoridade para definir os padrões da qualidade do ar no estado, bem como propor programas de melhorias e reduções de poluentes (BEDSWORHT & TAYLOR, 2007).

Desde a sua criação, a CARB vem estabelecendo normas voltadas para a indústria automobilística, de modo a produzir veículos menos agressivos ao meio ambiente, mais especificamente regulando as emissões oriundas pela queima de combustíveis fósseis. Em 1990 foi criado pela CARB o programa LEV (*Low-Emission Vehicle*), o qual fazia efeito sobre os veículos Ano-Modelo 1994. O programa estabeleceu uma série de categorias de emissão para carros e caminhões, com diferentes níveis de rigor, onde os fabricantes poderiam certificar os novos veículos. Seguindo a mesma estrutura em 1998 veio o LEV II, impactando os veículos Ano-Modelo 2004. Tanto o LEV I como o LEV II tinham como foco a reduções de Óxido de Nitrogênio (NOx) e o Monóxido de Carbono (CO), os quais são chamados de precursores do ozônio, componente primário da poluição atmosférica, (BEDSWORHT & TAYLOR, 2007).

Em 1990, como parte do programa LEV, a CARB criou o programa *Zero-Emission Vehicle* (ZEV). A CARB acreditava que os ZEVs, definido como “sem emissões de escape ou evaporação de qualquer poluente regulamentado” (CARB, 1990), fossem necessários para atender aos padrões de qualidade do ar nas regiões mais poluentes do estado. As principais características que fez o ZEV ser bastante atrativo era:

- Não emitir poluente atmosférico ou emissões tóxicas tanto no seu funcionamento como no reabastecimento;
- Não exigir um sistema de controle de emissões que podem deteriorar-se ao longo do tempo, uma vez que a deterioração é uma questão importante que leva veículos antigos e de alta quilometragem a terem altos níveis de emissões.

O programa estabelecia um volume de vendas a ser alcançado pelos fabricantes, de modo a obrigar a indústria automobilística a aderir ao *Battery Electric Vehicles* (BEV), sendo os únicos veículos capazes de atender os níveis de emissão zero. Várias outras iniciativas surgiram por meio do programa ZEV, fornecendo fundos para P&D e meios para a cooperação no avanço tecnológico. Em 1993, o governo federal iniciou a parceria para a *New Generation of Vehicles* (NGV), com as montadoras nacionais, com foco em várias tecnologias relevantes incluindo o Híbrido Elétrico (BEDSWORHT & TAYLOR, 2007).

O programa ZEV é reconhecido mundialmente como um marco na intervenção do Estado sobre novas alternativas de transporte de passageiros menos impactantes ao meio

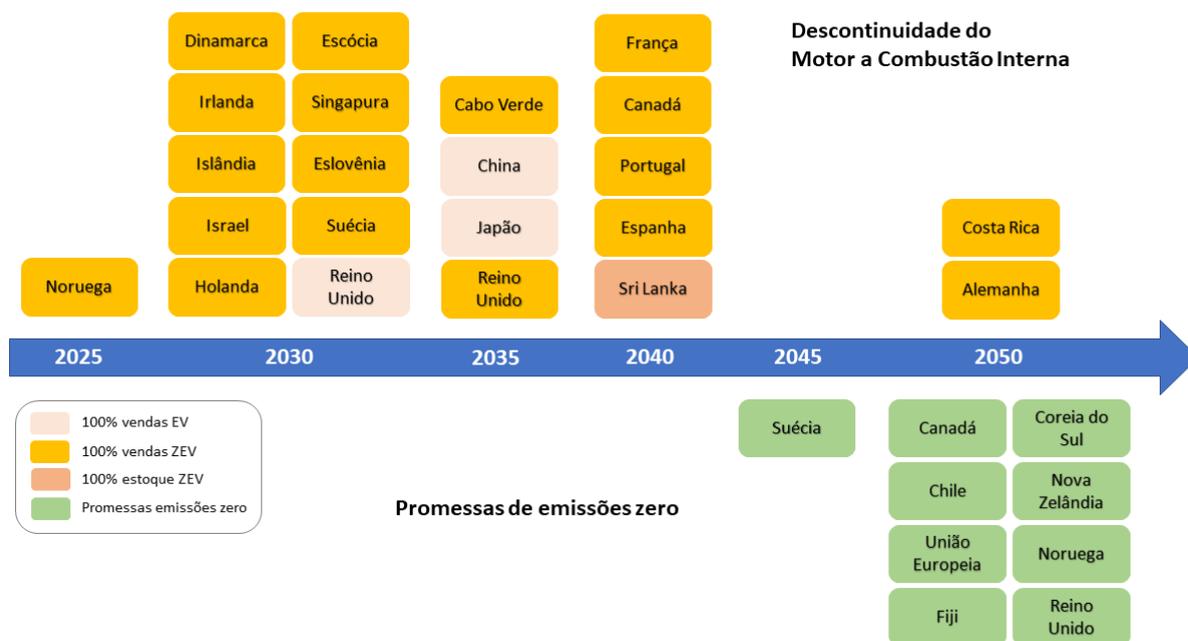
ambiente. O programa foi o passo inicial nos EUA para pesquisas e desenvolvimento de tecnologias relacionadas a veículos elétricos, híbrido, plug-in, fuel cell, hidrogênio, além de novas tecnologias de motores a combustão interna com emissões extremamente reduzidas (KARLSBERG, 2000). O programa ZEV ainda contribui para atração de capital e formação de parcerias, sendo um impulso para o desenvolvimento de baterias além de infraestruturas, tais como estações de recarga (BEDSWORHT & TAYLOR, 2007).

Nos últimos anos, as políticas governamentais têm sido cada vez mais acompanhadas por uma visão de longo prazo, de modo a eliminar gradualmente as vendas de veículos ICE a médio e longo prazo e atingir assim 100% das vendas ou estoque de EV. A partir de dados do IEA 2021, a Figura 4 nos traz alguns exemplos de metas de fim do Motor a Combustão Interna ou de eletrificação das frotas de Veículos Leves de Passageiros (PLDV) ao redor do mundo. Considera-se aqui apenas metas estabelecidas em lei ou legislações propostas, com status em 20 de abril de 2021.

A Noruega é a principal referência na Europa, cuja meta é que 100% das vendas de carros e vans leves sejam ZEV já em 2025. Vários outros países anunciaram metas iguais para 2030, com Reino Unido estipulando o prazo de 2035. Em dezembro de 2019, a França aprovou uma lei que visa eliminar gradualmente as vendas de carros que queimam combustíveis fósseis até 2040. Objetivos semelhantes até 2040 estão sendo considerados na Espanha (IEA, 2020).

Na Ásia, a China estabeleceu metas bastante ousadas, (tendo em vista a dimensão de sua frota), de 100% de vendas EVs para 2035 – o mesmo vale para o Japão. Cabe destacar o Sri Lanka com meta de 100% de seu estoque ser ZEV até 2040. Na América, o Canadá anunciou metas gradativas de eletrificação a partir de 2025 atingindo 100% em 2040. Nos EUA vários estados estão aderindo aos planos para a e-mobilidade, onde as discussões e iniciativas políticas vem ganhando cada vez mais espaço, puxadas sobretudo pelo governo Biden. Além disso mais de 120 países (representando cerca de 85% da frota global de veículos rodoviários, excluindo veículos de duas / três rodas) vem anunciando uma série de promessas, que envolvem emissões zero de CO₂ nos veículos até 2050, (IEA, 2021).

Figura 3: Metas governamentais ligadas a eletrificação de veículos e fim do motor a combustão



FONTE: IEA (2021)

No que se refere a dinâmica da indústria emergente de EVs, entre 2010 e 2020 a China aparece como o maior produtor, com cerca de 4,6 milhões de unidades, que representa 44% da produção global. A Europa vem em seguida com 25% da produção global, respondendo por 2,6 milhões de unidades produzidas e 3,2 milhões vendidas, o que a torna um importador líquido. Os Estados Unidos representam cerca de 18% da produção acumulada no mesmo período, com a Tesla respondendo no ano de 2020 por 85% da produção estadunidense – mais de 215 mil unidades (ICCT, 2021).

Diante desta verdadeira corrida mundial pela dianteira na capacidade de produção de EV, bem como na vanguarda tecnológica, governos e fabricantes vem anunciando ambiciosos pacotes de investimentos. Um exemplo é o *The American Jobs Plan*, lançado em março de 2021 pelo governo Joe Biden, nos Estados Unidos, que propõe um investimento de USD 174 bilhões para “ganhar o mercado de EV”. O plano permitirá que os fabricantes de automóveis estimulem as cadeias de suprimentos domésticas de matérias-primas a peças, reequipem fábricas para competir globalmente e apoiem os trabalhadores americanos na fabricação de baterias e veículos elétricos. Isso dará aos consumidores descontos no ponto de venda e incentivos fiscais para comprar EVs estadunidenses, ao mesmo tempo que garante que esses veículos sejam acessíveis para todas as famílias e fabricados por trabalhadores com bons empregos (THE WHITE HOUSE, 2021).

Muitos países vêm incentivando a compra de EVs por meio de apoio financeiro de modo a estimular o desenvolvimento do mercado. O Quadro 1 nos dá uma visão geral dos incentivos nacionais para a compra de carros elétricos com políticas aplicáveis a consumidores privados. Os valores foram padronizados em dólares dos Estados Unidos (USD) de modo a facilitar a compreensão. Na Europa a grande maioria dos subsídios para a compra de um BEV está na faixa de USD 4.500-6.800. A Noruega deixou de oferecer descontos na compra, mas fornece isenção de impostos substancial. Em alguns países, os clientes também podem contar com apoio financeiro adicional em nível subnacional (estadual ou municipal). No Japão compradores de BEVs se beneficiam de descontos na compra e isenção de impostos.

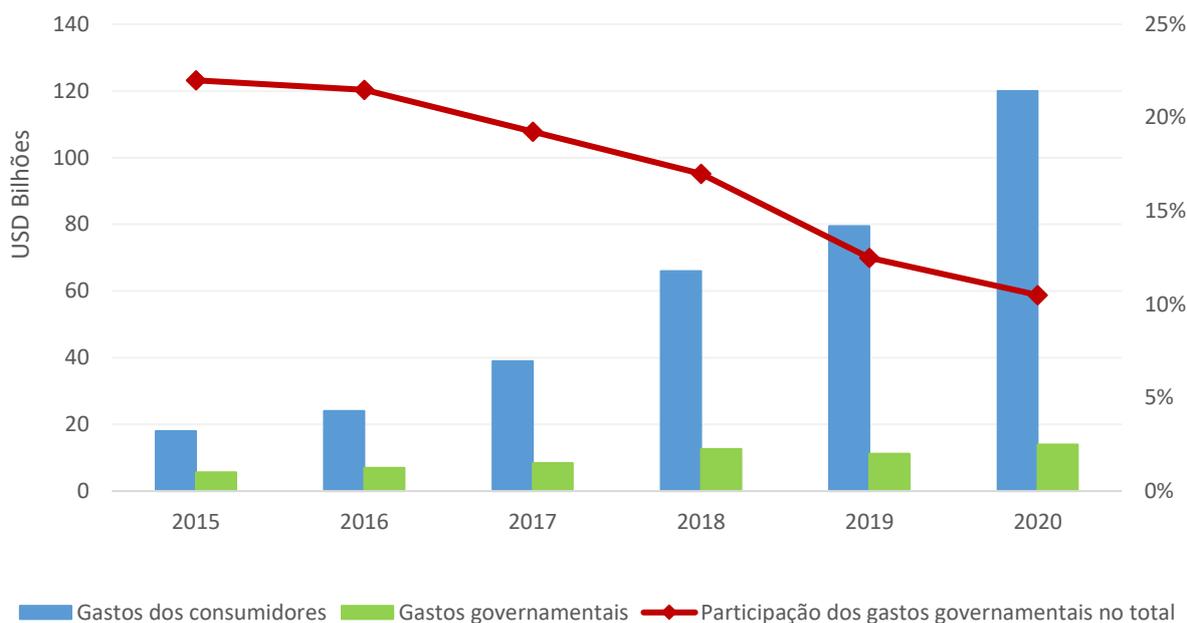
Além disso, muitos países introduziram impostos baseados em CO₂ que penalizam as vendas de veículos com combustíveis fósseis. Alguns países que estão planejando a implantação de EV em massa, como a China, estão reestruturando seus programas de incentivos, reduzindo subsídios diretos. O subsídio chinês para cada categoria de veículo foi reduzido em 2019 em uma média de 50% em relação a 2018, em todas as categorias e permanecerá em queda até praticamente zerar em 2022 (MOF, 2020). Outros países estão introduzindo limites de subsídio com base no preço de varejo do veículo, que visa evitar subsidiar a compra de EVs premium, como Canadá, França, Alemanha, Espanha, Reino Unido e a China (IEA, 2020).

Quadro 1: Incentivos nacionais para compra de EVs

País	Subsídio para a Compra	Isenção de Impostos	Comentários
ASIA			
China	BEV => USD 3.200 PHEV => USD 1.200)	10% sobre o Imposto de Compra	Preço máximo USD 42.400
Coreia do Sul	BEV => USD 6.700 FCEV => USD 18.800		
Japão	PHEV => USD 1.800 BEV => USD 3.700 FCEV => USD 20.800		
EUROPA			
Alemanha	BEV => USD 6.800		Preço máximo USD 45.200
Espanha	BEV, PHEV => USD 6.200		Preço máximo USD 45.200
França	USD 6.800 BEV, FCEV, PHEV	Isenção Emplacamento e Licenciamento	Preço máximo USD 50.800
Noruega		25% VAT para BEVs	
Reino Unido	BEV, PHEV => USD 3.800		Teto de 25% sobre o preço
Suécia	BEV, FCEV => USD 6.500		Teto de 25% sobre o preço
AMÉRICA			
Canadá	USD 3.700 BEV, FCEV, PHEV		Preço máximo USD 44.800
EUA		Restituição de até USD 7.500 => BEV, PHEV	Teto de 25% sobre o preço

FONTE: IEA (2020)

Gráfico 15: Gastos consumidores e governamentais em carros elétricos



FONTE: IEA (2021)

NOTAS: Os incentivos do governo são a soma dos gastos diretos do governo por meio de incentivos de compra e receita perdida devido à isenção de impostos especificamente para carros elétricos. São consideradas apenas políticas nacionais de governo para compra de carros. O gasto do consumidor é a despesa total com base no preço do modelo, menos os gastos do governo.

No Gráfico 15 podemos observar a relação de gastos de consumidores e governos destinados a compra de carros elétricos. Consumidores gastaram cerca de USD 120 bilhões em 2020 – um aumento de 50% em relação a 2019 – os quais 41% respondem pelo aumento no volume de vendas e 6% no aumento de preços. Em paralelo, governos ao redor do mundo gastaram em torno de USD 14 bilhões em incentivos diretos e isenções tarifárias no ano de 2020 – aumento de 25% ante 2019. Nota-se um movimento de queda na participação de incentivos governamentais no total gasto no consumo – queda média de 13,8% entre 2015 e 2020 (IEA, 2021).

Além de governos, inúmeros anúncios de investimentos podem ser vistos na Indústria Automotiva, entre os principais fabricantes, de modo a garantir a expansão na produção de EVs. De acordo com a IEA, 18 dos 20 maiores fabricantes¹² – que representaram quase 90% de todos os novos registros de automóveis em 2020 – anunciaram a intenção de aumentar o número de modelos disponíveis. Alguns fabricantes planejam reconfigurar suas linhas de produção para produzir apenas EVs (IEA, 2021). Os anúncios mostrados no Quadro 2 totalizam cerca de USD

¹² Maiores fabricantes em termos de veículos vendidos em 2020

345 bilhões em investimentos globais até 2030, o que aumenta a estimativa de USD 275 bilhões de dezembro de 2020 em cerca de 20%. Lembrando que os valores incluem toda a aquisição de bateria associada necessária. Considerando a gama de investimentos, bem como as metas relacionadas e vendas, estima-se que a produção de EVs aumente de 3,0 milhões em 2020 para cerca de 22 milhões em 2025 e 35 milhões até 2030. Cabe ainda ressaltar que muitos detalhes dos planos estratégicos das empresas não são totalmente divulgados, o que nos leva a supor que os investimentos reais sejam ainda maiores (ICCT, 2021).

Quadro 2 – Anúncios de investimentos em veículos elétricos – fabricantes selecionados

Fabricante	Anúncios em investimentos
BMW	11 bilhões em aquisição de baterias 2020-2031
BAIC	1,5 bilhão em 2022 / 1,9 bilhão com Daimler
BYD	3 bilhões em fábrica de baterias até 2020 / 1,5 bilhão em fábrica de veículos na China
Changan Automobile	15 bilhão até 2025
Daimler	13 bilhões em fábrica de veículos / 1,2 bilhão fábrica de baterias / 22 bilhões em aquisição de baterias
Ford	30 bilhões até 2025
Geely	3,3 bilhões
GWM	8 bilhões até 2030
GM	35 bilhões até 2020-2025
Honda	430 milhões em instalação na China / 300 milhões em fábrica de baterias
Hyundai-KIA	41 bilhões até 2025
Jaguar-Land Rover	18 bilhões 2019-2022
Lucid Motors	700 milhões na fábrica de Arizona-EUA
Renault-Nissan-Mitsubishi	9,5 bilhões na China 2018-2022 / 1 bilhão na Tailândia até 2020
Rivian	750 milhões na fábrica de Illinois-EUA
SAIC	820 milhões
Stellantis	10,8 bilhões até 2022
Toyota-Suzuki-Mazda-Subaru	2 bilhões na Indonésia 2019-2023 / 1,2 bilhão na China com a fabricante FAW
Tesla	Fábricas: 5 bilhões na China / 4,4 bilhões na Alemanha / 1 bilhão no Texas-EUA
Volkswagen	42 bilhões até 2025 / 60 bilhões em aquisição de baterias

FONTE: ICCT 2021

No que se refere ao mercado de EVs, as projeções indicam que os fabricantes adotem a mobilidade elétrica de forma mais ampla na década de 2020. Na Tabela 2 é possível observar alguns anúncios voltados para participação nas vendas de EVs nas montadoras, bem como o lançamento de novos modelos – atualizados no primeiro trimestre de 2021. Destaques para: a Volvo e Ford¹³, que venderão apenas carros elétricos a partir de 2030; a GM planeja oferecer apenas LDVs elétricos até 2035; a Volkswagen visa 70% das vendas de carros elétricos na Europa e 50% na China e Estados Unidos em 2030; e a Stellantis com meta de 70% das vendas de carros elétricos na Europa e 35% nos Estados Unidos. A partir destas metas, estima-se que

¹³ Ford considera apenas o mercado europeu

as vendas acumuladas de LDVs fiquem entre 55 e 75 milhões de unidades até 2035 (IEA, 2021).

Tabela 2 – Anúncios relacionados a veículos elétricos – fabricantes selecionados

Fabricante	2022	2023	2025	2026	2029	2030
BMW		25	15-25%			0,9
BAIC			1,3			50%
Changan Automobile		33	100%			
			1,7			
Daimler	10		25%			50%
						1,3
Ford	40			100%*		2,3
Great Wall		12	30%	0,7		
GM		22	30			
			1,0			
Honda						40%
Hyundai-KIA			42			2,0
Jaguar			100%			100%
Land Rover						60%
Renault-Nissan	20	3,0				
		30%				
SAIC			30%			30
Stellantis			38%*			70%*
			31%**			35%**
Toyota-Suzuki-Mazda-Subaru				100%		15%
						2,0 - 3,0
Tesla	1,0					20,0
Volkswagen			20%			4,0 - 5,0
			75			40%
Volvo			50%			100%

- Novos modelos de EV
- % de vendas de EV
- Vendas anuais (milhões de unidades)

* Mercado da Europa

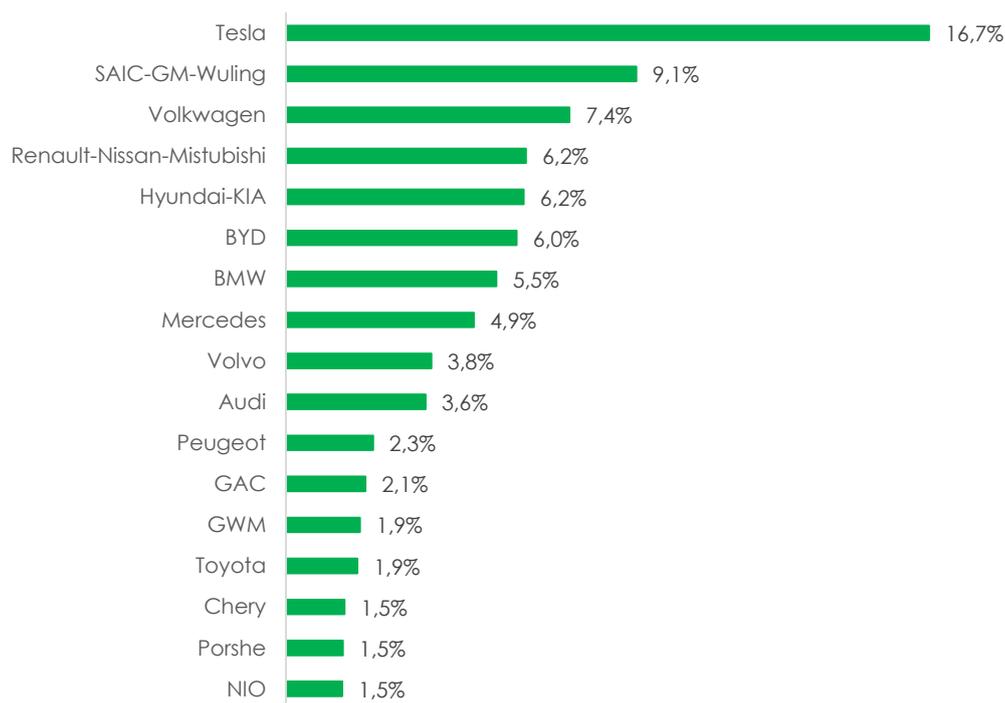
** Mercado da China e EUA

Fonte: IEA (2021)

Em termos de vendas, no ano de 2020, 69,4% do total no mundo foram produzidas por 10 grupos de fabricantes, somando mais de 2 milhões de unidades. A marca líder no mercado global é a estadunidense Tesla, com 499,5 mil unidades vendidas, que representou 16,7% de participação. Em seguida vem os grupos SGMW¹⁴, Volkswagen e Renault-Nissan-Mitshubishi com 9,1%, 7,4% e 6,2% de participação nas vendas globais de EVs (CLEANTECHNICA, 2021).

¹⁴ SAIC + GM + Wuling - é uma joint venture entre Wuling, General Motors e Shanghai Auto na qual a última detém 50,1% da joint venture, a GM possui 44% de participação, enquanto a Wuling possui 5,9% da joint venture.

Gráfico 16 – Participação nas vendas globais de veículos elétricos em 2020



FONTE: CLEANTECHNICA, 2021

3.3 – AS BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS E *SPILLOVER* TECNOLÓGICO

O ressurgimento do veículo elétrico e o avanço nos rumos da eletromobilidade estão diretamente ligados à evolução tecnológica da composição das baterias. Os principais desafios tecnológicos a serem vencidos em relação às baterias EV são a alta confiabilidade, alto desempenho, alta densidade energética, tempo de recarga reduzido, ciclo de vida elevado, peso e volume reduzidos, custo razoável, e segurança, bem como a não agressividade ao meio ambiente, na medida em que o descarte da bateria ainda representa certo entrave do ponto de vista ambiental (ROSOLEM et al, 2012).

Na atualidade, o que há de mais avançado e o que tem sido mais utilizado são as baterias de íon-lítio (LIB). O lítio é um metal leve com elevado potencial eletroquímico e um dos metais com maior intensidade energética, características muito atrativas para utilização em sistemas de armazenamento de energia (ROSOLEM et al, 2012). Este tipo de bateria apresenta elevadas densidades de potência e energia, e vem sendo utilizado, além dos veículos elétricos, em celulares, tablets, laptops, utensílios elétricos de uso doméstico, dispositivos médicos, além de sistemas de armazenamento de energia (solar, eólica etc.) e até satélites (KVA, 2019).

Em relação às perspectivas de tecnologia dominante para a década de 2020, de acordo com a IEA (2020), as baterias de íon-lítio dominarão o mercado de EV por três razões. Em primeiro lugar, esta tecnologia está bem estabelecida, o que significa a existência de experiência considerável para sua fabricação em grande escala, bem como a sólida compreensão de suas características de durabilidade de longo prazo. Em segundo lugar, os grandes investimentos em manufatura e cadeias de abastecimento de íon-lítio que foram feitos até o momento constituem uma barreira à entrada de tecnologias alternativas. Terceiro, as tecnologias alternativas ainda estão em níveis mais baixos de preparação de tecnologia (TRLs, *Technology Readiness Levels*); nenhum ainda foi aplicado em condições de vida real de veículos comerciais (IEA, 2020).

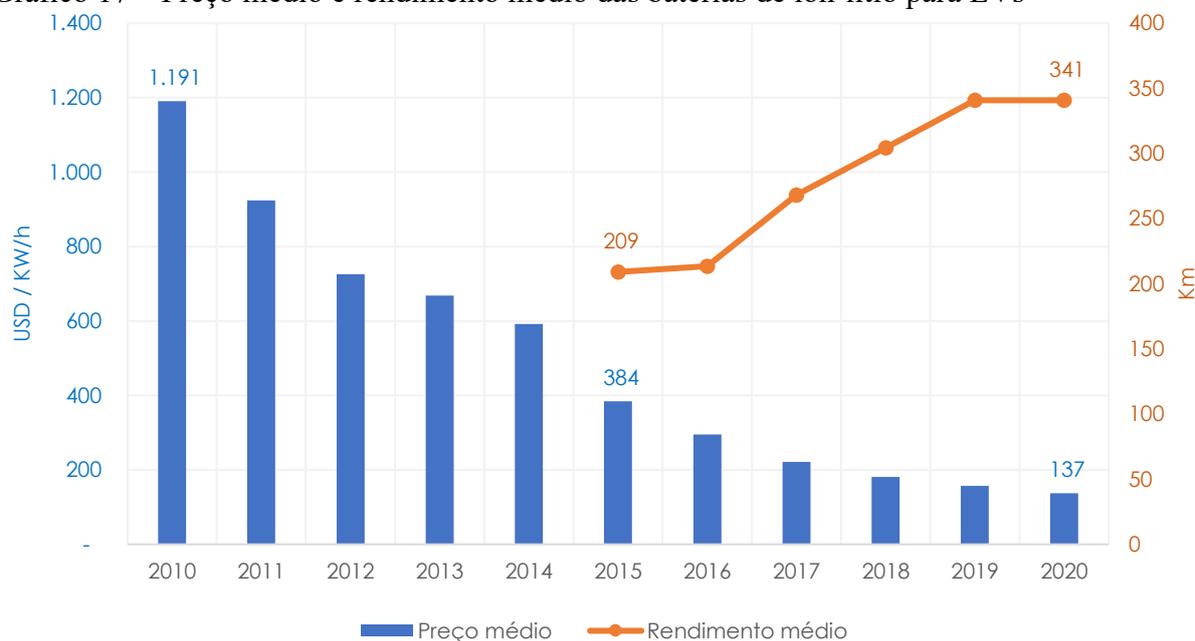
Mesmo quando uma nova tecnologia atinge um nível de maturidade tecnológica, tornando-a potencialmente disponível, haverá um atraso considerável antes que comece a penetrar no mercado. Isso ocorre porque testes extensivos em condições reais são necessários, e mesmo se e quando o teste demonstrar melhorias substanciais junto com as principais métricas (por exemplo, custo, densidade de energia, durabilidade, segurança), uma nova capacidade de produção terá de ser instalada (IEA, 2020).

Embora a tecnologia de íon-lítio tenha feito um enorme progresso na última década em termos de densidade de energia, custos e ciclo de vida, ainda há espaço para melhorias. As pesquisas estão sendo conduzidas para melhorar todos os três componentes principais das células de LIB: cátodos, ânodos e eletrólitos. Além disso, desenvolvimentos recentes em design de bateria e gerenciamento térmico visam principalmente cortar os custos dos componentes do módulo. Dois exemplos são os *cell-to-pack* da Contemporary Amperex Technology Co. Limited's (CATL) e o "*Blade Battery*" da Build Your Dreams (BYD) que visam remover os componentes do módulo intermediário, reduzindo assim os custos do conjunto e aumentando a densidade de energia em até 20% (CATL, 2019; BYD, 2020).

Nos últimos anos o preço médio dos conjuntos de baterias de íon-lítio para EVs vem registrando quedas significativas. Isto pode ser explicado por vários fatores como: a crescente capacidade de oferta global, o crescimento nos volumes de pedidos dos principais fabricantes automotivos, o aumento da densidade de energia, bem como a introdução de novas células e designs de conjuntos das baterias (BNEF, 2021). No Gráfico 17 é possível observar o movimento decrescente dos preços médios e o constante aumento no rendimento médio das baterias LIBs para EVs. Entre 2015 e 2020 o preço médio medido em USD/KWh caiu 64,3%, enquanto o rendimento médio medido em Km cresceu 63,0%, (BNEF, 2021; IEA, 2021). Nota ainda que, segundo a IEA (2021), o rendimento médio dos carros elétricos nos Estados Unidos

tende a ser maior do que na China devido a uma maior participação chinesa de carros elétricos urbanos pequenos, que utilizam um conjunto de baterias mais simples.

Gráfico 17 – Preço médio e rendimento médio das baterias de íon-lítio para EVs



Fonte: BloombergNEF (2021) e IEA (2021)

NOTA: Os dados de rendimento médio anteriores a 2015 não estavam disponíveis até a conclusão desta dissertação.

De acordo com cálculos realizados pela BNEF (2021), os preços das baterias LIBs podem cair abaixo de USD/KWh 100 em 2024 e atingir USD/KWh 58 em 2030. Isto é consistente com o conceito de taxa de aprendizagem, que vincula a taxa de queda de preços ao volume de baterias implantadas no mercado. O estudo chegou a uma taxa de aprendizado de 18% (custo redução para cada duplicação da capacidade da bateria), e utilizou-a para a curva de tendência nos preços. Em 2035, as baterias de íon-lítio poderão atingir um preço médio ponderado por volume de USD/KWh 45. No entanto, isso exigirá substituição de material e mais avanços tecnológicos (BNEF, 2021).

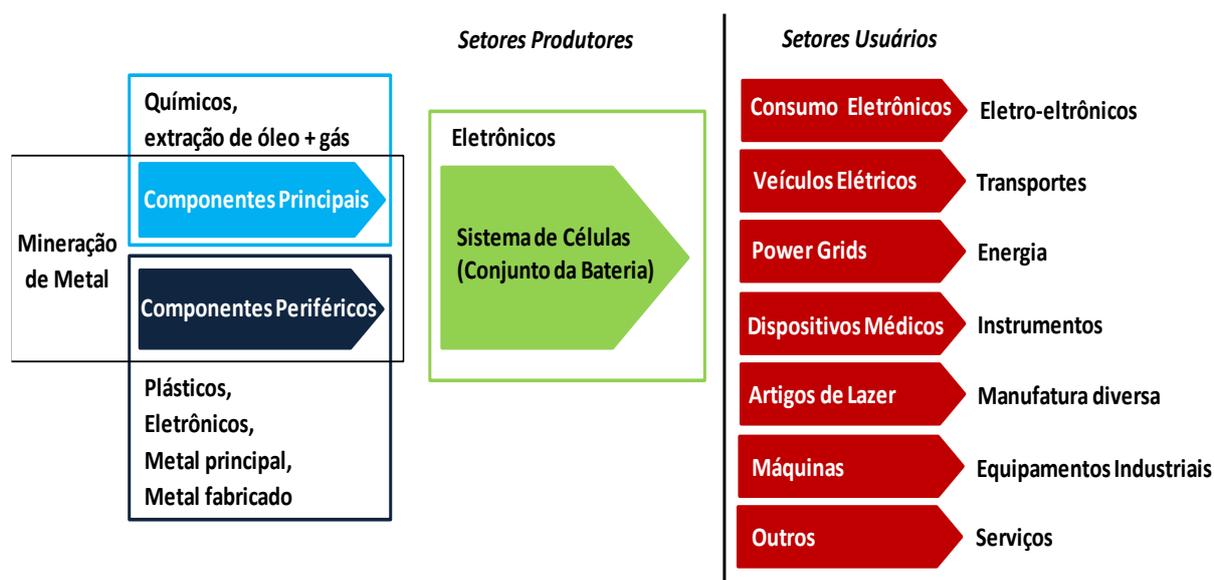
Apesar das preocupações em torno do rendimento das baterias, alguns EVs podem não ser necessariamente projetados para as mais altas densidades de energia possíveis. Este pode ser o caso dos ônibus urbanos ou de veículos de entrega (LCV), onde as restrições volumétricas são menos rigorosas. Outro motivo é diminuir o preço de carros elétricos em mercados onde a acessibilidade é mais importante do que as longas distâncias (IEA, 2020). Para essas aplicações, a tecnologia de cátodo LFP é muito adequada devido à grande disponibilidade de seus materiais precursores (incluindo o fato de não usar cobalto) e seu longo ciclo de vida. O recente anúncio

da parceria Tesla com a CATL para adotar cátodos LFP, assim como a tecnologia *cell-to-pack* nos seus carros produzidos na China vão nessa direção (REUTERS, 2020).

Conforme abordado até aqui, as LIBs são utilizadas em diversos produtos, desempenhando um papel crucial nos setores de eletrônicos, energia e transportes. A tecnologia das LIBs consiste em vários componentes e subsistemas, pelo qual diferentes setores estão envolvidos na cadeia de valor, tanto de produção como de uso (STEPHAN et al, 2017). A Figura 5 nos traz de forma visual este transbordamento de conhecimento tecnológico entre as áreas. Ela ilustra a configuração setorial nas LIBs, indicando a complexidade e difusão tecnológica nos setores produtores e usuários.

Os componentes principais habilitam as principais funções da bateria: as reações eletroquímicas que convertem energia elétrica em química (carregamento) e vice-versa (descarregamento). Células individuais montam os componentes principais - aprimorados por meio de componentes periféricos (fiação, revestimento, sistema de resfriamento, equilíbrio do sistema) - e podem ser empilhados em um sistema de células (conjunto de bateria). Esses diferentes subsistemas e aplicações requerem diferentes processos de produção e conhecimentos específicos, fornecidos por diferentes setores. Por exemplo, as matérias-primas do setor de mineração são processadas em componentes principais e periféricos pelos setores químico, metalúrgico e elétrico-eletrônico. Por fim o setor elétrico-eletrônico reúne os componentes na célula, que pode ser integrada em vários sistemas técnicos maiores, como em aplicativos móveis (EVs, laptops, tablets, celulares) ou aplicações estacionárias (integração de energias renováveis intermitentes em redes de eletricidade).

Figura 4 – Cadeia de valor tecnológico e configuração setorial da LIB



Fonte: STEPHAN et al (2017)

A configuração setorial da LIB consiste, portanto, em muitos e diferentes setores. Seus conhecimentos e práticas (de processo) se diferem substancialmente, uma vez que são baseados em diferentes disciplinas científicas (STEPHAN et al, 2017). Nota-se que a dinâmica do setor individual impacta diretamente os processos de inovação das baterias. Os dispositivos eletrônicos foram os pioneiros no uso de LIBs, o que tornou possível a popularização e alto consumo de celulares, tablets e laptops. A partir desta tecnologia embarcada nas LIBs, o transbordamento tecnológico para a Indústria Automotiva, por meio dos EVs, ocorre de forma intuitiva e automática. Essa dinâmica de mercado em novos setores aumentou substancialmente o desenvolvimento de processos inovativos, acompanhados por mudanças na organização das atividades produtivas nas cadeias de valor, como por exemplo, a formação de *joint ventures* ou esforços de integração vertical (STEPHAN et al, 2017).

3.4 – DADOS DE PATENTES RELACIONADAS ÀS BATERIAS DE ÍON-LÍTIO

A partir de dados extraídos junto a plataforma Derwent Innovation (2021), esta seção tem a intenção de analisar o mercado de patentes relacionados as baterias de íon-lítio desde 1990, tanto para veículos elétricos, como para dispositivos eletrônicos. Cabe ressaltar que já na década de 1990 as baterias de íon-lítio (LIB) eram o que havia de mais avançado, tanto para veículos como para dispositivos eletroeletrônicos (ROSOLEM et al, 2012).

3.4.1 – Patentes relacionadas a baterias de íon-lítio para veículos elétricos

No ano de 1990 foram 28 documentos de patentes relacionadas a baterias de íon-lítio para veículos elétricos (LIB-EV, *Lithium-Ion Battery for Electric Vehicles*), pelas quais 16 estavam no Japão. Passados 9 anos, o volume de patentes documentadas cresce 992,9%, saltando para 306 documentos em 1999. Ao longo da década de 1990 foram 1.153 patentes LIB-EV documentadas, tendo o Japão como líder com 771 documentos, representando 68,0% do total. Em seguida aparecem Alemanha, EUA e França, com 11,2%, 7,8% e 2,7% de participação, respectivamente. Entre as marcas, as tradicionais japonesas do setor Automotivo dominaram o mercado de patentes LIBs para EVs, com a Toyota liderando com 117 documentos, seguida por Nissan, Honda, Mitsubishi e Yamaha. O destaque, entretanto, é a forte participação de fabricantes relacionados ao setor da Tecnologia da Informação e Comunicações (TIC), como as japonesas Hitachi, Panasonic, NGK, Sumitomo, Sony, Toshiba, Fujitsu e TDK. Na análise setorial, as empresas relacionadas as TICs representaram 23,4% de participação nas

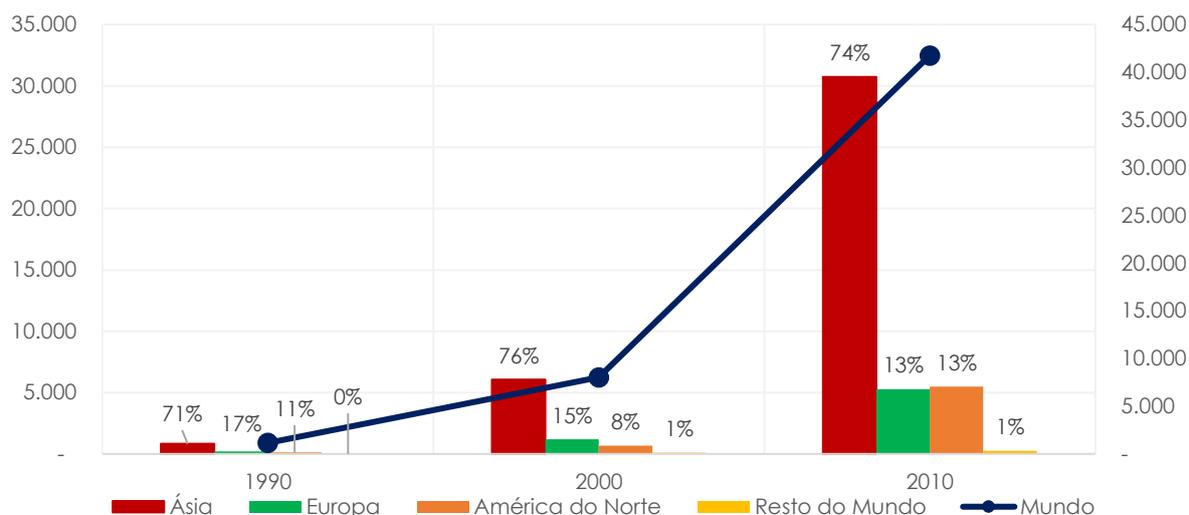
patentes LIB-EV nos anos 1990, atrás apenas do setor Automotivo, com 72,8% (DERWENT, 2021). Em todas as análises setoriais relacionadas aos documentos de patentes LIBs, foram considerados os 50 maiores fabricantes em termos de volume de documentos no período total, entre 1990 e 2019.

Na década de 2000 o volume total de documentos de patentes LIB-EV chegou a 8.015 – crescimento de 595,1% em relação a década anterior. O Japão permaneceu como o maior depositante com 65,1% de participação, seguido por EUA (7,8%), China (7,3%) e Alemanha (5,6%). O movimento crescente na quantidade de documentos ocorre sobretudo após 2005, onde o número salta de 545 para 1.905 em 2009, crescimento de 249,5%. No que se refere aos fabricantes, as tradicionais do setor Automotivo Renault, Denso, Daimler, GM, Bosh, Subaru, Stellantis e Ford ganham destaque no mercado de patentes LIB-EV, somadas ainda a então emergente coreana Hyundai. A participação do setor TIC chega a 29,4% em 2006, mas encerra a década de 2000 com 21,8%, inferior ao número observado na década de 1990. Outras marcas importantes no setor de TIC passam a figurar, como LG Chem, GS Yuasa, NEC, Samsung, General Electric e Omron, além de outras do setor de Produtos Químicos, como Showa Denko e Asahi Kasei, (DERWENT, 2021).

Por fim os dados observados dos anos 2010 nos revelam um crescimento de 421,1% em relação a década anterior, alcançando um total de 41.769 documentos de patentes LIB-EV. A soma dos volumes de 2018 e 2019 (11.607) é superior a todo o volume documentado ao longo dos vinte anos das décadas de 1990 e 2000 (9.168). Entre os principais países, o Japão documentou 35,4% de participação, seguido por China, EUA e Coreia do Sul, com 27,0%, 13,7% e 10,3%, respectivamente. Ao longo da década de 2010, 73,7% das patentes LIB-EV foram documentadas na Ásia. Importante destacar o crescimento significativo nos documentos chineses, que passam a superar a participação japonesa a partir do ano de 2017. Apenas em 2019 foram documentadas na China 2.438 patentes LIB-EV. Já entre os fabricantes do setor Automotivo, passam a se destacar algumas já tradicionais como Porsche, BMW e Suzuki, e outras emergentes chinesas como BYD e BAIC. O setor de TIC expande sua participação no mercado de patentes LIB-EV, alcançando 36,4% de todos os registros na década de 2010, com queda da participação do Automotivo de 73,8% para 58,8% entre os anos 2000 e 2010. As marcas do setor TIC que passam a ganhar destaque são Murata, SEL e CATL, além da SK Innovation, oriunda do setor de Energia, (DERWENT, 2021).

A análise de 30 anos de documentos de patentes LIB-EV é ilustrada na Figura 5 e nos Gráficos a seguir. A nuvem de palavras ilustrada foi criada a partir dos títulos dos 50.937

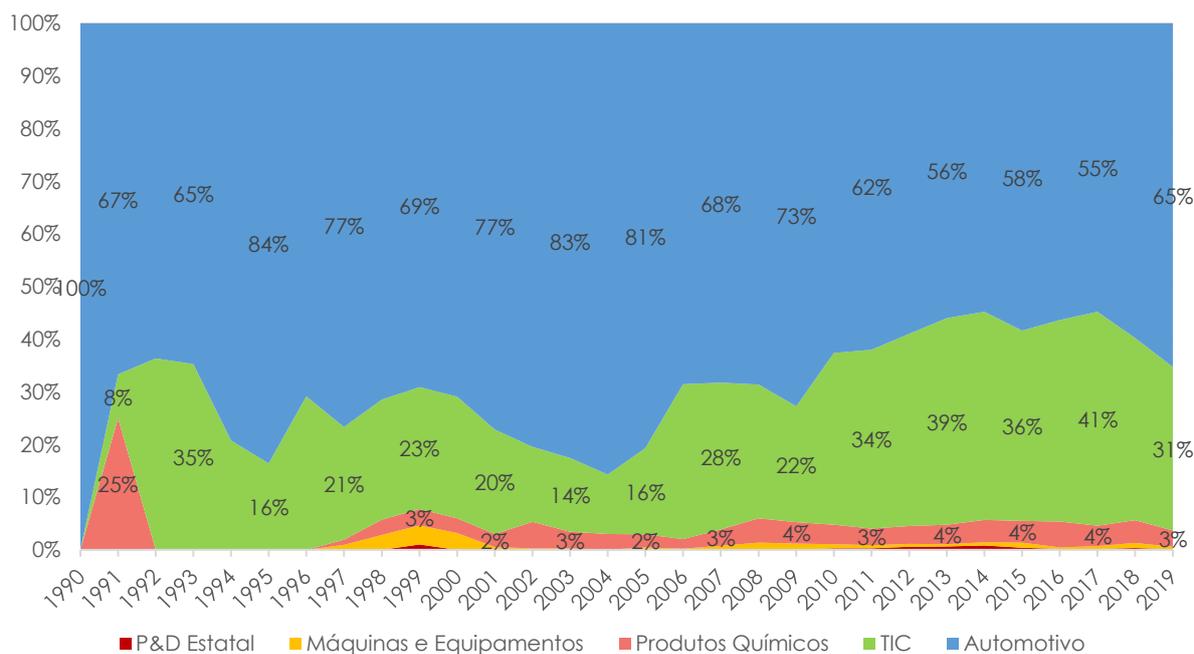
Gráfico 19 – Volume de documentos de patentes relacionadas à LIB-EV



Fonte: DERWENT, 2021

O Gráfico 19 mostra o crescimento no volume de documentos no mundo, bem como a distribuição entre os continentes, onde a Ásia respondeu em 2020 por 74% das patentes LIB documentadas no mundo. Já a análise setorial dos documentos de patentes LIB-EV pode ser observada no Gráfico 20. Entre os 50 maiores depositantes, 100% pertenciam ao setor Automotivo no ano de 1990. A partir de então, o setor de TIC passa a avançar nas pesquisas, alcançando 41% de participação nas patentes LIB-EV em 2017. Fica claro o movimento de inserção de fabricantes do setor de TICs na Indústria Automotiva moderna.

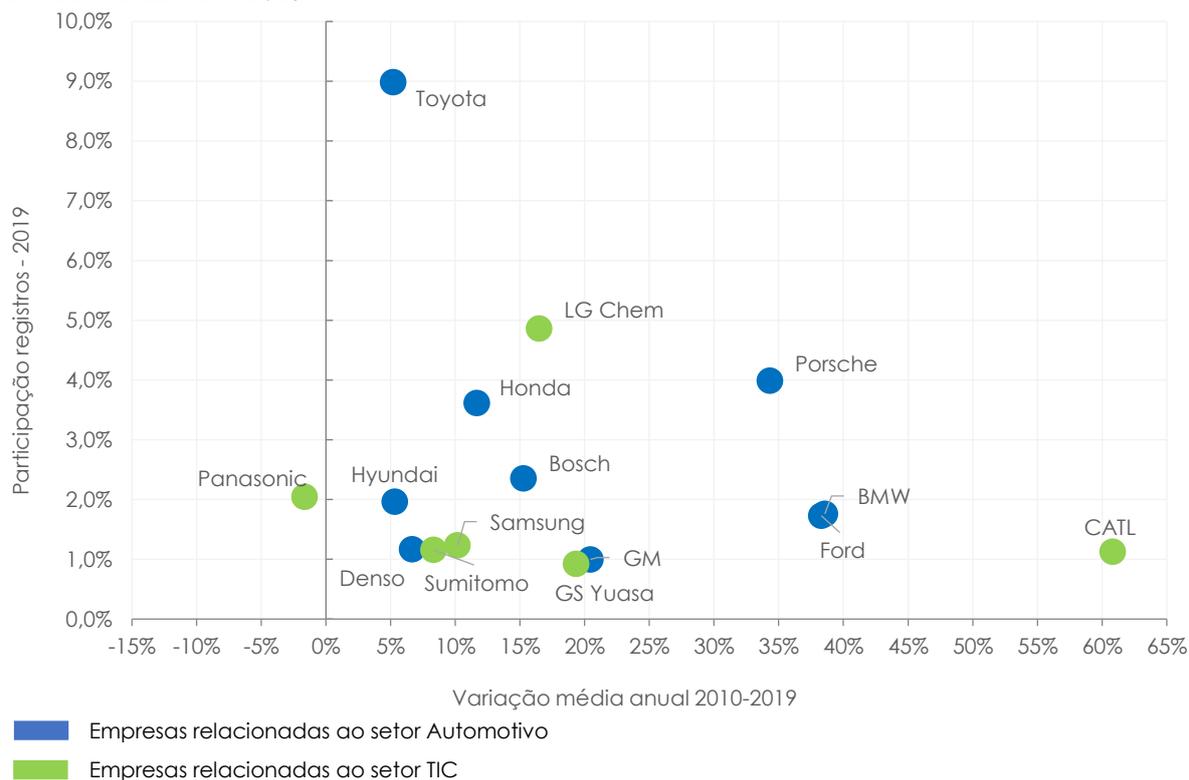
Gráfico 20 – Participação setorial dos top 50 que mais documentaram patentes de baterias iônicas para veículos elétricos



Fonte: DERWENT, 2021

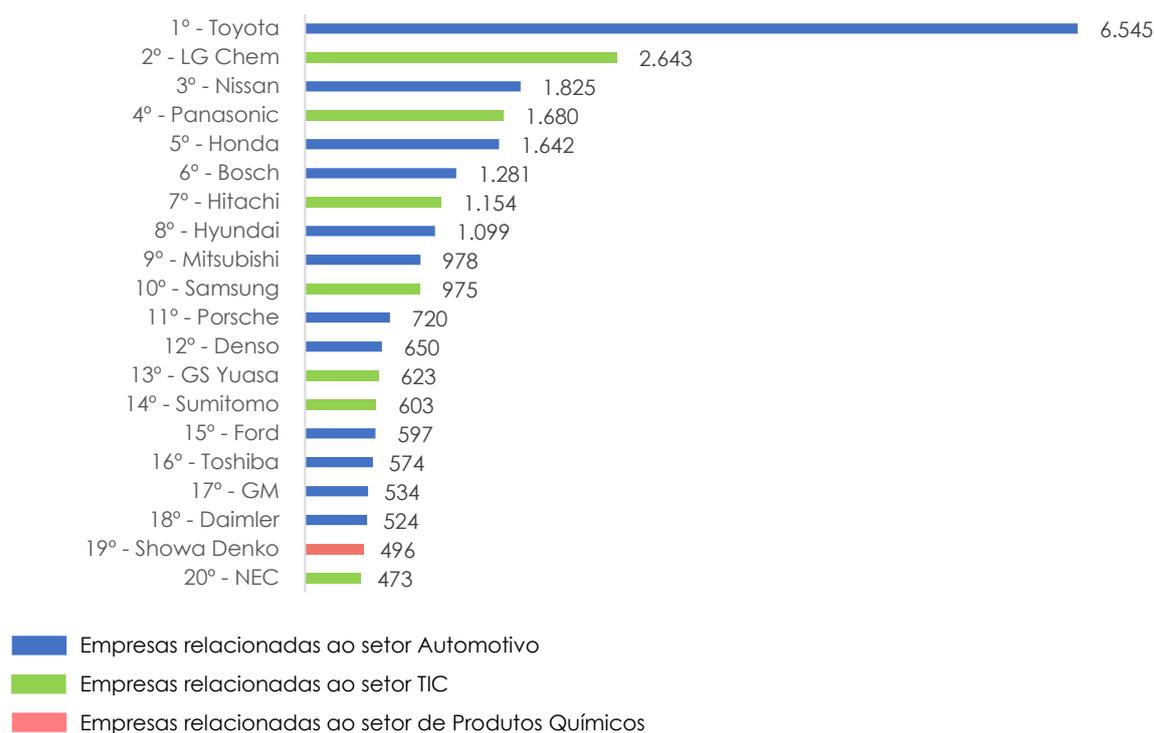
A análise ilustrada no Gráfico 21, nos mostra a participação dos 15 maiores depositantes de patentes LIB-EV em 2019 e suas respectivas variações médias anuais entre 2010 e 2019. A Toyota liderou em 2019 com 9% de participação, no entanto o seu crescimento médio anual nos últimos 10 anos é de apenas 5,2%. Em seguida temos a LG Chem com 4,9% de participação e expansão anual média de 16,5% para os mesmo períodos. Já a CATL teve apenas 1,1% de participação em 2019, mas com crescimento médio de 60,8% na última década.

Gráfico 21 – Top 15 fabricantes que mais documentaram patentes de baterias íon-lítio para veículos elétricos – 2019



Fonte: DERWENT, 2021

Gráfico 22 – Top 20 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas à LIB-EV – volume total entre 1990-2019



Fonte: DERWENT, 2021

No Gráfico 22 temos o ranking com os 20 maiores depositantes de patentes LIB-EV entre 1990 e 2019, onde a Toyota liderou com mais 6 mil documentos. O destaque é para a presença de sete marcas do setor de TIC entre as 20 maiores.

3.4.2 – Patentes relacionadas a baterias de íon-lítio para dispositivos eletrônicos

Para efeitos comparativos, a análise dos documentos de patentes relacionadas as baterias de íon-lítio para dispositivos eletrônicos (LIB-ED, *Lithium-Ion Battery for Electronic Devices*) considera o mesmo período utilizado na análise das patentes LIB-EV – 1990 a 2019.

No ano de 1990 foram documentadas 318 patentes LIB-ED, saltando para o 1.000 em 1999, um crescimento de 214,5%. Na década de 1990 o volume total foi de 5.317 documentos, onde o Japão liderou entre os países com 58,8% de participação, seguido por EUA, Alemanha e China, com 12,7%, 9,8% e 3,6%, respectivamente. Entre as marcas, as tradicionais do setor de TIC figuram entre as líderes no mercado de patentes como, Panasonic, Sony, NEC, Toshiba, Motorola, Fujitsu, Hitachi, Canon, GS Yuasa. NTT, Ericsson, Samsung etc. Importante destacar a presença de marcas do setor Automotivo, como Toyota, Nissan, Honda, Bosh e Mitsubishi. Na análise setorial, 83,8% dos documentos ocorreram por empresas ligadas ao setor de TIC,

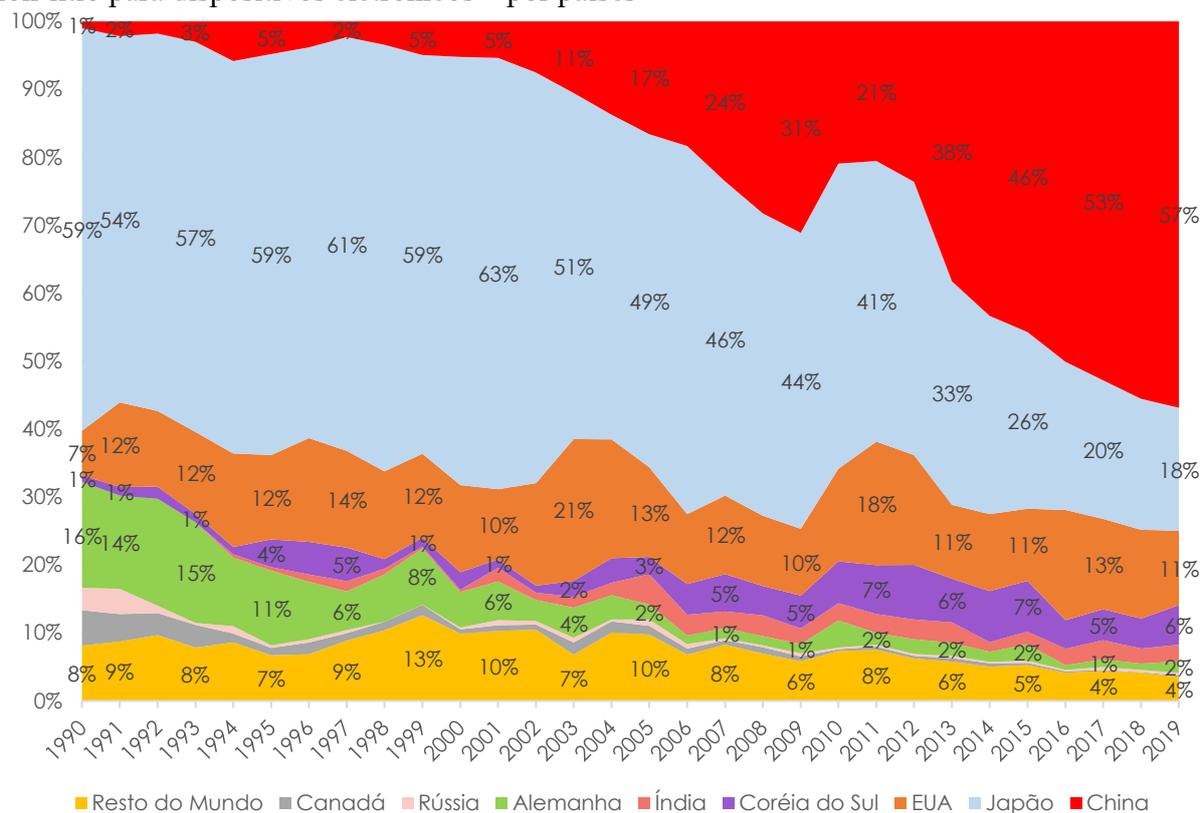
enquanto 10,4% vieram do setor Automotivo e 5,8% de Máquinas, Equipamentos e Produtos Químicos (DERWENT, 2021).

Na década de 2000 a quantidade de documentos total chega a 15.228, um crescimento de 286,4% em relação a década anterior. Os documentos japoneses mais uma vez lideram, com 50,7% de participação, seguidos por China (18,9%), EUA (12,3%) e Coreia do Sul (3,7%). Entre as marcas, o destaque é para a empresa Foxconn, com sede em Taiwan, considerada hoje o maior fabricante de computadores e componentes eletrônico do mundo, atendendo marcas gigantes do setor de TIC, como Apple, Sony, Nintendo, Microsoft, Motorola, Dell, HP etc., (BMI, 2022). Entre os setores, TIC representou 77,4% de participação, seguida pelo Automotivo com 16,2% e Máquinas, Equipamentos e Produtos Químicos com 5,7% (DERWENT, 2021).

Já na década de 2010 o volume total de patentes LIB-ED documentadas chega a 45.140 – crescimento de 296,4% ante a década de 2000. Já a partir do ano de 2005 nota-se um crescimento acentuado nos documentos chineses, que passam a liderar o ranking entre os países na quantidade total dos anos 2010, com 44,8% de participação, seguidos pelo Japão, EUA e Coreia do Sul, com 26,4%, 13,3% e 6,0%, respectivamente. Apenas no ano de 2019 a China foram documentados na China 3.139 patentes LIB-ED. Entre as marcas do setor de TIC, destaque para a sul coreana LG Chem, que passa a figurar entre as top 5, com 882 documentos, além de algumas chinesas como BBK, SEL, Huawei, Xiaomi, Lenovo e ZTE. Destaque também para a participação da estatal chinesa de energia elétrica, State Grid of China, com 306 documentos no período. Em relação aos setores, a marcas relacionadas a TIC corresponderam por 68,1% no período, seguida pelo Automotivo com 22,5% e Energia com 2,1% (DERWENT, 2021).

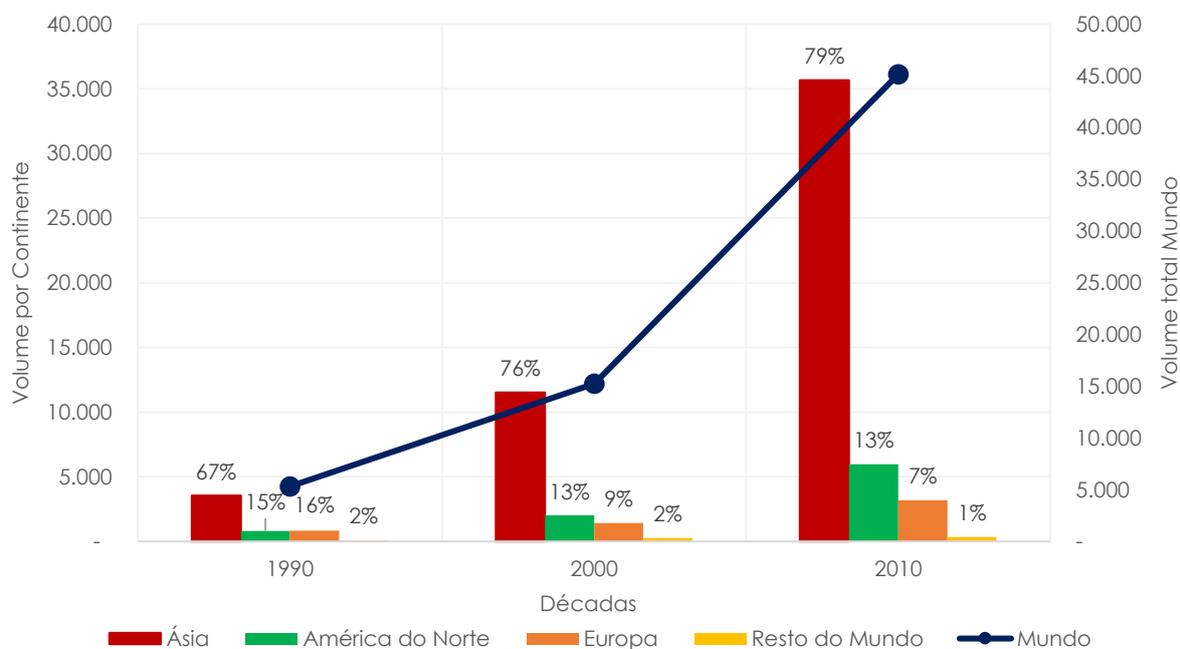
A compilação dos dados de patentes LIB-ED podem ser visualizados nos Gráficos X e Y, com distribuição temporal da participação entre os países e, com o volume de registro e participação entre os continentes, respectivamente.

Gráfico 23 – Participação no volume de documentos de patentes relacionados às baterias de íon-lítio para dispositivos eletrônicos – por países



Fonte: DERWENT, 2021

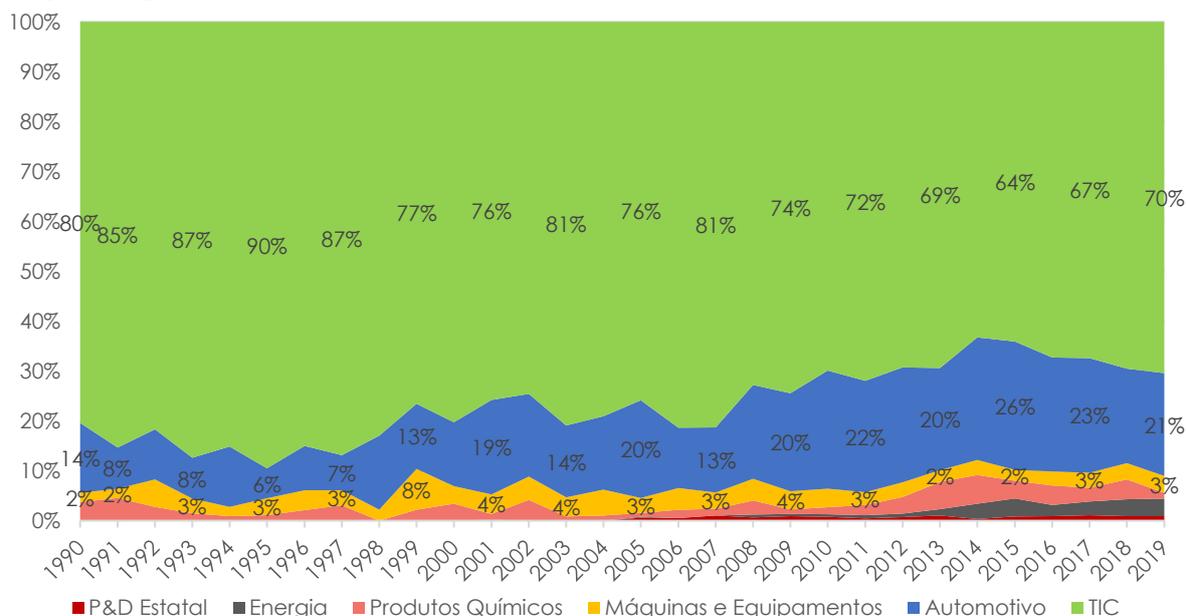
Gráfico 24 – Volume de documentos de patentes relacionados às LIB-ED – por continente



Fonte: DERWENT, 2021

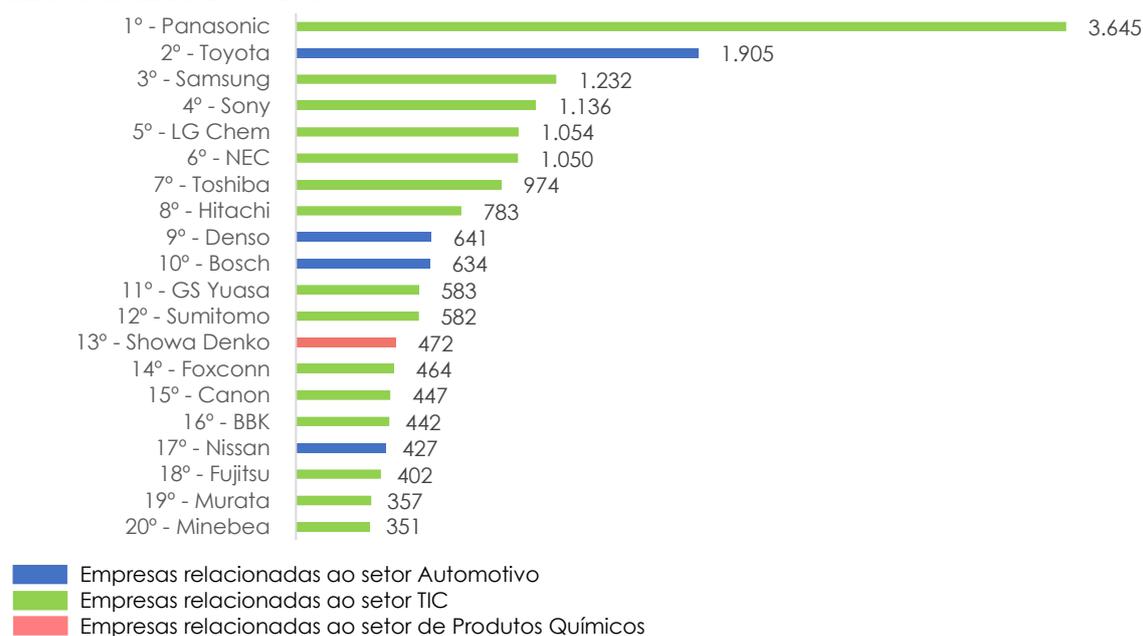
No Gráfico 25 e 26 temos, respectivamente, a análise setorial dos 50 maiores depositantes, assim como o ranking das 20 maiores marcas que documentaram patentes LIB-ED entre 1990 e 2019. Como era de se esperar, nota-se um domínio do setor de TIC, mas com uma presença importante do setor Automotivo. Entre as top 20 marcas, apenas quatro estão relacionadas a Indústria Automotiva.

Gráfico 25 – Participação setorial dos top 50 que mais documentaram patentes de baterias iônicas para dispositivos eletrônicos



Fonte: DERWENT, 2021

Gráfico 26 – Top 20 fabricantes que mais documentaram patentes relacionadas à LIB-ED – volume total entre 1990-2019



Fonte: DERWENT, 2021

3.5 – O MERCADO DE BATERIAS DE ÍON-LÍTIO

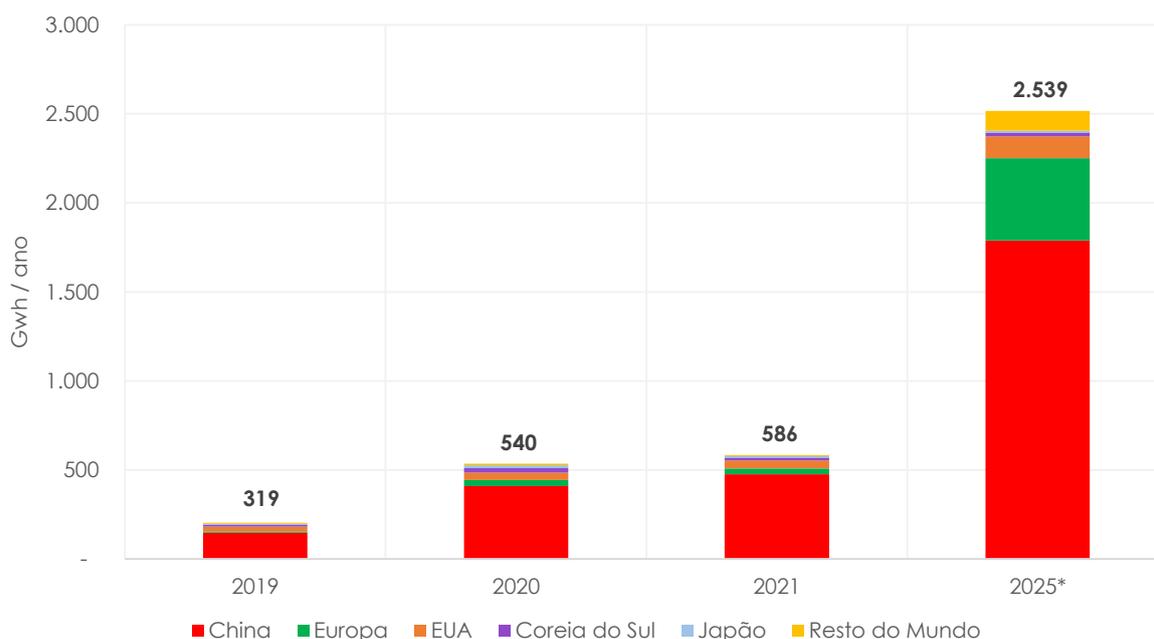
Esta seção busca fazer uma breve análise do mercado global de LIBs. No primeira tópico faz-se uma leitura dos dados relacionados à distribuição geográfica da produção, bem como do *market share* e dos recentes de investimentos e parcerias entre as marcas. O segundo tópico traz o ranking das marcas líderes em *market share* de celulares e laptops.

3.5.1 – Mercado de baterias de íon-lítio para veículos elétricos

Em 2020 a produção de baterias de íon-lítio EV foi de 160 Gigawatts-hora/ano, que representou um aumento de 36,8% em relação a 2019 (117 GWh/ano), o suficiente para carregar 3,3 milhões de BEVs, (MCKINSEY, 2020). No que se refere a capacidade de produção, atualmente o mercado de LIB-EV está fortemente concentrado no nordeste da Ásia, com cerca de 85% de participação global, distribuídos entre: China (76%), Coreia do Sul (5%) e Japão (4%) (SNE, 2021).

A partir de dados da BNEF (2021), é possível observar no Gráfico 27 a evolução da capacidade de produção de baterias de íons de lítio para EVs, de acordo com a localização das fábricas. Em 2021 a capacidade total chegou a 586 GWh/ano, que representou um aumento de 83,7% em relação a 2019. Para 2025, as estimativas são de que a capacidade global mais do que quadruplicará, para 2.539 GWh/ano. Importante destacar o crescimento de 368,9% da capacidade produtiva da Europa, entre 2019-2021. A maior parte das novas instalações está sendo direcionadas ao países europeus, com companhias visando atender à crescente demanda da região (MCKINSEY, 2020). Atualmente as principais fábricas de baterias EV da Europa estão localizadas na Polônia e Hungria (IEA, 2021). A estimativa é que a participação de capacidade europeia deverá crescer de apenas 6% em 2021 para cerca de 18% em 2025 (BNEF, 2021).

Gráfico 27 – Capacidade de produção de LIB-EV por localização das fábricas



Fonte: BloombergNEF (2021)

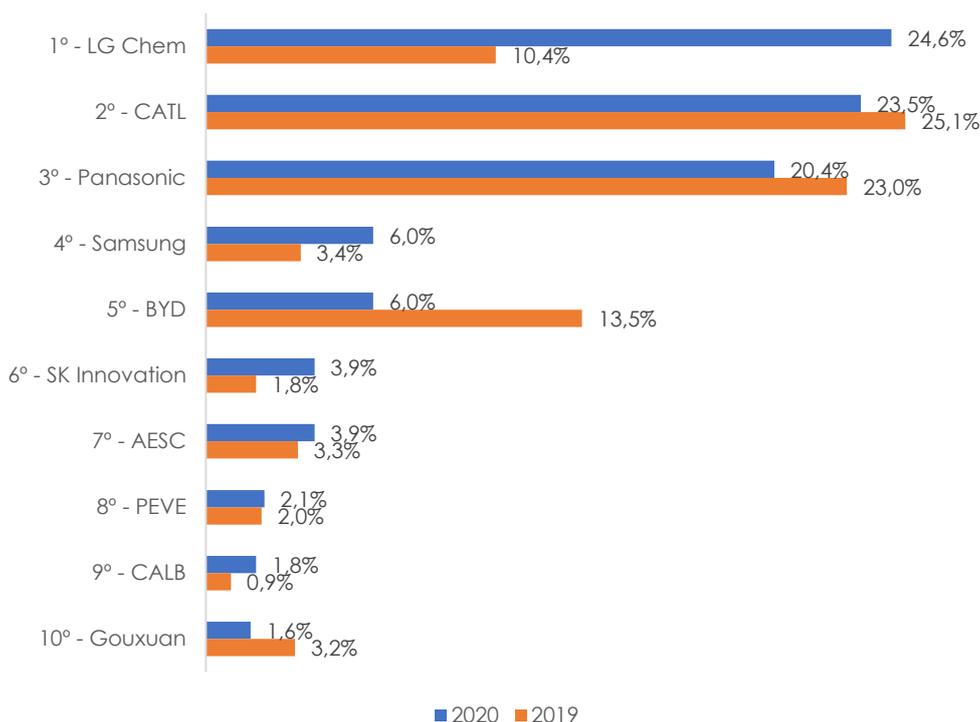
*Dados estimados

Entre as marcas, segundo dados da SNE 2021, a coreana LG Chem assumiu a liderança na participação de mercado de baterias EV em 2020, com 24,6% ante 10,4% registrados em 2019. No Gráfico 27 é possível ainda observar a chinesa CATL em segundo lugar, com 23,5% de participação, seguida pela japonesa Panasonic, com 20,4% (SNE, 2021). Importante destacar que o mercado de baterias para veículos elétricos é dominado por empresas oriundas do setor de produtos eletrônicos, onde juntos representam 51,0% do total (LG Chem, Panasonic e Samsung). As fabricantes BYD, SK Innovation, CALB e Gouxan tem sua origem relacionadas ao setor de energia, sendo que a BYD passou a produzir ônibus elétrico a partir de 2008. Já as marcas AESC¹⁵ e PEVE¹⁶ representam joint ventures entre empresas do setor Automotivo com TIC.

¹⁵ Joint venture entre Nissan e NEC Corporation

¹⁶ Joint venture entre Toyota e Panasonic

Gráfico 28 – Participação global do mercado de baterias para veículos elétricos por produtores



FONTE: SNE (2021)

Os novos anúncios das companhias sugerem que o mercado global se expandirá para uma capacidade de 1.000 gigawatts/hora até 2025. O Quadro 3 nos mostra um resumo da estrutura, bem como dos recentes anúncios feitos pelas seis maiores fabricantes de baterias EV do mundo. A CATL fortaleceu sua expansão global recentemente, com a construção de nova fábrica na Alemanha e novos contratos internacionais. As companhias sul coreanas avançam cada vez mais com investimentos em novas plantas produtivas além-mar. Como é o caso da SK Innovation que investirá USD 5.6 bilhões para ampliação de sua fábrica em Atlanta e da LG com investimento de USD 2.3 bilhões em *joint venture* com a GM, também nos EUA (MCKINSEY, 2020).

Quadro 3 – Estrutura e anúncios dos seis maiores fabricantes de baterias EV

Fabricante	País Origem	Localização das Fábricas	Clientes	Anúncios
CATL	China	China	BMW, Daimler, Honda, Tesla, Toyota, Volkswagen, Volvo	Nova fábrica em construção na Alemanha Prospecção de planta nos EUA
Panasonic	Japão	Japão e China Fábrica da Tesla em Nevada (EUA)	Tesla, Honda e Ford	USD 1.6 bilhões na fábrica da Tesla em Nevada Planos de joint venture com Toyota
BYD	China	China	Veículos próprios BYD	Prospecção fábrica na Europa
LG Chem	Coréia do Sul	Coréia do Sul, Michigan (EUA) e Polónia	Ford, GM, Renault, Hyundai, Tesla, Volkswagen, Volvo	USD 2.6 bilhões em joint venture com a GM nos EUA USD 2.8 bilhões em fábrica próxima a Tesla em Shanghai
Samsung SDI	Coréia do Sul	Coréia do Sul, China e Hungria	BWW, Volvo e Volkswagen	USD 1.3 bilhões para expansão da fábrica na Hungria .
SK Innovation	Coréia do Sul	Atlanta (EUA), China, Hungria	Volkswagen, Daimler, Kia, Jaguar, Land Rover e Ferrari	USD 5.6 bilhões para ampliação da fábrica em Atlanta (EUA) USD 1.7 bilhões para construção fábrica na Geórgia (próxima a Volkswagen)

Fonte: EVCombo, 2020.

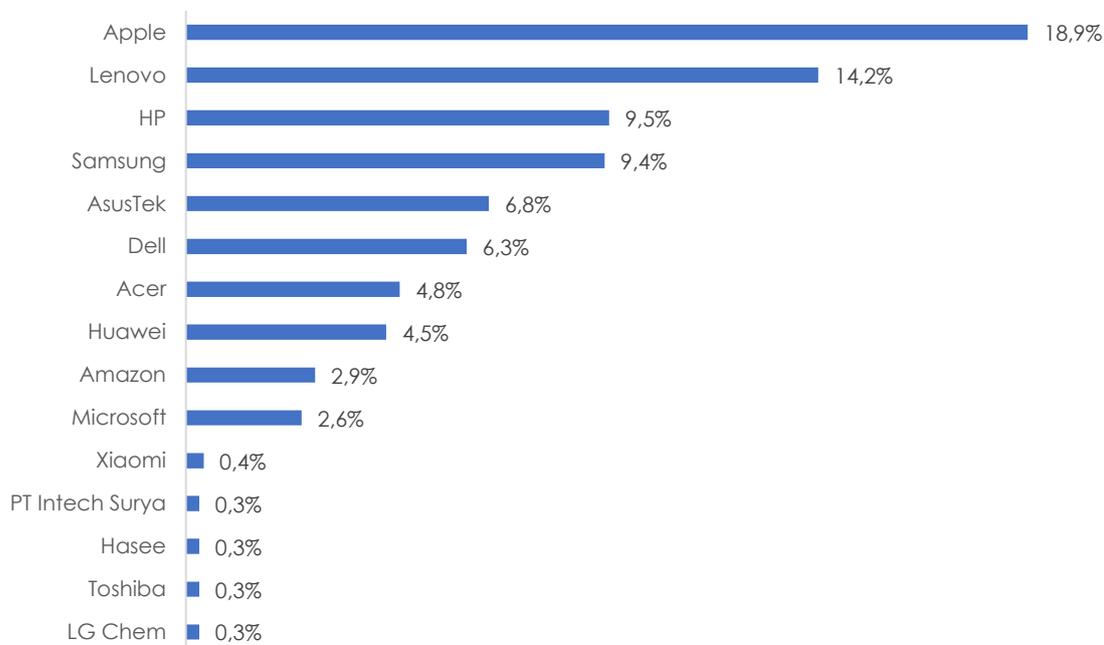
No geral, as *joint ventures* estão se tornando um modelo de colaboração popular na indústria de baterias, com um crescente número de parcerias anunciadas em 2019. Esta tendência reflete principalmente o fato de que as *joint ventures* permitem que fabricantes de automóveis sustentem capacidade suficiente para alcançar suas metas ambiciosas de vendas e produção. Em 2020 foi anunciado a *joint venture* entre a japonesa Toyota e a chinesa BYD, para P&D de EVs e baterias. A nova empresa, BYD Toyota EV Technology, funcionará na China (CARRO ELÉTRICO, 2020). Outro anúncio foi da *joint venture* entre Volkswagen e Bosch para produção de célula de bateria na Europa. As empresas buscam liderança em custo e tecnologia na industrialização de baterias (AUTOMOTIVE BUSINESS, 2022). A fabricante Stellantis também anunciou em 2021 duas *joint ventures* com as coreanas LG Chem e Samsung. As duas parcerias visam a produção de baterias na América do Norte, mas ainda sem indicação de localização das plantas (ELECTRIVE.COM, 2021). Algumas montadoras também preferem estratégias de *multisourcing* envolvendo uma série de fabricantes de celulares. É o caso da Tesla, que dependia exclusivamente de células da Panasonic, e assinou em 2019 novos contratos com a CATL e LG Chem para o mercado chinês (MCKINSEY, 2020).

3.5.2 – Mercado de baterias de íon-lítio para dispositivos eletrônicos

No que se refere aos dispositivos eletrônicos, os Gráficos 29 e 30 nos mostram a distribuição de participação de mercado entre os fabricantes, para os principais produtos que utilizam baterias de íon-lítio: computadores portáteis e celulares, respectivamente. Em ambos

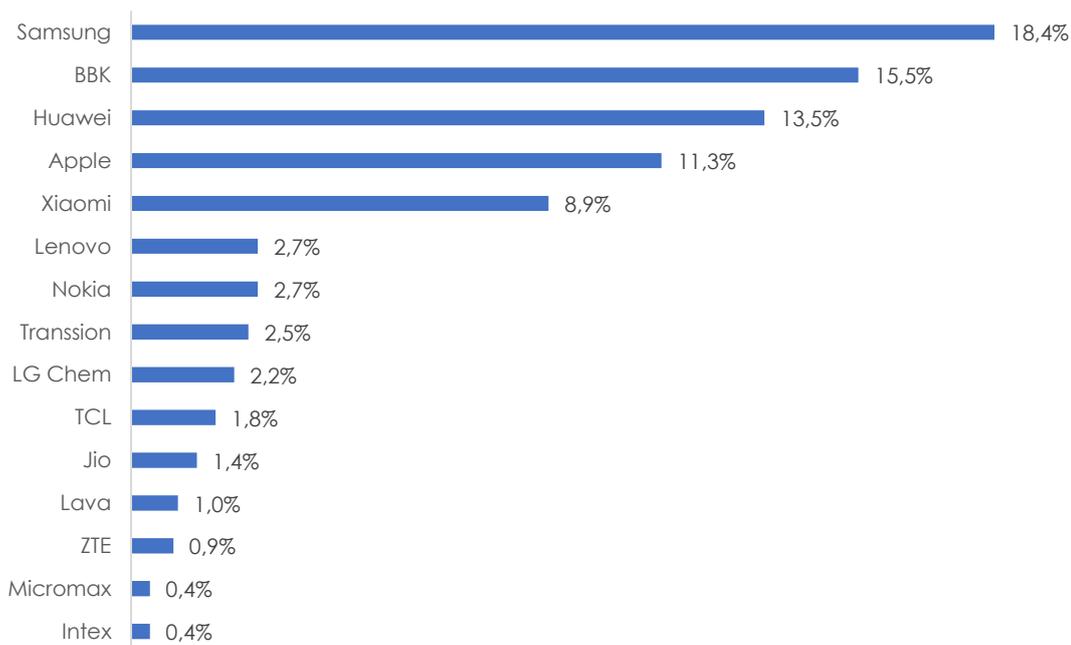
os produtos é possível verificar entre os 15 maiores *market shares* fabricantes também listados entre os 50 maiores depositantes de patentes para LIB-ED, tais como: Lenovo, Samsung, Huawei, Xiami, Toshiba, LG Chem e ZTE.

Gráfico 29 – Participação de mercado de computadores portáteis – top 15 maiores fabricantes em 2020



Fonte: EUROMONITOR, 2021

Gráfico 30 – Participação de mercado de telefones celulares – top 15 maiores fabricantes em 2020



Fonte: EUROMONITOR, 2021

3.6 – O *LOCK-IN* TECNOLÓGICO DAS BATERIAS DE ÍON-LÍTIO: DO *CARBON LOCK-IN* AO LÍTIO *LOCK-IN*?

Conforme já abordado, as baterias de íon de lítio têm sido a principal escolha para soluções de armazenamento de energia móvel, devido ao seu longo ciclo de vida útil e alta densidade de energia e potência, em comparação com os outros sistemas de baterias (ETACHERI et al, 2011). Utilizada inicialmente em dispositivos eletrônicos, seu uso expandiu-se para o setor Automotivo, bem como o de armazenamento de energia de fontes renováveis, como energia solar e eólica. Pode-se dizer que a comercialização em massa de veículos elétricos dependerá do sucesso em P&D relacionadas a uma nova geração de LIBs, com melhorias nos indicadores de desempenho (densidade de energia e custo) que atendam às qualificações necessárias para que os EVs sejam aceitos pelos consumidores (HU et al, 2016). Além disso, espera-se que as LIBs possam contribuir significativamente para a sustentabilidade energética e reduções substanciais nas emissões de GEE. Embora ainda pouco explorado, as LIBs poderiam apoiar a integração de energia fotovoltaica e energia eólica no mix de energia ou fornecer acesso confiável à eletricidade em áreas rurais com a construção de energia elétrica fora da rede de sistemas, como as *smart grids* (ZUBI et al, 2018).

Dada a utilidade potencial dos dados de patentes como uma medida proxy para determinar o estoque de conhecimento de uma empresa, o estoque de conhecimento tecnológico (TKS – *Technological Knowledge Stock*) pode ser definido como um cluster de áreas de conhecimento que explica as bases de conhecimento centrais de um setor de tecnologia (AALDERING et al, 2019). Como o conhecimento existente é usado para forjar portfólios de novos produtos e serviços, o acumulado estoque de conhecimento torna-se combustível para a geração de novos conhecimentos, e a evolução tecnológica pode ser concebida como um processo de recombinação de pesquisas em vários campos tecnológicos (FLEMING & SORENSON, 2001). Segundo Aaldering et al (2019), especialmente no que diz respeito ao desenho de futuras estratégias sustentáveis, a análise da TKS e a previsão do seu potencial de desenvolvimento podem ajudar aos tomadores de decisão a escolha entre financiar o desenvolvimento de tecnologia específica ou aumentar/diminuir a diversidade no pool tecnológico.

Em estudo publicado pelo *Journal of Cleaner Production*, Aaldering et al (2019), analisaram uma base de dados de patentes relacionadas a baterias de íon-lítio, com vistas a obter uma visão inclusiva sobre o caminho contínuo do desenvolvimento tecnológico inserido nas pesquisas, bem como prever seu potencial de desenvolvimento futuro. Para tanto, o estudo

utilizou dois algoritmos de aprendizado de máquinas: análise de componentes principais (PCA¹⁷) e classificador *random forest* (RFC¹⁸). O PCA oferece uma visão mais condensada sobre a composição dos estoques de conhecimento dentro dos dados de patentes, enquanto o RFC permite a previsão de potenciais desenvolvimentos evolutivos para cada componente de conhecimento identificado.

Os códigos IPC¹⁹ de cada registro de patentes representam uma tecnologia especializada a um área de conhecimento. Ao aplicar a técnica PCA e considerar os códigos IPC com maior correlação para cada componente principal, os componentes principais podem ser traduzidos em estoques de conhecimento tecnológico. Assim, um TKS é composto por um conjunto particular de áreas de conhecimento tecnológico relacionadas, pelo qual cada TKS responde por uma direção de conhecimento diferente. No estudo foi observado que o número de TKS no campo da tecnologia de baterias de íon de lítio ampliou mais com o tempo, o que implica que a amplitude do conhecimento se expandiu ao longo tempo (AALDERING et al, 2019).

O estudo ainda revelou um padrão relacionado a eletrodos e outros componentes principais de células de bateria, como sendo o foco principal da atividade inventiva, que foi consistentemente ao longo do tempo e levou à formação de estoques de conhecimento relacionados. Observou-se que, entre 2010 e 2017, o processo de conhecimento tornou-se mais interdisciplinar. Diferentes setores interagem uns com os outros para compartilhar um conhecimento de base comum. A crescente aplicabilidade das LIBs junto aos EVs está sendo demonstrada pela presença de TKS convergente, que ganhou mais importância na última década com o desenvolvimento de baterias por setores ligados ao setor de eletrônicos em conjunto com fabricantes de automóveis (AALDERING et al, 2019).

Foi também identificado no estudo de Aaldering et al (2019), que pesquisas relacionadas ao sistema de gerenciamento de bateria (BMS) são bastante presentes nos dados de patentes LIBs. O BMS oferece vários benefícios – por meio do desenvolvimento de algoritmos mais precisos para monitorar o *status* das baterias – pois pode garantir ciclo de vida otimizado da bateria, desempenho e confiabilidade, bem como custos de manutenção reduzidos e riscos de segurança (RAHIMI-EICHI et al, 2013). A necessidade de um BMS inteligente é vital no estabelecimento da mobilidade elétrica, uma vez que o progresso na química e materiais por si só não podem garantir uma integração suave de LIBs (AALDERING et al, 2019).

¹⁷ PCA é um processamento de dados clássico e redução de dimensionalidade técnica para extrair características importantes de um espaço de dados (ZOU et al, 2006).

¹⁸ *Random Forest Classifier* é um aprendizado de máquina supervisionado e utiliza técnica de reconhecimento de padrões que se baseia na combinação de múltiplas árvores de decisão (BREIMAN, 2001)

¹⁹ *International Patent Classification*

Por fim, os resultados do estudo sugerem que os LIBs são a tecnologia de referência e que continuarão a dominar o mercado de armazenamento de energia, uma vez que se beneficia da crescente penetração e capacidades de recombinação de conhecimento para automóveis e aplicação estacionária de armazenamento de energia (AALDERING et al, 2019).

Quase dois séculos após a invenção da máquina a vapor, os energéticos de origem fóssil como petróleo, carvão e gás natural, ainda predominam na matriz energética global. Apenas o petróleo e o carvão somados são responsáveis por 60% da energia gerada, sendo os grandes emissores de GEE (FGV ENERGIA, 2021). O aumento da demanda por transportes individuais exigiu maior uso de petróleo, que foi acompanhado pelo aumento das emissões de CO₂. Como já vimos, esse fenômeno de aprisionamento no padrão emissor de CO₂ é chamado na literatura evolucionista de “*carbon lock-in*” (UNRUH, 2000) e é resultado de um processo de mudança tecnológica *path dependent* (DOSI, 1982; ARTHUR, 1989) em tecnologias intensivas em carbono e nocivas ao meio ambiente. Segundo Mathews (2013), o *carbon lock-in* é uma característica central do paradigma tecnoeconômico do Petróleo, Motor a Combustão e Produção em Massa, estendendo-se ao paradigma das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC).

Ao longo do século XX a ampla dependência em torno do petróleo desencadeou uma série de importantes eventos, com significativos impactos na geopolítica, economia e sociedade. Desde a virada dos séculos XIX e XX os países europeus – sobretudo Inglaterra e França – buscavam áreas para obtenção de matéria-prima, devido a necessidade de abastecimento de seus centros urbanos-industriais que avançavam em ritmo acelerado. O Oriente Médio, mais especificadamente o Golfo Pérsico, torna-se uma região de intensas disputas e influências dos dois países. Aprofundam-se disputas territoriais e rivalidades étnico-culturais na região, dando origem a novas linhas fronteiriças conforme as necessidades de se obter as jazidas de petróleo cresciam, alterando assim a política dos países locais, de modo a manter o controle das novas colônias (BRAGA, 2013).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, os Estados Unidos tomam a frente no que tange a influência nos governos locais e nas tomadas de decisões no Oriente Médio, incluindo a entrada de empresas estadunidenses do ramo petroquímico nas nações desta região. Outro fato importante já visto neste trabalho, é a criação da OPEP em 1960, que traz consigo uma nova configuração geopolítica. Os países membros passam a determinar os preços do barril do petróleo, influenciando, assim, diretamente na economia nacional de cada país que necessitava do óleo – EUA e países da Europa Ocidental (SOUZA et al, 2014). O acelerado processo de industrialização visto a partir da Revolução da Informação na década de 1970 – sobretudo os

asiáticos Japão, Coreia do Sul e China – impulsiona a produção mundial de petróleo, que cresce 120,1% entre 1973 e 2020. A Tabela 3 nos mostra as 15 maiores reservas de petróleo entre os países e os 15 maiores produtores do óleo no mundo. Apesar de ter apenas 2,8% das reservas globais, os EUA lideram a produção, respondendo por 19,4% de participação. Por outro lado, a Venezuela, que detém 18,2% de toda a reserva global, foi responsável em 2020 por apenas 0,6% da produção de petróleo no mundo. Com novos atores no tabuleiro geopolítico, as forças pelo controle das reservas de petróleo no Oriente Médio e também em outras localidades – como na África – aumentam.

Tabela 3 – Reservas e produção de Petróleo em 2020 – top 15 maiores países

Reservas			Produção		
Países	Bilhões de barris	Part. (%)	Países	Milhares de barris por dia	Part. (%)
Venezuela	302,8	18,2%	EUA	19.471,2	19,4%
Arábia Saudita	267,0	16,1%	Rússia	11.473,7	11,4%
Canadá	169,9	10,2%	Arábia Saudita	11.466,7	11,4%
Irã	155,6	9,4%	Canadá	5.477,6	5,5%
Iraque	145,0	8,7%	China	4.862,9	4,8%
Kuwait	101,5	6,1%	Iraque	4.801,5	4,8%
Emirados Árabes Unidos	97,8	5,9%	Emirados Árabes Unidos	4.130,0	4,1%
Rússia	80,0	4,8%	Brasil	3.659,5	3,6%
Líbia	48,4	2,9%	Irã	3.320,6	3,3%
EUA	47,1	2,8%	Kuwait	3.017,2	3,0%
Nigéria	37,0	2,2%	Nigéria	2.019,7	2,0%
Cazaquistão	30,0	1,8%	Cazaquistão	1.965,9	2,0%
China	26,2	1,6%	México	1.916,3	1,9%
Qatar	25,2	1,5%	Qatar	1.898,5	1,9%
Brasil	13,4	0,8%	Noruega	1.742,8	1,7%
Resto do mundo	115	6,9%	Resto do mundo	19.183	19,1%
Mundo	1.662		Mundo	100.407	

Fonte: EIA (2021)

As consequências desta teia de acontecimentos interrelacionados são uma série de conflitos e guerras entre povos e nações, que acabam determinando o curso da segunda metade do século XX. Entre os mais emblemáticos estão o golpe de estado no Irã, em 1953, organizado por EUA e Reino Unido, que tem como causa a nacionalização pelo então governo iraniano da petrolífera APOC (*Anglo-Persian Oil Company*) – atual BP (*British Petroleum*) – de propriedade britânica (THE GUARDIAN, 2003). Em 1973 ocorre a guerra árabe-israelense, quando Egito e Síria atacam Israel, sendo o estopim para a Crise do Petróleo no mesmo ano. Em 1991 a 1ª guerra do Golfo tem origem após a invasão do Kuwait pelo Iraque. A intervenção liderada pelos EUA foi motivada, em grande parte, pela necessidade de assegurar o petróleo do Kuwait e também impedir que Saddam Hussein expandisse seu controle sobre a matéria-prima. Já em

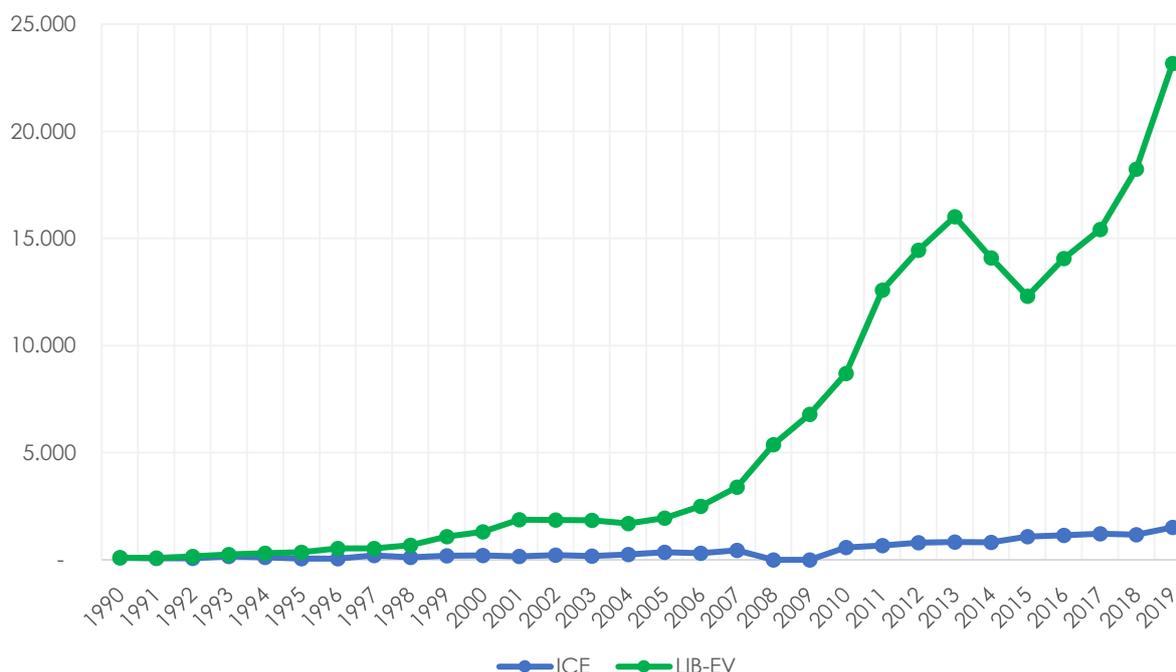
2003, os EUA invadem o Iraque alegando que Saddam detinha armas de destruição em massa, no entanto, segundo a revista britânica *The Economist*, a abertura das enormes reservas de petróleo do país ao capital estrangeiro também teria motivado a ofensiva estadunidense (BBC, 2015). O petróleo também é uma das peças centrais no atual conflito envolvendo o grupo autodenominado "Estado Islâmico" na Síria, que se estende desde 2011. O "Estado Islâmico" controla a maioria das regiões produtoras de petróleo na Síria e também capturou campos de petróleo em Mossul (norte do Iraque) na medida em que foi expandindo seus domínios (BBC, 2015).

Em meio a este cenário de múltiplos interesses, que envolvem as principais potências econômicas e militares, além de conglomerados privados constituídos por petroleiras, indústrias manufatureiras e bancos, o termo *carbon lock-in* assume significado ainda mais amplo. Muito além de ser um obstáculo para a transição energética, o *carbon lock-in* retroalimenta um conjunto de fatores que passam por corrida armamentista e indústria da guerra, soberania, democracia e liberdade das nações.

O novo modelo que se apresenta no setor Automotivo tem na eficiência energética, a partir da dependência do petróleo e da agenda ambiental a sua força motriz. A busca por tecnologias menos poluentes é parte das principais tendências disruptivas da eletromobilidade. É neste ambiente que as baterias de íon-lítio surgem como uma nova tecnologia, onde uma nova trajetória está sendo constituída de modo a transformá-la na tecnologia dominante do setor Automotivo para as próximas décadas. O rompimento com o *carbon lock-in* jamais esteve tão próximo da economia industrial e um novo paradigma se apresenta. Um novo paradigma tecnológico das baterias de íon-lítio e um novo paradigma tecnoeconômico da Eletromobilidade, das Baterias de íon-lítio, dos Metais leves e da Sustentabilidade.

Além das evidências que apontam esta transição do ICE para a eletromobilidade, vistos neste trabalho a partir dos anúncios de descontinuidade do motor a combustão por parte da Indústria Automotiva, corroborado pelo avanço de políticas públicas, é possível também observar este movimento através dos dados patentes. No Gráfico 31 vemos que o crescimento do volume de documentos LIB-EV é superior ao crescimento das patentes ICE, no período entre 1990 e 2019. Enquanto os documentos de patentes ICE tiveram variação média anual de 9,8%, os documentos de LIB-EV expandiram em média 20,7% nos 30 anos analisados. Isto nos mostra que o movimento crescente em pesquisas direcionadas a inovação das baterias de íon-lítio é mais que o dobro da taxa de expansão do processo inovativo do motor a combustão.

Gráfico 31 – Crescimento do volume de registro de patentes relacionadas ao motor a combustão e as baterias de íon lítio para veículos elétricos – índice de base fixa: 1990=100



Fonte: DERWENT INNOVATION (2021)

As baterias de íon-lítio são constituídas por quatro partes internas principais: cátodo, ânodo, eletrólito e separador. Segundo Samsung (2016), o cátodo determina a capacidade e voltagem de uma LIB, é a parte positiva que recebe elétrons; o ânodo envia elétrons através de um fio, é parte negativa; o eletrólito permite o movimento de íons apenas e o separador é a barreira absoluta entre cátodo e ânodo. Entre os minerais que compõe uma LIB, a parte do ânodo é composto basicamente por grafite. O cátodo combina diferentes elementos que varia de acordo com o fabricante, tais como: níquel, cobalto, alumínio, manganês e cobre. Já o eletrólito é a própria camada de íons de lítio, enquanto o separador é composto por resinas sintética como polietileno e polipropileno (SAMSUNG, 2016). Segundo Statista (2021), no ano de 2020, uma bateria de íon de lítio para EV continha em média cerca de 28,9 kg de níquel, 7,7 kg de cobalto e 5,9 kg de lítio. Como exemplos, a bateria utilizada no modelo S da Tesla é composta em seu cátodo por 80% de níquel, 15% cobalto e 5% alumínio. Já o cátodo da bateria usada no Iphone da Apple tem 100% de cobalto e do Tesla Powerwall²⁰ possui cobalto, níquel e manganês em partes iguais (SMALL CAPS, 2017).

Segundo dados do *Minneral Commodity Summaries 2021*, publicado pela USGS, os mercados globais de uso final do lítio são estimados da seguinte forma: baterias, 71%; cerâmica

²⁰ É um sistema de armazenamento com baterias recarregáveis de íons de lítio fabricadas pela Tesla para uso doméstico. Armazena eletricidade para consumo doméstico, para transferência de carga e como reserva de energia.

e vidro, 14%; graxas lubrificantes, 4% e outros usos 10%. Cinco operações minerais na Austrália, duas operações de salmoura na Argentina e no Chile, e duas operações de salmoura e uma mineral na China foram responsáveis pela maior parte da produção mundial de lítio – total de 10 operações. Ainda segundo o documento, devido à superprodução e à diminuição de preços, várias operações de lítio estabelecidas adiaram os planos de expansão de capacidade. A segurança do fornecimento de lítio tornou-se uma prioridade para empresas de tecnologia nos Estados Unidos e na Ásia. Alianças estratégicas e *joint ventures* entre empresas de tecnologia e empresas de exploração continuam a ser estabelecidas para garantir um fornecimento confiável e diversificado de lítio para fornecedores de baterias e fabricantes de veículos (USGS, 2021).

A Tabela 4 nos traz o mercado global de lítio, com a distribuição de suas reservas e da produção entre os países. Em 2019 foram produzidos cerca de 86,1 mil toneladas métricas de lítio, cujo maior produtor foi a Austrália com 52,3% de participação total, seguido pelo Chile, com cerca de 22,4%. Estima-se que existam no mundo cerca de 86 milhões de toneladas de lítio disponíveis na natureza. Os dados mais recentes indicam que a Bolívia detém em torno de 24,4% do total de lítio no planeta, seguida pela Argentina e Chile, com 22,4% e 11,2%, respectivamente. Quase 60% de toda a reserva global de lítio estão na América do Sul (USGS, 2021).

Tabela 4 – Reservas e produção de Lítio no mundo (toneladas métricas) – países selecionados

Países	Reservas	Part. (%) Reservas	Produção 2019	Part. (%) Produção
Bolívia	21.000.000	24,4%	-	0,0%
Argentina	19.300.000	22,4%	6.300	7,3%
Chile	9.600.000	11,2%	19.300	22,4%
EUA	7.900.000	9,2%	ND*	ND*
Austrália	6.400.000	7,4%	45.000	52,3%
China	5.100.000	5,9%	10.800	12,5%
Congo	3.000.000	3,5%	-	0,0%
Canadá	2.900.000	3,4%	200	0,2%
Alemanha	2.700.000	3,1%	-	0,0%
México	1.700.000	2,0%	-	0,0%
Peru	880.000	1,0%	-	0,0%
Zimbábue	500.000	0,6%	1.200	1,4%
Brasil	470.000	0,5%	2.400	2,8%
Portugal	270.000	0,3%	900	1,0%
Resto do mundo	4.280.000	5,0%	-	0,0%
Mundo	86.000.000		86.100	

Fonte: USGS (2021)

* Dados não disponibilizados pela única operação dos EUA, em Nevada.

Nas tabelas 5 e 6 vemos ainda o mercado global de outros dois importantes minerais usados como matéria-prima para fabricação de LIBs, o Níquel e o Cobalto. A produção mundial de Níquel é liderada pela Indonésia, que responde por 32,7% de participação, seguida por Filipinas (12,4%) e Rússia (10,7%). A Indonésia detém 22,3% do toda a reserva global de Níquel. Já em relação ao Cobalto, o Congo possui 50,7% de toda a reserva mundial, tendo também a maior produção do mineral, com cerca de 100 mil toneladas métricas produzidas em 2019.

Tabela 5 – Reservas e produção de Níquel no mundo (toneladas métricas) – países selecionados

Países	Reservas	Part. (%) Reservas	Produção 2019	Part. (%) Produção
Indonésia	21.000.000	22,3%	853.000	32,7%
Austrália	20.000.000	21,3%	159.000	6,1%
Brasil	16.000.000	17,0%	60.600	2,3%
Rússia	6.900.000	7,3%	279.000	10,7%
Cuba	5.500.000	5,9%	49.200	1,9%
Filipinas	4.800.000	5,1%	323.000	12,4%
Canadá	2.800.000	3,0%	181.000	6,9%
China	2.800.000	3,0%	120.000	4,6%
EUA	100.000	0,1%	13.500	0,5%
Rep. Dominicana	ND*	ND*	56.900	2,2%
Nova Caledônia	ND*	ND*	208.000	8,0%
Resto do mundo	14.100.000	15,0%	306.800	11,8%
Mundo	94.000.000		2.610.000	

Fonte: USGS (2021)

* Dados não disponibilizados

Tabela 6 – Reservas e produção de Cobalto no mundo (toneladas métricas) – países selecionados

Países	Reservas	Part. (%) Reservas	Produção 2019	Part. (%) Produção
Congo	3.600.000	50,7%	100.000	69,4%
Austrália	1.400.000	19,7%	5.740	4,0%
Cuba	500.000	7,0%	3.800	2,6%
Filipinas	260.000	3,7%	5.100	3,5%
Rússia	250.000	3,5%	6.300	4,4%
Canadá	220.000	3,1%	3.340	2,3%
Madagascar	100.000	1,4%	3.400	2,4%
China	80.000	1,1%	2.500	1,7%
EUA	53.000	0,7%	500	0,3%
Papua Nova Guiné	51.000	0,7%	2.910	2,0%
África do Sul	40.000	0,6%	2.100	1,5%
Marrocos	14.000	0,2%	2.300	1,6%
Resto do mundo	532.000	7,5%	6.010	4,2%
Mundo	7.100.000		144.000	

Fonte: USGS (2021)

* Dados não disponibilizados

O rompimento com o *carbon lock-in* que está se desenhando, deve levar a uma nova configuração geopolítica, com uma eventual redistribuição de forças políticas e econômicas no tabuleiro global. Assim como o petróleo trouxe relevância estratégica a países com grandes reservas – sobretudo no Oriente Médio e Venezuela – os minerais leves podem ser uma janela de oportunidade para o melhor posicionamento de seus detentores no mercado global energético. Em relação ao lítio, Bolívia e Argentina se destacam, e devem direcionar investimentos para o aumento de suas produções, que somadas hoje respondem por apenas 7,3% de participação, enquanto as suas reservas juntas chegam a 46,9% do total mundial. O níquel já vem sendo bastante explorado na Indonésia, e pode ser um oportunidade para o Brasil com 17% de reservas e apenas 2,3% de produção.

Por outro lado, a exploração dos minerais leves pode ser a fonte de sérios problemas às nações envolvidas, como é o caso do Congo. O cobalto está listado nos chamados “minerais de conflito”, juntamente ao ouro e coltan²¹. De acordo com o Parlamento Europeu (2010), os lucros obtidos pela extração ilegal dos minerais de conflito no Congo são utilizados no financiamento dos conflitos locais, sinónimos de violações de direitos humanos, coerção e trabalho infantil. De alguma forma o século XXI deve presenciar um novo panorama de forças hegemônicas, com novas guerras em torno de uma nova matriz energética. A transição para um modelo de baixo carbono deve levar a um novo *lock-in* tecnológico das baterias de íon lítio com forte dependência dos minerais leves, direcionando as economias industriais um “*lítio lock-in*”.

²¹ O coltan é um minério de alta resistência térmica, eletromagnética e à corrosão, sendo, por isso, muito utilizado na fabricação de pequenos condensadores presentes na maioria dos dispositivos eletrônicos, além de estações espaciais e armas mais sofisticadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como questão de fundo compreender a dinâmica da Indústria Automotiva em seu movimento de constantes transformações ao longo dos últimos 120 anos de história analisados. A pesquisa buscou observar as diferentes fases do setor, desde o embate entre o veículo elétrico e o motor a combustão interna, passando pela transição do fordismo ao toyotismo e da produção verticalizada às cadeias globais de valor, até o atual estágio da eletromobilidade, sustentabilidade e *smart cars* no século XXI. O que se viu foi que, mecanismos institucionais, políticos e produtivos em evolução, na presença de retornos crescentes, levaram, segundo Freeman & Perez (1988), à consolidação do paradigma tecnoeconômico do Petróleo como matéria-prima principal, do Motor a Combustão como tecnologia dominante e do sistema fordista de Produção em Massa como processo dominante até meados do século XX. A disseminação da produção enxuta e flexível toyotista emerge em meio a um contexto de Crises do Petróleo e de maior relevância da Agenda Ambiental, somadas a irrupção de uma nova revolução tecnológica. Observou-se um processo de rejuvenescimento da Indústria Automotiva com a ascensão das marcas japonesas, marcadas pelo início da globalização e impulsionadas pelas novas tecnologias da informação e da comunicação.

Ao analisar os documentos de patentes relacionados, é possível observar dois pontos centrais. O primeiro é que o volume dos documentos entre os países converge aos respectivos movimentos de desenvolvimento econômico. Fica evidente que os investimentos em P&D que, por sua vez, se traduzem em documentos de patentes, estão diretamente ligados a inovações tecnológicas e a grandeza econômica das nações. Basicamente, as grandes economias globais tem grandes volumes de documentos de patentes. No caso das patentes ICE, os países da Europa são dominantes no período pré-guerras, em seguida os EUA até meados final dos anos 1960, posteriormente o Japão até os anos 2000 e, finalmente, a China já na década de 2010. O outro ponto central dos dados de patentes é que há uma clara convergência entre as grandes marcas patenteadoras e as marcas líderes de *market share*. Assim como os países com grandes volumes de patentes são também os maiores fabricantes. Isto é válido tanto para as patentes ICE, como para as LIB-EV. Em ambos os pontos centrais da análise é possível relacionar os resultados à teoria evolucionista. O desenvolvimento do sistema capitalista é inerente a inovação tecnológica, pois o lucro é resultado de uma inovação bem-sucedida implementada na economia (SCHUMPETER, 1984). O processo inovativo nunca é um processo aleatório, mas segue determinados padrões diante de uma trajetória tecnológica (DOSI, 1988).

A pesquisa nos mostrou que a dependência do petróleo, com seus desdobramentos em termos econômicos e de soberania das nações envolvidas, tem forte impacto nos direcionamentos para a transição energética. Por outro lado, a pauta ambiental ganha peso, dando o apelo institucional e de certa forma ético para o retorno do veículo elétrico. Por fim, aquilo que dá sustentação técnica e torna o EV viável, é a revolução da microeletrônica junto ao processo de difusão tecnológica das TICs. O que se percebe é que há um conjunto de fatores interligados que direcionam a Indústria Automotiva ao fim do motor a combustão, numa nova trajetória rumo a eletromobilidade. As Crises do Petróleo impulsionam a Agenda Ambiental que, embasadas pelos dados de mudanças climáticas oriundos em grande parte das emissões de CO₂, desembocam em acordos a nível global – como o Acordo de Paris de 2015. Estes acordos desencadeiam uma série de políticas públicas voltadas para a descarbonização, que tem nos veículos a combustão interna o grande vilão. O setor privado acompanha este movimento, como pode ser observado nos anúncios de descontinuidade do ICE e de metas de produção de EVs.

Em paralelo, os dados de documentos de patentes relacionados a bateria de íon-lítio nos apontam o crescente direcionamento em inovação, para aquilo que é considerado o ponto nevrálgico do veículo elétrico. Ao analisar os documentos, identificou-se que há uma ampla participação de fabricantes ligados ao setor de TICs, demonstrando um movimento de retroalimentação entre a microeletrônica fina e o setor Automotivo. Isto também confirma o fato de a tecnologia empregada nas baterias para EVs serem as mesmas dos dispositivos eletrônicos, observados também na análise de *market share*. Fica evidente que há um crescente compartilhamento de conhecimento de maneira intersetorial, diante da capacidade que as LIBs tem de recombinar este conhecimento em diferentes fins. Neste ponto os *spillovers* tecnológicos são confirmados, pelo método de análise de dados patentes.

Viu-se ainda nos dados de patentes LIB, uma participação robusta de documentos nos países asiáticos – sobretudo Japão, China e Coreia do Sul – o que converge para a maior participação destes países na produção de LIB-EV. Da mesma forma, o *market share* vem ao encontro dos documentos de patentes, onde grandes empresas patenteadoras são vistas entre os principais líderes globais. Por fim, ao comparar o volume de patentes relacionados ao ICE e a LIB-EV, identificou-se que entre 1990-2019 o crescimento da quantidade documentada de LIB-EV foi mais que o dobro do crescimento do ICE. Isto confirma o movimento de transição do ICE para o EV, visto no direcionamento em pesquisa e inovação via documentos de patentes.

Este conjunto de informações, registros e dados que vão desde as prioridades em termos de políticas públicas voltadas, sobretudo, para a compra de EVs via subsídio direto, passando pelos anúncios de investimentos dos principais fabricantes, até a análise de dados de patentes e

produção entre os países, bem como de *market share* entre as marcas, nos traz importantes conclusões, que confirmam a hipótese inicial desta pesquisa. A eletromobilidade é um fato incontestável e já é uma realidade. Sendo as baterias o calcanhar de Aquiles dos EVs, é o avanço tecnológico que tem início ainda na década de 1970 na 2ª RI – pela microeletrônica fina – que dá condições ao processo inovativo nas baterias de íon-lítio, inicialmente pensadas apenas para uso em dispositivos eletrônicos. São os *spillovers* tecnológico lançados das TICs à Indústria Automotiva que permitem o retorno dos EVs e colocam a eletromobilidade diante de uma realidade sem volta.

Ao longo do século XX, o sistema capitalista tem na Indústria Automotiva um setor chave para o desenvolvimento econômico. Todo o encadeamento produtivo do setor, que envolve inovação e complexidade tecnológica gerou empregos qualificados, renda e riqueza entre as principais economias. Ao redor do mundo o carro foi um objeto de *status*, tanto para quem os produz como para quem os usufrui. Entretanto, apesar de trazer uma série de benefícios, a Indústria Automotiva – assim como toda a Indústria – carrega uma gama de externalidades negativas, entre elas a sistemática degradação do meio ambiente. Ao vencer o embate contra o EV – no início do século XX – o ICE passa a ser a tecnologia dominante, levando ao *lock-in* tecnológico do motor a combustão. Este aprisionamento, no entanto, vai além dos entraves para a inserção de novas tecnologias, estando ainda pautado na dependência do petróleo e de suas significativas emissões de GEE, sobretudo o CO₂, presente no escapamento dos veículos ICE. É neste contexto que a Indústria Automotiva do século XX protagonizou o *carbon lock-in*, discutidos amplamente ao longo deste trabalho.

Ao identificar a eletromobilidade como um fato irreversível – ao menos para os próximos 50 anos – o rompimento com o *carbon lock-in* também se apresenta como uma realidade bem próxima. É neste sentido que, apenas o entendimento da forte dependência estratégica em torno do petróleo e da busca por alternativas menos poluentes via Agenda Ambiental é que nos leva a “libertação” do carbono. Assim como o *carbon lock-in* foi gerado pelo petróleo e pelo seu sistema poluidor, o rompimento com o *carbon lock-in* só é possível por uma nova via energética e menos poluente. Surge então a bateria de íon-lítio que, devido a sua alta capacidade de armazenamento e recarga, se coloca como a nova tecnologia dominante.

Ao identificar o crescimento no volume de documentos de patentes LIB-EV, somadas a crescente capacidade de produção, aos anúncios de investimentos, construção de novas fábricas, e parcerias em P&D, um novo aprisionamento se desenha, o das baterias de íon-lítio. No entanto, este novo *lock-in* das LIBs, desta vez, transcende a Indústria Automotiva e se posiciona em outros setores, sobretudo nas TICs. A presença de marcas de dispositivos eletrônicos nos

documentos de patentes LIB-EV, assim como de fabricantes emblemáticos da Indústria Automotiva nas patentes LIB-ED, nos apontam para uma nova configuração de mercado. Chega-se a mesma conclusão ao observar alianças e *joint ventures* para a fabricação e pesquisa de LIB-EV, entre importantes marcas de veículos e de eletrônicos. Isto nos leva a confirmação da segunda hipótese desta dissertação, a de que a eletromobilidade direciona para o rompimento com o *carbon lock-in* e que se desenha uma nova estrutura de mercado com a convergência dos setores de TIC e Automotivo, desencadeando um novo paradigma com o *lock-in* tecnológico da bateria de íon-lítio.

Por fim, a pesquisa sobre as fontes de matéria-prima utilizadas para a fabricação das LIBs nos levou a uma projeção no mercado de fatores de produção. As maiores reservas dos minerais leves: lítio, níquel e cobalto, estão localizadas, grosso modo, em países fora do eixo das grandes economias mundiais. Este novo paradigma tecnológico da bateria de íon-lítio pode nos levar a uma nova configuração geopolítica em torno dos minerais leves, conduzindo a economia industrial contemporânea a um eventual “lítio *lock-in*”. Assim como o *carbon lock-in* esteve associado aos detentores de grandes reservas de petróleo, trazendo grande relevância a países com baixo desenvolvimento econômico, como Venezuela, Arábia Saudita, Irã, Iraque, Kuwait, Emirados Árabes, Líbia, Nigéria etc., o lítio *lock-in* deve colocar em destaque países como Bolívia, Argentina, Chile, Indonésia, Austrália e Congo. Da mesma forma que o *carbon lock-in* trouxe uma série de conflitos e instabilidade política, o “lítio *lock-in*” pode também servir de combustível para instabilidades ao redor do mundo.

Todo esse movimento disruptivo da eletromobilidade, onde se identifica um processo de “destruição” do ICE e “criação” do EV, tem na inovação um papel crucial. É a inovação tecnológica nas baterias que proporciona a reinserção do veículo elétrico, após um século de *lock-in* do motor a combustão. Um novo paradigma tecnológico das LIBs se desenha. Vê-se a difusão de um novo modelo de *best practices*, onde a sustentabilidade é o novo “senso comum”, abrindo oportunidades para novos produtos, novos serviços e novos mercados, com novos investimentos lucrativos. Esta nova onda de expansão tecnológica se configura como uma forma mais moderna, mais eficiente e menos agressiva ao meio ambiente. Projeta-se um novo paradigma tecnoeconômico, o da Eletromobilidade, das Baterias de íon-lítio, do Metais leves e da Sustentabilidade, em meio a uma nova estrutura de mercado que promete unir o setor de TICs e a Indústria Automotiva.

REFERÊNCIAS

ABERNATHY, W.; CLARK, K.. **Innovation: Mapping the winds of creative destruction**. Elsevier Science Publishers B.B. (North Holland). 1985

ABERNATHY, W.; UTTERBACK, J.. Patterns of industrial innovation. **Technology Review** 80, 39, 1978.

AEI (American Enterprise Institute). 2019. Disponível em: <<https://www.aei.org/carpe-diem/animated-chart-of-the-day-market-shares-of-us-auto-sales-1961-to-2016/>>. Acesso em: 24/10/2021

AHUJA, G., KATILA, R.. **Technological acquisitions and the innovation performance of acquiring firms: a longitudinal study**. *Strat. Manag. J.* 22, 197e220. <https://doi.org/10.1002/smj.157>. 2001

ALBERT, S. **Modern gas and oil engines**. 2007. Disponível em: <<https://archive.org/details/moderngasoilengi00spierich>>. Acesso em: 19/10/2021
 AYERS, R.. Evolutionary economics and environmental imperatives. **Structural Change and Economic Dynamics** 2 (2), 255}275, 1991.

ALBUQUERQUE, E. **Revoluções tecnológicas e general purpose technologies: mudança técnica, dinâmica e transformações do capitalismo**. Economia da ciência, tecnologia e inovação. Fundamentos teóricos e a economia global. Coleção População e Economia. Belo Horizonte, Cedeplar, 2020

ALVES, M. **Indústria 4.0: o lastro da transformação digital da indústria automobilística nos contextos global e brasileiro** – Salvador, 2018.168 f.; il. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Economia. Orientador: Prof^o Dr^o Uallace Moreira Lima.

ANTONELLI, C., KRAFFT, J., QUATRARO, F., **Recombinant knowledge and growth: the case of ICTs**. *Struct. Change Econ. Dynam.* 21, 50e69. <https://doi.org/10.1016/J.STRUECO.2009.12.001>. 2010

AOKI, Masahiko (1990). **La estructura de la economía japonesa**. México : Fondo de Cultura Económica (Publicação original de 1988 com textos selecionados e revistos pelo autor para a edição em espanhol).

AREND, M. **Revoluções tecnológicas, finanças internacionais e estratégias de desenvolvimento: um approach neo-schumpeteriano**. *Ensaio FEE, Porto Alegre*, v. 33, n. 2, p. 363-396, nov. 2012.

ARTHUR, W. B. **Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events**. *The economic journal*, JSTOR, v. 99, n. 394, p. 116–131, 1989.

ARTHUR, W. B. **Positive feedbacks in the economy**. *Scientific american*, JSTOR, v. 262, n. 2, p. 92–99, 1990.

ASCHE, G. **80% of technical information found only in patents” Is there proof of this [1]?** World Patent Inf. 48, 16e28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wpi.2016.11.004>. 2017

BARAN, R. & LEGEY, L., **Veículos elétricos: história e perspectiva no Brasil**, BNDES Setorial 33,p.207-224, 2008.

BEAUD, M. **História do capitalismo: de 1500 aos nosso dias**. São Paulo: Brasiliense, 1987

BEDSWORTH, L. & TAYLOR, M. **Learninf. California Zero-Emission Vehicle Program**. Public Policy Institute of Califórnia. California Economic Policy, 2007.

BELLIS, M. **A History of the Automobile: The Evolution of the Car Dates All the Way Back to the 1600s**. 2019. Disponível em: <<https://www.thoughtco.com/who-invented-the-car-4059932#internal-combustion-engine-the-heart-of-the-automobile>>. Acesso em: 19/10/2021

BELLI, M. **Motores a combustão interna, uma breve história**. 2013. Disponível em: <<http://www.autoentusiastasclassic.com.br/2013/03/motores-combustao-interna-uma-breve.html>>. Acesso em: 19/10/2021

BESSANT, J., TRIFILOVA, A., **Developing absorptive capacity for recombinant innovation**. Bus. Process Manag. J. 23, 1094e1107. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-10-2016-0215>. 2017

BYD (2020), **BYD's New Blade Battery Set to Redefine EV Safety Standards**. Disponível em: www.byd.com/en/news/2020-03-30/BYD%27s-New-Blade-Battery-Set-to-Redefine-EV-Safety-Standards

CATL (Contemporary Amperex Technology Co. Limited). **CATL to Drive New Wave of e-Mobility with Next-Generation Electric Vehicle Battery Technology**. 2019. Disponível em: www.prnewswire.com/news-releases/catl-to-drive-new-wave-of-e-mobility-with-nextgeneration-electric-vehicle-battery-technology-300915309.html. Acesso em: 18/07/2021

CAVALCANTE, Z.; SILVA, M.. **A importância da Revolução Industrial no mundo da Tecnologia**. In: **Encontro internacional de produção científica**, 7. 2011. Maringá. Anais eletrônico. Maringá. 2011. Disponível em:<https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

CARVALHO, F. **Investimento direto estrangeiro e transbordamentos tecnológicos: conceito e fatores determinantes** / Flávia Pereira de Carvalho.-- Campinas,SP.: [s.n.], 2005.

CARVALHO, Pedro N., **Valoração das externalidades negativas do ciclo de vida do etanol - o caso da queima da palha da cana-de-açúcar**. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, 2011

CEPA (Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada). **História do Petróleo**. 1999. Disponível em: <<http://cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1A/indice.html>>. Acesso em: 09/10/2021

CHANDLER, A. **Scale and Scope: the dynamics of industrial capitalism**. Cambridge, MA; London : The Belknap. 1990

CHANDLER, A. **The visible hand: the american revolution In american business**. 13.ed. Cambridge, MA; London : The Belknap. (Edição de 1977). 1995

CHEN, E. **Transnational Corporations and the transfer of technology to developing countries**, UNLTC, vol. 18, Routledge, 1994.

CMMAD (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento). **Nosso futuro comum**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

COMIN, D., HOBIJN, B. and RAVITO E.. **Five Facts you need to know about technology diffusion**, NBER Working Paper, 11928, January, Cambridge, Mass. 2006

CONCEIÇÃO, O. **Dimensão institucional do processo de crescimento econômico: inovações e mudanças institucionais, rotinas e tecnologia social**. Economia e Sociedade, Campinas, v. 17, n. 1, jan./abr. 2008.

COSTA, A. **Reestruturação produtiva e padrão de organização industrial**. Porto Alegre : UFRGS/Curso de Pós-Graduação em Economia. (Texto para Discussão .95/06). 1995

COSTA, A. **Inovações e mudanças na organização industrial**. Ensaio FEE, Porto Alegre, v21, n2, p7-31. 2000.

COUTINHO, L. **A terceira revolução industrial e tecnológica**. As grandes tendências das mudanças. UNICAMP, Economia e Sociedade, v.1 n.1: ago.1992

CUSUMANO, Michael A. **Manufacturing innovation: lessons from the japanese auto industry**. Sloan Management Review, p.29-39, Fali. 1988

DAY, Lance, **Biographical dictionary of the history of technology**, Routledge, 1966.

DATHEIN, R. **Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX**. Publicações DECON Textos Didáticos 02/2003. DECON/UFRGS, Porto Alegre, Fevereiro 2003

DOSI, G. **Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change**. Research policy, Elsevier, v. 11, n. 3, p. 147–162, 1982.

DOSI, G. **Sources, procedures, and microeconomic effects of innovation**. Journal of economic literature, JSTOR, p. 1120–1171, 1988.

DOSI, G.; NELSON, R.. **The evolution of technologies: an assessment of the state-of-the-art**. Eurasian Business Review, Springer, v. 3, n. 1, p. 3–46, 2013.

ENCICLOPÉDIA DO AUTOMÓVEL. Vol.3. São Paulo: Abril Cultural. 1974

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

ENGELS, A. **Understanding how China is championing climate change mitigation**. Palgrave Communications, v. 4, n. 101, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41599-018-0150-4>.

EVCombo **The Largest Electric Vehicle (EV) Battery Manufacturers In The World**. 2020. Disponível em: <https://evcombo.com/the-largest-electric-vehicle-ev-battery-manufacturers-in-the-world/>. Acesso em 14/04/2021.

EUROMONITOR Passport, Company Shares | Global - Historical Owner | Historical | % breakdown, 2021. Disponível em: <https://www.portal.euromonitor.com/portal>.

ERNST, H. **Patent information for strategic technology management**. World Patent Inf. 25, 233e242. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0172-2190\(03\)00077-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0172-2190(03)00077-2). 2003

FGV ENERGIA, (2021). Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica>. Acesso em: 29/03/21.

FOLADORI, Guillermo. **Los límites del desarrollo sustentable**. Montevideo: Ediciones de La Banda Oriental, 1999.

FORD, Henry (1926). **Minha vida e minha obra**. Rio de Janeiro; São Paulo : Companhia Editora Nacional. (Edição de 1922).

FREEMAN, C. **The national system of innovation in historical perspective**. Cambridge Journal of Economics, v. 19, 1995.

FREEMAN, C.; PEREZ, C. **Structural crises of adjustment: business cycles**. In: DOSI, G.; FREEMAN, C.; NELSON, R.; SILVERBERG, G.; SOETE, L. (Ed.). Technical change and economic theory. London: Pinter, 1988. p. 38–66.

FRENKEN, K., IZQUIERDO, L.R., ZEPPINI, P., **Branching innovation, recombinant innovation, and endogenous technological transitions**. Environ. Innov. Soc. Transitions 4, 25e35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eist.2012.06.001>. 2012

GAO, Paul et al.(2016). **Automotive revolution: perspective towards 2030: how the convergence of disruptive technology-driven trends could transform the auto industry**. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/industries/high%20tech/our%20insights/disruptive%20trends%20that%20will%20transform%20the%20auto%20industry/auto%202030%20report%20jan%202016.ashx>.

GALVÊAS, E. **A crise do petróleo**. Associação Promotora de Estudos de Economia (APEC), Rio de Janeiro: 1985.

GCA, Global Carbon Atlas, 2021. Disponível em: <http://www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions>

GEELER, H., et. Al. **Twenty years after the embargo**. US oil import dependence and how it can be reduced. *Energy Policy*. 1994 22 (6) 471-485.

GINO, G.; Estevão, E., Pegurer, M.; **Difusão de inovações: apreciação crítica dos estudos de Rogers**. *Revista FAMECOS: mídia, cultura e tecnologia*, núm. 33, agosto, 2007, pp. 41-45 Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul Porto Alegre, Brasil. 2007

GRILICHES, Z. **Issues in Assessing the Contribution of R&D to Productivity Growth**. *Bell Journal of Economics*, 10, p.92-116, set., 1979.

HALL, B. **Innovation and Diffusion**. In: Fagerberg, J.; Mowery, D.; Nelson, R. (Ed.) *The Oxford Handbook of Innovation*. New York: Oxford University Press, 2006.

HOYER, K.G, **The History of Alternative Fuels in Transportation: The Case of electric and Hybrid Cars**. *Utilities Policy*, 2010.

HOBBSAWM, Eric J. **Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo**. Rio de Janeiro: Forense-Universitária, 1983.

HOBBSAWM, Eric J. **A Era do Capital: 1848-1875**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.

IEA, International Energy Agency. *Global EV Outlook*. 2019

IEA, International Energy Agency. *Global EV Outlook*. 2020.

IEA, International Energy Agency. *Global EV Outlook*. 2021.

IEL (Instituto Euvaldo Lodi). **Projeto Indústria 2027. Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas**. Estudo de sistema produtivo automotivo. Brasília, IEL/NC, 2018.

JAFFE, A., **Economic analysis of research spillovers – implications for the Advanced Technology Program**, December 1996.

JAFFE, A.B., TRAJTENBERG, M. e HENDERSON, R. **Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations**. *Quarterly Journal of Economics*, 108, p.577 -598, 1993.

KATZ, E. **Theorizing Diffusion: Tarde And Sorokin Revisited**. *The Annals Of The American Academy Of Political And Social Science*, V. 566, N. 1, P. 144-155. 1999

KELLER, W. **International Technology Diffusion**. *Journal of Economic Literature*, XLII, 752-782. 2004

KPMG. *Era da indústria 4.0*. In: *Desafios das olimpíadas*. São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/pdf/2016/04/br-kpmg-businessmagazine-37.pdf>>. Acesso em: 03/01/2022.

LALL, S. & TEUBAL, M., “**Market-stimulating**” technology policies in developing countries: a framework with examples from East Asia, *World Development*, vol 26, N. 8. 1998.

LANDES, David S. (1969). **Progreso Tecnológico y Revolución Industrial**. Madrid: Editorial Tecnos, 1979.

LANGLOIS, R.; ROBERTSON, P. **Stop crying over spilt knowledge: a critical look at the theory of spillovers and technical change**. University of Connecticut Working Paper 1996-96, 1996.

LANJOUW, J. O.; MODY, A. **Innovation and the international diffusion of environmentally responsive technology**. *Research Policy*, v. 25, p. 549-571, 1996.

LAPLANE, M.; GONÇALVES, J. E.; ARAÚJO, R. **Efeitos de transbordamento de empresas estrangeiras na indústria brasileira (1997-2000)**. Unicamp, 2004.

LEE, Y., Fujiki, S., Jung, C. et al. **High-energy long-cycling all-solid-state lithium metal batteries enabled by silver–carbon composite anodes**. 2020. *Nat Energy* 5, 299–308. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-0575-z>

LE PRESTRE, Philippe. **Ecopolítica internacional**. São Paulo: Ed. Senac, 2000.

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

MARX, K. **O Capital: crítica da economia política**. São Paulo : Abril Cultural. (Edição original de 1867). 1983

MARX, K.; ENGELS, F. **O manifesto comunista**. São Paulo: Boitempo, 1998

MONTENEGRO, R.; CARVALHO, F.. **EcoInovação e sustentabilidade: o papel das políticas públicas. Em: Economia da ciencia, tecnologia e inovacao**. Fundamentos teóricos e a economia global. Coleção População e Economia. Belo Horizonte, Cedeplar, 2020.

SAVIOTTI, P. P.; METCALFE, S. **Present developments and trends in evolutionary economics**. In: SAVIOTTI, P. P.; METCALFE, S. (eds.). *Evolutionary theories of economic change: present status and future prospects*. Philadelphia: Harwood, 1991.

MARTINS, J. & BRITTO, F.. **Carros Elétricos**. *Publindustria*, 2011.

NASA, (2021). National Aeronautics and Space Administration. Disponível em: <https://climate.nasa.gov/>. Acesso em: 19/05/2021

MCKINSEY & Company. **Electric Vehicle Index: Europe cushions a global plunge in EV sales**, 2020.

NAÇÕES UNIDAS. Adoção do Acordo de Paris. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2016/04/Acordo-de-Paris.pdf>.

NELSON, R. **The role of firms in technical advance: a perspective from evolutionary theory**. In: DOSI, G.; GIANNETTI, R.; TONINELLI, P.A. *Technology and enterprise in a historical perspective*. Oxford: Clarendon, 1992.

NELSON, R.; SAMPAT, B. **Las instituciones como factor que regula el desempeño económico**. *Revista de Economía Institucional*, Bogotá, v. 3, n. 5, 2. sem., 2001.

NELSON, R. e WINTER, S. **An Evolutionary Theory of Economic Change**. Cambridge: Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

NESTER, W. **American Industrial Policy**. St. Martin's Press, New York, 1997.

NORTH, D. **Institutions, institutional change and economic performance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

OHNO, Taiichi (1997). **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre : Bookman. (Edição norte-americana de 1988 e primeira edição japonesa de 1978).

OICA (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers). 2021. Disponível em: <<https://www.oica.net/category/sales-statistics/>>. Acesso em: 24/10/2021

OLMOS, M. e ROSA, J. **O carro do futuro: 'smartcar' é a extensão de onde moramos, trabalhamos e nos divertimos**. Disponível em: <<https://valor.globo.com/eu-e/noticia/2021/10/22/o-carro-do-futuro-smartcar-e-a-extensao-de-onde-moramos-trabalhamos-e-nos-divertimos.ghtml>> 2021. Acesso em: 06/11/2021.

PARK, H., YOON, J. **Assessing coreness and intermediarity of technology sectors using patent co-classification analysis: the case of Korean national R&D**. *Scientometrics* 98, 853e890. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1109-2>. 2014

PEREZ, Carlota. **Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto**. In: OMINAMI, Carlos, org. *La tercera revolución industrial: impactos internacionales dei actual viraje tecnológico*. Buenos Aires : Grupo Editor Latinoamericano.1985

PEREZ, C. **Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries**. *World development*, v. 13, n. 3, p. 441–463, 1985.

PEREZ, C. **Technological change and opportunities for development as a moving target**. *CEPAL Review*, v. 75, p. 109–130, 2001.

PEREZ, C. **Technological revolutions and financial capital: the dynamics of bubbles and golden ages**. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2002.

PEREZ, C. **Revoluciones tecnológicas y capital financiero: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza**. México: Siglo XXI, 2004.

PEREZ, C. **Technological revolutions and techno-economic paradigms**. *Cambridge journal of economics*, Oxford University Press, v. 34, n. 1, p. 185–202, 2010.

REUTERS. **Tesla in talks to use CATL's cobalt-free batteries.** 2020. Em: China-made cars, www.reuters.com/article/us-tesla-china-electric-exclusive/exclusive-tesla-in-talks-touse-catsl-cobalt-free-batteries-in-china-made-cars-sources-idUSKBN20C0RP

ROSA, E.A.; MACHLIS, G.E.; e KEATING, K.M. **Energy and Society.** Ann. Rev. Sociol. 1988. 14:149-72.

ROSOLEM, M.; BECK, R.; SANTOS, G.; ARIOLI, V. **Bateria de lítio-íon: conceitos básicos e potencialidades.** CPqD Tecnologia, Campinas, v.8, n.2, p.59-72, jul/dez, 2012.

ROSENBERG, N. **Factors Affecting The Diffusion Of Technology.** Explanation In Economic History. 1972

ROCHA, J. **Política internacional para o meio ambiente: avanços e entraves pós conferênciade Estocolmo.** Rev. Cent. Ciênc. Admin., Fortaleza, v. 9, n. 2, p. 229-240, dez. 2003.

ROGERS, E. **Diffusion of innovations.** 4. ed. Nova York: The Free Press, 1995.

ROGERS, Everett M. **Diffusion of innovations.** 5ed. Nova York: Free Press, 2003.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. **As revoluções industriais até a indústria 4.0.** Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. DOI: 10.31510/infa.v15i2.386. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 15 maio. 2021.

SALONER, G.; SHEPARD, A. **Adoption of Technologies With Network Effects: An Empirical Examination of the Adoption of Automated Teller Machines,** *Rand Journal of Economics*, 26 (3),479-501. 1995

SAYER, Aew, WALKER, Richard (1992). **The new social economy; reworking the division of labor.** Cambridge, MA: Oxford. Blackwell.

SCHULLER, A. & ABOUKRAT, M. **The Role of e-scooters and Light Electric Vehicles in Decarbonizing Cities,** 2019.

SCHUMPETER, J. **Capitalismo, socialismo e democracia.** Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1984

SCHUMPETER, J. **Business cycles: a theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process.** Philadelphia: Porcupine, 1989

SCHUMPETER, J. **A teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juros e o ciclo econômico.** Coleção Os Economistas. São Paulo. Abril Cultural, 1982

SETO, K. C.; DAVIS, S.; MITCHELL, R.; STOKES, E.; UNRUH, G.; ÜRGE-VORSATZ, D. **Carbon lock-in: types, causes, and policy implications.** *Annual Review of Environment and Resources*, Annual Reviews, v. 41, p. 425–452, 2016.

- SILVA, E.; VILLASCHI, A. **Schumpeter, os neo-schumpeterianos e as instituições: conceito e atuação numa economia dinâmica e globalizada**. Em: Economia da ciência, tecnologia e inovação. Fundamentos teóricos e a economia global. Coleção População e Economia. Belo Horizonte, Cedeplar, 2020.
- SILVERBERG, G. **Adoption And Diffusion Of Technology As A Collective Evolutionary Process**. Technological Forecasting And Social Change. 1991
- SILVERBERG, G.; DOSI, G.; ORSENIGO, L. **Innovation, Diversity And Diffusion: A Self-Organisation Model**. The Economic Journal, P. 1032-1054. 1988
- SONG, C.H., ELVERS, D., LEKER, J. **Anticipation of converging technology areas a refined approach for the identification of attractive fields of innovation**. Technol. Forecast. Soc. Change 116, 98-115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.11.001>. 2017
- SOUZA, M.; GONZALEZ, C.; NAVA, P.; BERMAN, C.; MERCEDES, C. **Distribuição desigual da apropriação de energia: petróleo e dependência na década de 1970**. Congresso brasileiro de planejamento energético. 2014.
- STEPHAN, A., SCHMIDT, T., BENING, C., HOFFMANN, V. **The sectoral configuration of technological innovation systems: Patterns of knowledge development and diffusion in the lithium-ion battery technology in Japan**. Elsevier 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.respol.2017.01.009>
- STERN, N. **Why are we waiting?: the logic, urgency, and promise of tackling climate change**. Cambridge: MIT Press, 2015.
- STONEMAN, P. **The Economics Of Technological Diffusion**. Oxford: Wiley-Blackwell. 2001
- STONEMAN, P.; BATTISTI, G. **Intra-firm Diffusion of New Technologies: the Neglected Part of Technology Transfer**. International Journal of Industrial Engineering, 4(2), 270-82. 1997
- TAYLOR, F. **Princípios de administração científica**. 7.ed. São Paulo : Atlas. 1987
- TOFFLER, Alvin **A empresa flexível**. 6.ed. Rio de Janeiro : Record. 1985
- TORRES FILHO, E. **Petróleo: Concorrência, regulação e estratégia**. Econômica Política Internacional, Análise Estratégica. Nº 2, Julho-Setembro, 2004. Pág. 21-26.
- UNRUH, G. C. **Understanding carbon lock-in**. Energy policy, Elsevier, v. 28, n. 12, p. 817–830, 2000.
- UNRUH, G. C.; CARRILLO-HERMOSILLA, J. **Globalizing carbon lock-in**. Energy Policy, Elsevier, v. 34, n. 10, p. 1185–1197, 2006.
- UTTERBACK, J. **Dominando a dinâmica da inovação**. Editora Qualitymark. 1996.

VEBLER, T. **Why is economics not an Evolutionary Science?**, Quarterly Journal of Economics vol. 12, n. 4, 1898.

WARDS INTELLIGENCE. 2021. Disponível em:<<https://wardsintelligence.informa.com/datacenter>>. Acesso em: 24/10/2021

WAKEFIELD, E. History of the Electric Automobile. Society of Automotive Engineers, 1994.

WINTERHOFF, M. et al. **Automotive 4.0: a disruption and new reality in the US?** Detroit, 2015. Disponível em:<<https://www.rolandberger.com/en/Publications/Automotive-4.0.html>>. Acesso em: 10 mai. 2021.

WOOD, JR. **Fordismo, Toyotismo e Volvismo: os caminhos da indústria em busca do tempo perdido.** RAE-Revista de Administração de Empresas, vol.32, n.4, 1992.

WOODYARD, Chris, **Tesla boasts about electric car deliveries, plans for sedan,** USA Today, 2011.

WOMACK, James P. **A máquina que mudou o mundo.** Rio de Janeiro : Campus. 4.ed. (Edição norte-americana de 1990). 1992

WU, J., SHANLEY, M.T. **Knowledge stock, exploration, and innovation: research on the United States electromedical device industry.** J. Bus. Res. 62, 474e483. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2007.12.004>. 2009

YOON, J., KIM, K. **An analysis of propertyfunction based patent networks for strategic R&D planning in fast-moving industries: the case of silicon-based thin film solar cells.** Expert Syst. Appl. 39, 7709e7717. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2012.01.035>. 2012

ZHAO, Q. **Electromobility research in Germany and China: structural Differences.** Journal of Scientometric Res. 2018; 7(1):01-08 . Budapest, Hungary, 2018.

ZHANG, J., BADEN-FULLER, C.. **The influence of technological knowledge base and organizational structure on technology collaboration.** J. Manag. Stud. 47, 679e704. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2009.00885.x>. 2010

APÊNDICE

Lista de especificações dos filtros realizados nas buscas de documentos de patentes ICE; LIB-EV e LIB-ED

Grupo / Sub-grupo	Especificação
X16-B01F1	LITHIUM-BASED
X21	ELECTRICAL VEHICLES
B60L	PROPULSION OF ELECTRICALLY-PROPELLED VEHICLES(arrangements or mounting of electrical propulsion units or of plural diverse prime-movers for mutual or common propulsion in vehicles B60K000100, B60K000620; arrangements or mounting of electrical gearing in vehicles B60K001712, B60K001714; preventing wheel slip by reducing power in rail vehicles B61C001508; dynamo-electric machines H02K; control or regulation of electric motors H02P); SUPPLYING ELECTRIC POWER FOR AUXILIARY EQUIPMENT OF ELECTRICALLY-PROPELLED VEHICLES(electric coupling devices combined with mechanical couplings of vehicles B60D000164; electric heating for vehicles B60H000100); ELECTRODYNAMIC BRAKE SYSTEMS FOR VEHICLES IN GENERAL(control or regulation of electric motors H02P); MAGNETIC SUSPENSION OR LEVITATION FOR VEHICLES; MONITORING OPERATING VARIABLES OF ELECTRICALLY-PROPELLED VEHICLES; ELECTRIC SAFETY DEVICES FOR ELECTRICALLY-PROPELLED VEHICLES
H01M	PROCESSES OR MEANS, e.g. BATTERIES, FOR THE DIRECT CONVERSION OF CHEMICAL ENERGY INTO ELECTRICAL ENERGY
P8	OPTICS, PHOTOGRAPHY, GENERAL
T	COMPUTING AND CONTROL
W	COMMUNICATIONS
H02H	EMERGENCY PROTECTIVE CIRCUIT ARRANGEMENTS(indicating or signalling undesired working conditions G01R, e.g. G01R003100, G08B; locating faults along lines G01R003108; emergency protective devices H01H)
H02J	CIRCUIT ARRANGEMENTS OR SYSTEMS FOR SUPPLYING OR DISTRIBUTING ELECTRIC POWER; SYSTEMS FOR STORING ELECTRIC ENERGY
F	MECHANICAL ENGINEERING; LIGHTING; HEATING; WEAPONS; BLASTING
F01	MACHINES OR ENGINES IN GENERAL; ENGINE PLANTS IN GENERAL; STEAM ENGINES
F02	COMBUSTION ENGINES; HOT-GAS OR COMBUSTION-PRODUCT ENGINE PLANTS
B	PERFORMING OPERATIONS; TRANSPORTING
B60K	ARRANGEMENT OR MOUNTING OF PROPULSION UNITS OR OF TRANSMISSIONS IN VEHICLES; ARRANGEMENT OR MOUNTING OF PLURAL DIVERSE PRIME-MOVERS IN VEHICLES; AUXILIARY DRIVES FOR VEHICLES; INSTRUMENTATION OR DASHBOARDS FOR VEHICLES; ARRANGEMENTS IN CONNECTION WITH COOLING, AIR INTAKE, GAS EXHAUST OR FUEL SUPPLY OF PROPULSION UNITS IN VEHICLES
F01B	MACHINES OR ENGINES, IN GENERAL OR OF POSITIVE-DISPLACEMENT TYPE, e.g. STEAM ENGINES(of rotary-piston or oscillating-piston type F01C; of non-positive-displacement type F01D; combustion engines F02; internal-combustion aspects of reciprocating-piston engines F02B005700, F02B005900; machines for liquids F03, F04; crankshafts, crossheads, connecting-rods F16C; flywheels F16F; gearings for interconverting rotary motion and reciprocating motion in general F16H; pistons, piston-rods, cylinders, for engines in general F16J)
F01C	ROTARY-PISTON OR OSCILLATING-PISTON MACHINES OR ENGINES(combustion engines F02; internal-combustion aspects F02B005300, F02B005500; machines for liquids F03, F04)
F01L	CYCLICALLY OPERATING VALVES FOR MACHINES OR ENGINES
F01M	LUBRICATING OF MACHINES OR ENGINES IN GENERAL; LUBRICATING INTERNAL-COMBUSTION ENGINES; CRANKCASE VENTILATING
F01N	GAS-FLOW SILENCERS OR EXHAUST APPARATUS FOR MACHINES OR ENGINES IN GENERAL; GAS-FLOW SILENCERS OR EXHAUST APPARATUS FOR INTERNAL-COMBUSTION ENGINES(arrangements in connection with gas exhaust of propulsion units in vehicles B60K001300; combustion-air intake silencers specially adapted for, or arranged on, internal-combustion engines F02M003500; protecting against, or damping, noise in general G10K001116)
F01P	COOLING OF MACHINES OR ENGINES IN GENERAL; COOLING OF INTERNAL-COMBUSTION ENGINES(arrangements in connection with cooling of propulsion units in vehicles B60K001100; heat-transfer, heat-exchange or heat-storage materials C09K000500; heat-exchange in general, radiators F28)
F02B	INTERNAL-COMBUSTION PISTON ENGINES; COMBUSTION ENGINES IN GENERAL(gas-turbine plants F02C; hot-gas or combustion-product positive-displacement engine plants F02G)
F02D	CONTROLLING COMBUSTION ENGINES(vehicle fittings, acting on a single sub-unit only, for automatically controlling vehicle speed B60K003100; conjoint control of vehicle sub-units of different type or different function, road vehicle drive control systems for purposes other than the control of a single sub-unit B60W)
F02F	CYLINDERS, PISTONS, OR CASINGS FOR COMBUSTION ENGINES; ARRANGEMENTS OF SEALINGS IN COMBUSTION ENGINES
F02M	SUPPLYING COMBUSTION ENGINES IN GENERAL WITH COMBUSTIBLE MIXTURES OR CONSTITUENTS THEREOF
F02N	STARTING OF COMBUSTION ENGINES; STARTING AIDS FOR SUCH ENGINES, NOT OTHERWISE PROVIDED FOR
F02P	IGNITION, OTHER THAN COMPRESSION IGNITION, FOR INTERNAL-COMBUSTION ENGINES; TESTING OF IGNITION TIMING IN COMPRESSION-IGNITION ENGINES(specially adapted for rotary-piston or oscillating-piston engines F02B005312; ignition of combustion apparatus in general, glowing plugs F23Q; measuring of physical variables in general G01; controlling in general G05; data processing in general G06; electrical components in general, see section H; sparking plugs H01T)

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes relacionadas ao ICE – por países

Localidades	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
China									21	75	4.955	131.610
Japão							1.299	53.028	50.445	24.449	28.273	74.300
EUA	13	3.398	1.340	5.086	4.223	4.007	838	29	136	2.857	12.651	52.520
Alemanha	201	1.000	4.593	1.781	1.794	5.004	6.059	7.337	2.924	9.688	6.439	27.440
Coreia do Sul									33	1.025	8.024	21.290
Rússia		12					9	88	3.336	603	2.855	8.364
França	3.842	5.768					2	2.709	13	1.345	2.867	6.183
Reino Unido	1.145	6.952				1.413	2.844	5.179	11	33	1.908	2.046
Resto do Mundo	18	216	33	80	58	315	1.090	3.473	9.258	2.900	8.304	29.715
Total	5.219	17.346	5.966	6.947	6.075	10.739	12.141	71.843	66.177	42.975	76.276	353.468

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes relacionadas ao ICE – por continente

Localidade	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
Ásia	-	12	-	-	-	-	1.308	53.130	53.892	26.516	45.868	248.612
América do Norte	5.206	13.929	4.594	1.817	1.850	6.732	9.965	17.487	10.278	15.368	21.412	72.363
Europa	13	3.398	1.340	5.086	4.223	4.007	839	39	207	3.032	14.074	56.259
Resto do Mundo	-	7	32	44	2	-	29	1.193	2.158	365	1.814	6.960
Mundo	6.472	16.608	6.948	6.439	6.454	10.609	13.326	73.627	66.257	49.213	97.759	361.748

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes LIB-EV – por países

Localidade	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		
China			2	1	1	1	2	3	2	2	7	5	13	12	14	33	75	96	129	164	261	457	535	699	645	919	1.243	1.584	1.790	2.438		
Japão	16	17	32	48	55	65	114	107	117	200	234	344	340	321	295	341	405	548	892	1.163	1.189	1.686	1.773	1.676	1.248	984	1.323	1.217	1.389	1.385		
EUA	2	1	3	3	7	9	18	11	19	16	35	44	47	45	37	45	43	68	101	122	191	213	293	491	912	660	530	577	681	800		
Coreia do Sul			1	1	1	4	5	1	1	5	1	8	4	7	9	47	55	54	99	243	335	422	450	479	379	405	365	420	547			
Alemanha	5	2	3	8	10	15	6	15	22	41	41	49	38	37	28	16	23	48	69	72	120	142	225	351	159	106	90	126	180	530		
Índia		1									6	3	2	12	11	11	21	25	19	28	59	41	68	138	163	169	89	84	94	98	144	224
França	1	1	3	6	4	1	4	3	1	7	7	19	10	27	27	28	17	4	7	21	30	39	44	72	20	18	9	22	37	48		
Taiwan				1	1				3	2				1	1	1	3	6	5	6	19	17	27	24	18	18	14	8	35	37		
Hong Kong												1				1	1	1	4	1	4	46	35	30	23	26	13	54	30	29		
Vietnã																	2			4	5	21	35	11	13	10	6	7	17	18		
Reino Unido				1				1	1		2	2	1	1	1				4	3	2	6	8	20	7	7	10	4	4	16		
Austrália	1						1	1			3	12	10	9	2	2	1		2		2		11	4	3	3	1	3	7	10		
Filipinas																							1	4	2					1	7	
Suécia										1													1	2	1					1	6	5
Áustria																		1	2	2		2	1					2	3	5	4	
Canadá	1	1			3		1	2	3	10	8	8	2	7		2	6	8	6	7	6	9	16	17	9	12	2	11	4	4		
Resto do Mundo	2	1	1	3	2	3	2	4	13	12	7	6	13	9	23	13	17	29	49	56	104	109	102	119	99	71	58	49	33	13		
Total Geral	28	24	45	69	85	96	152	152	188	295	349	503	495	484	456	516	659	892	1.383	1.761	2.244	3.220	3.692	4.139	3.727	3.298	3.800	4.129	4.783	6.115		

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes LIB-EV – por continente

Continente	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ásia	17	19	35	49	58	68	120	115	130	208	249	364	374	350	348	411	557	741	1.159	1.500	1.813	2.736	3.033	3.114	2.567	2.452	3.131	3.363	3.842	4.692
Europa	7	3	9	17	18	19	11	21	34	62	65	94	83	101	83	84	91	118	220	249	366	523	659	813	439	308	263	355	566	981
América do Norte	3	2	3	3	10	11	19	15	27	35	48	56	54	53	39	47	49	81	109	131	202	230	318	524	925	676	536	592	687	804
Oceania	1						1	1		1	3	12	10	9	2	2	1		2		2		11	4	3	3	1	4	7	10
América do Sul							1						2	3	1	4	12	15	23	55	34	24	28	11	6	6	1	4	1	
África																			1			1				2	1	1		
Total Geral	28	24	47	69	86	98	152	152	191	306	365	526	521	515	475	545	702	952	1.506	1.903	2.438	3.524	4.045	4.483	3.945	3.447	3.938	4.316	5.106	6.488

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes LIB-EV dos top 50 maiores fabricantes – por setores

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Automotivo	7	8	14	22	42	51	68	79	75	134	178	280	304	289	312	330	340	443	734	924	954	1.455	1.601	1.765	1.508	1.214	1.273	1.222	1.506	2.028	
TIC		1	8	12	11	10	28	22	24	45	58	72	54	49	41	67	146	181	272	279	497	798	992	1.238	1.089	753	866	905	873	966	
Produtos Químicos		3						1	3	6	7	9	19	11	11	10	9	20	49	52	57	74	92	116	117	85	110	87	109	95	
Máquinas e Equipamentos								1	3	7	8	2	1	1		2	1	4	14	15	12	15	15	14	16	21	7	12	25	15	
P&D Estatal										2									1	1		4	6	16	20	23	8	4	4	8	4
Total Geral	7	12	22	34	53	61	96	103	105	194	251	363	378	350	364	409	496	649	1.070	1.270	1.524	2.348	2.716	3.153	2.753	2.081	2.260	2.230	2.521	3.108	

Fonte: DERWENT (2021)

Top 20 fabricantes que mais documentaram patentes LIB-EV e variação entre 2010-2019

Ranking OEM	2010	2019	Share 2019	Var.Média	Total	Setor
1º - Toyota	366	577	9,0%	5,2%	6.545	Automotivo
2º - LG Chem	79	312	4,9%	16,5%	2.643	TIC
3º - Porsche	18	256	4,0%	34,3%	720	Automotivo
4º - Honda	86	232	3,6%	11,7%	1.642	Automotivo
5º - Bosch	42	151	2,4%	15,3%	1.281	Automotivo
6º - Panasonic	152	131	2,0%	-1,6%	1.680	TIC
7º - Hyundai	79	126	2,0%	5,3%	1.099	Automotivo
8º - BMW	6	113	1,8%	38,6%	342	Automotivo
9º - Ford	6	111	1,7%	38,3%	597	Automotivo
10º - Samsung	33	79	1,2%	10,2%	975	TIC
11º - Denso	42	75	1,2%	6,7%	650	Automotivo
12º - Sumitomo	36	74	1,2%	8,3%	603	TIC
13º - CATL	1	72	1,1%	60,8%	156	TIC
14º - GM	12	64	1,0%	20,4%	534	Automotivo
15º - GS Yuasa	12	59	0,9%	19,4%	623	TIC
16º - BYD	11	51	0,8%	18,6%	296	Automotivo
17º - Showa Denko	16	48	0,7%	13,0%	496	Produtos Químicos
18º - Kymco	1	48	0,7%	53,7%	57	Automotivo
19º - SEL	1	47	0,7%	53,4%	177	TIC
20º - Murata	1	40	0,6%	50,7%	343	TIC

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes LIB-ED – por país

País	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
China	3	7	5	10	27	27	24	15	24	48	59	63	79	93	128	194	290	456	633	739	689	736	877	1.402	1.511	2.149	2.516	2.671	2.892	3.139
Japão	182	173	155	190	268	333	361	397	442	569	712	748	634	449	446	573	857	894	998	1.036	1.480	1.481	1.496	1.205	1.018	1.221	1.096	1.032	1.005	1.000
EUA	20	40	31	40	64	70	96	93	91	120	145	122	158	184	163	154	163	224	232	233	448	652	600	397	395	499	813	673	679	605
Coreia do Sul	3	4	5	4	5	23	30	32	10	13	29	14	11	21	34	30	71	106	97	116	204	257	299	236	261	352	212	229	230	320
Índia					2	3	7	10	6	2	4	24	11	14	17	52	49	48	68	54	83	100	109	109	49	87	122	143	115	136
Alemanha	48	44	44	49	47	62	53	37	49	81	59	67	33	39	33	26	20	29	31	33	132	61	81	72	53	113	36	58	49	93
Taiwan			3	1	2	3	4	7	15	10	24	13	5	17	22	34	35	56	51	35	56	65	60	54	35	56	35	28	60	60
Hong Kong			1	1				1			8		4	1	5	9	8	10	11	10	23	71	31	37	25	30	48	27	40	44
França	2	3	3	3	6	6	6	2	3	8	6	6	4	6	3	4	4	9	3	7	37	10	24	12	9	23	10	21	18	23
Rússia	10	12	3	1	5	2	3	3			3	9	5	6	3	11	10	5	6	11	7	10	9	11	7	15	9	21	19	22
Austrália	4	5	1	4	2	2	7	9	17	19	18	40	55	9	7	3		2	5	1	4	11	7	9	9	7	11	7	19	13
Canadá	16	13	9	11	6	6	11	7	9	15	7	10	8	16	15	15	14	13	21	16	9	17	14	20	18	16	11	7	3	12
Reino Unido	4	3	7	3	5	8	5	5	2	8	5	9	4	6	2	4	10	9	6	5	5	5	8	5	4	20	13	13	8	11
Resto do Mun	15	17	13	14	24	19	21	35	35	77	51	53	38	21	55	60	51	74	80	81	117	108	103	94	93	111	91	127	71	43
Total Geral	307	321	279	331	464	564	628	652	704	970	1.130	1.178	1.049	882	933	1.169	1.582	1.935	2.242	2.377	3.294	3.584	3.718	3.663	3.487	4.699	5.023	5.057	5.208	5.521

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes LIB-ED – por continente

Continente	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Ásia	201	196	174	209	315	395	433	475	504	659	845	877	755	605	674	929	1.327	1.602	1.883	2.034	2.578	2.757	2.917	3.101	2.940	3.962	4.078	4.210	4.386	4.734	
América do Norte	36	54	41	52	80	79	111	106	113	147	169	148	173	201	184	183	189	247	272	254	465	680	629	426	416	521	834	684	687	619	
Europa	75	71	66	69	68	88	79	70	81	167	123	136	98	96	122	104	147	182	195	215	421	336	328	282	274	348	208	291	308	387	
Oceania	5	5	1	4	2	3	7	9	17	20	18	40	55	9	7	3		3	7	1	6	12	7	9	9	7	12	7	22	13	
América do Sul	2	1	1	1	2	7	2	3	5	5	5	5	3	5	5	6	16	11	17	14	26	32	19	11	18	11	4	12	9	6	
África				1			1		2	2	3							1		3	1	4	1	1	2	1	6	7	6	2	
América Central																1															
Total Geral	317	328	283	335	467	567	637	663	718	1.000	1.162	1.209	1.084	917	992	1.225	1.680	2.045	2.374	2.521	3.497	3.821	3.901	3.830	3.659	4.850	5.142	5.211	5.418	5.761	

Fonte: DERWENT (2021)

Volume de documentos de patentes LIB-ED dos top 50 maiores fabricantes – por setores

Setor	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
TIC	86	93	89	118	183	239	278	284	263	317	428	388	337	276	306	383	634	717	666	718	1.014	1.176	1.097	937	773	1.021	1.017	916	855	1.020
Automotivo	15	9	11	11	26	16	29	23	47	54	68	97	75	49	57	99	94	115	172	189	343	366	365	276	300	410	346	312	233	299
Máquinas e Equipamentos	2	2	6	4	4	9	13	10	7	34	19	20	21	13	20	15	34	29	40	35	54	41	47	32	37	34	42	41	40	49
Produtos Químicos	4	5	3	2	2	3	7	10		9	18	6	19	3	4	4	13	12	26	9	20	34	52	74	70	57	59	38	49	17
Energia																1			5	4	8	10	12	17	38	57	34	37	42	51
P&D Estatal											1					3	4	9	6	9	11	8	11	14	4	14	14	15	11	13
Total Geral	107	109	109	135	215	267	327	327	317	414	533	512	452	341	387	505	779	882	915	964	1.450	1.635	1.584	1.350	1.222	1.593	1.512	1.359	1.230	1.449

Fonte: DERWENT (2021)

Produção mundial de veículos – por países

País	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
China	-	22.574	87.166	222.288	509.242	2.069.069	18.264.761	25.225.242
EUA	8.005.859	7.905.119	8.283.949	8.009.841	9.782.997	12.799.857	7.743.093	8.822.399
Japão	31.597	481.551	5.289.157	11.042.884	13.486.796	10.140.796	9.628.920	8.067.557
Alemanha	314.307	2.133.499	3.995.625	4.095.138	4.976.552	5.526.615	5.905.985	3.742.454
Coréia do Sul	-	-	28.819	123.135	1.321.630	3.114.998	4.271.741	3.506.774
Índia	14.688	51.136	76.409	113.917	362.655	801.360	3.557.073	3.394.446
México	-	533.041	916.089	1.565.174	1.814.466	3.099.522	3.981.728	3.176.600
Espanha	-	58.209	539.132	1.181.659	2.053.350	3.032.874	2.387.900	2.268.185
Brasil	-	133.041	416.089	1.165.174	914.466	1.681.527	3.381.728	2.014.055
Resto do Mundo	2.020.314	5.122.691	10.381.824	12.955.455	15.723.323	17.820.890	18.458.580	17.401.850
Mundo	10.388.715	16.442.821	30.016.229	40.476.645	50.947.467	60.089.508	77.583.519	77.621.582

Fonte: OICA (2021)