

Transição do combustível fóssil para a eletrificação no Brasil frente à perspectiva da eletromobilidade na Alemanha, Estados Unidos e Japão

EDSON LUIZ HALUCH

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ

CARLOS ALBERTO CIOCE SAMPAIO

OSÍRIS CANGIHLIERI JUNIOR

Introdução

A maioria dos países chamados desenvolvidos ou em desenvolvimento vem demonstrando ao longo dos últimos anos maior atenção com os aspectos ambientais, entre eles, a opção pela eletromobilidade dentro da cadeia automotiva. Incertezas sobre a disponibilidade futura de combustíveis derivados de petróleo, incentivam o desenvolvimento de novas tecnologias alternativas em relação ao uso de hidrocarbonetos. Tais obstáculos funcionam como alavancas, pressionando as montadoras a desenvolverem novas soluções ambientalmente adequadas e aceitas pelo mercado consumidor.

Problema de Pesquisa e Objetivo

O problema de pesquisa diz respeito ao desenvolvimento da eletromobilidade como fator de melhoria nas condições ambientais. E o objetivo deste artigo é analisar o impacto da cadeia automotiva sustentável frente à perspectiva da eletromobilidade em mercados automotivos mundiais.

Fundamentação Teórica

A competitividade das empresas do segmento automotivo passa necessariamente pelo desenvolvimento efetivo de sua cadeia de produção. Neste sentido é importante e urgente uma avaliação mais ampla da cadeia automotiva em relação ao modelo de negócio baseado na eletromobilidade, por meio de um plano de negócios que leve em conta não somente o comparativo entre a eficácia dos modelos elétricos frente aos de combustão interna, mas sim toda a infraestrutura necessária para tornar o projeto nacional da eletromobilidade viável e aceito pelo consumidor final.

Metodologia

Foi desenvolvida a partir de uma revisão sistemática da literatura de caráter quali-quantitativa com enfoque de estudo descritivo-analítico ligados aos processos internos e aos produtos, com a investigação sendo realizada em momento específico, utilizando-se inicialmente de pesquisa exploratória para aprofundar a partir de estudo de casos. Para a coleta de dados, foi utilizado o portal de periódicos da CAPES brasileiro, bem como, por meio de entrevistas e questionários realizados com as empresas automotivas e clientes finais.

Análise dos Resultados

Nos países estudados neste artigo, Alemanha, Estados Unidos e Japão foi possível identificar que as montadoras alemãs dão preferência para o desenvolvimento dos veículos elétricos puros, já as norte-americanas e japonesas aos híbridos, associados a fortes subsídios governamentais e com uma grande rede de infraestrutura de carregamento, fatores estes que impulsionam o rápido processo de eletrificação nestes países, diferentemente do que ocorre no mercado automotivo nacional.

Conclusão

Levando-se em conta que a discussão sobre sustentabilidade tem sido um dos pilares do desenvolvimento econômico contemporâneo ao redor do mundo, e a cadeia automotiva sustentável tem impacto sobre o meio ambiente, é de suma importância refletir sobre as perspectivas de futuro para a indústria automobilística, que vem passando por um momento de transformação tecnológica mundial. Dentro da ótica da gestão de transição é que se procura as estratégias oportunas para os setores de inovação em energias renováveis e, mais especificamente, no setor de eletrificação automotiva.

Referências Bibliográficas

1. Sarti, F.; Borghi, R. Evolution and challenges of the automotive industry in Brazil: contribution to the debate. Analysis 8/2015. Sao Paulo. Friedrich-Ebert-Stiftung, 2015. 2. Vithanage, A. C. "EV for EV: Equity and Viability in Electric Vehicle Infrastructure Law and Policy." Natural Resources & Environment, vol. 34, n. 4, Spring 2020, p.11+. Gale Academic OneFile. 25. Automotive World. The World's Car Manufacturers (21th edition) – An Operating & Financial Review. London: Automotive World, June 2018. 26. BMI. Business Monitor International – Germany Autos Report Q4 2017

Palavras Chave

indústria automotiva, cadeia produtiva, sustentabilidade

Transição do combustível fóssil para a eletrificação no Brasil frente à perspectiva da eletromobilidade na Alemanha, Estados Unidos e Japão

Edson Luiz Haluch ¹[0000-0002-2827-3890], Osiris Canciglieri Júnior ¹[0000-0002-8503-9275],
Carlos Alberto Cioce Sampaio ²[0000-0002-0664-0266]

¹ Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR) - Polytechnic School - Industrial and Systems Engineering Graduate Program (PPGEPS) - Curitiba - PR - Brasil
- osiris.canciglieri@pucpr.br/ edson.haluch@gmail.com

² Universidade Regional de Blumenau (FURB) - Blumenau - SC - Brasil
Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL)/Instituto Ânima (IA) - Florianópolis - SC - Brasil
Universidade de São Paulo, Instituto Estudos Avançados – São Paulo - SP - Brasil - carlos.cioce@usp.com

Resumo. A indústria automotiva avança por inovações globais no que se refere à eletrificação e hibridização veicular, como resposta adaptativa às questões ambientais em curso. As montadoras automotivas demonstram preocupações com estas megatendências globais que devem impactar o setor e que se mostram enfáticas, principalmente quanto ao crescimento vertiginoso de soluções e propostas de negócio que envolvem a mudança de comportamento do consumidor, sobretudo quanto ao aspecto da sustentabilidade do produto. O planeta não apresenta capacidade de carga para suportar os padrões atuais de consumo e, por consequência, de produção. Alinhado a esta necessidade, o trabalho estabelece diretrizes de governança corporativa necessárias para a transição do combustível fóssil para a eletrificação dentro da cadeia automotiva. O presente artigo objetiva analisar o impacto da cadeia automotiva sustentável frente à perspectiva da eletromobilidade nos mercados automotivos mais consolidados, bem como, no incipiente mercado brasileiro.

Palavras-chave: indústria automotiva, governança, cadeia produtiva, sustentabilidade.

1 Introdução

As transformações que vem ocorrendo na indústria automotiva mundial com a implantação de novas tecnologias, confirmam as tendências do setor, com destaque para os veículos elétricos e híbridos, conectividade veicular e veículos autônomos. Existe uma revolução do produto automóvel, que pode vir a alterar significativamente o modelo de negócio vigente, onde os distribuidores transformam-se em centros de experiência de produtos e os veículos são customizados para atender a necessidade de cada consumidor [1].

Contudo, incertezas sobre a disponibilidade futura de combustíveis derivados de petróleo, incentivam o desenvolvimento de novas tecnologias alternativas em relação ao uso de hidrocarbonetos, podendo estabelecer novos líderes na indústria automotiva com a real possibilidade de esgotamento dos recursos energéticos. Tais obstáculos funcionam como alavancas, pressionando as montadoras a desenvolverem novas soluções ambientalmente adequadas e aceitas pelo mercado consumidor [1].

A transição de veículos baseados em combustíveis fósseis para as tecnologias de veículos elétricos e híbridos vem ao encontro com a necessidade de se abordar os problemas ambientais atuais, reduzindo a exposição à diversos poluentes, principalmente os que causam o efeito estufa [2].

Desta forma, mesmo existindo diversas pesquisas sobre o desenvolvimento de motorizações que gerem menos poluentes [3] [4], e ainda inúmeros estudos sobre o

desenvolvimento de tecnologias que utilizam combustíveis alternativos [5] [6] e estudos específicos sobre o desenvolvimento do automóvel elétrico [7] [8] [9] [10], todos demonstram a necessidade de novas estratégias para a mobilidade urbana sustentável, na busca por soluções técnicas e inovadoras sobre a utilização do meio de transporte automóvel, bem como a sua integração a outros modais de transporte, adequadas à uma política de transporte que atenda a necessidade básica do indivíduo de locomover-se, porém gerando baixo impacto ambiental.

A maioria dos países chamados desenvolvidos ou em desenvolvimento vem demonstrando ao longo dos últimos anos maior atenção com os aspectos ambientais, entre eles, a opção pela eletromobilidade dentro da cadeia automotiva. O objetivo deste artigo é analisar o impacto da cadeia automotiva sustentável frente à perspectiva da eletromobilidade em mercados automotivos mundiais.

2 Procedimento Metodológico

Foi desenvolvido a partir de uma revisão sistemática da literatura de caráter quali-quantitativa com enfoque de estudo descritivo-analítico ligados aos processos internos e aos produtos, com a investigação sendo realizada em momento específico, utilizando-se inicialmente de pesquisa exploratória para aprofundar a partir de estudo de casos. Para a coleta de dados, foi utilizado o portal de periódicos da CAPES brasileiro, sendo uma biblioteca virtual, considerada como uma ferramenta essencial de coleta de dados. O portal possui um acervo de mais de 40.000 (quarenta mil) periódicos e 546 bases de dados referenciadas em todas as áreas do conhecimento. *Scopus*, *Web of Science* e *Emerald* são algumas dessas bases, o que justifica a utilização do portal como ferramenta de coleta de dados.

Desta forma, este estudo possui natureza descritiva e foi dividido em quatro fases: primeira, etapa exploratória do tema em empresas automobilísticas, países e concessionárias; segunda, pesquisa sistemática na literatura; terceira, pesquisa exploratória de experiências demonstrativas internacionais de empresas automobilísticas com sede na Alemanha, Estados Unidos e Japão, quanto a eletrificação de motores e quarta, estudo de caso de três grupos de concessionárias sul brasileiras, e que comercializam marcas de automóveis destas empresas internacionais.

Ainda, na quarta fase, foram realizadas incursões por algumas montadoras automotivas instaladas no Brasil, como também foram feitas dinâmicas com funcionários graduados da alta direção das montadoras, bem como entrevistas com *dealers* de diversas marcas presentes no mercado automotivo, tendo em vista a importância destes atores no que diz respeito a tomada de decisões estratégicas relativas ao segmento automotivo. Foram aplicados questionários, via formulário eletrônico, com possíveis compradores de automóveis e comerciais leves que estavam visitando as concessionárias.

3 Transição na Indústria Automotiva

De acordo com os fundamentos apresentados a seguir pelas diversas montadoras internacionais, embasadas nos trabalhos teóricos de autores como [11] [12] [13] [14] [15] [16], e também por meio das informações obtidas nos relatórios de sustentabilidade de cada montadora avaliada, foi possível identificar as principais práticas de sustentabilidade adotadas no processo de transição para a eletrificação, as quais estão amparadas em quatro pilares, a saber: Estrutura de Carregamento das

Baterias, Regulamentação Ambiental, Índice de Satisfação dos Clientes e Rentabilidade dos Veículos Elétricos e Híbridos, conforme quadro a seguir. Importante destacar o papel central da cadeia automotiva, partindo dos fornecedores, passando pela indústria automobilística e seus distribuidores até chegar no cliente final. Fica evidente para o processo de transição do combustível fóssil para a eletrificação, que exista a necessidade do engajamento entre todos os elos, criando uma unidade no sentido de garantir e atender as necessidades desde o início até o final da cadeia automotiva.

Quadro 1 - Situação Mercadológica da Eletromobilidade Internacional

 Infraestrutura de Carregamento	 Regulamentação Ambiental	 Satisfação dos Clientes	 Rentabilidade do veículo elétrico
<ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidade da rede de carregamento, especialmente de carregamento rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sansão regulatória em muitos mercados por não atender a legislação vigente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Baixa procura dos clientes por veículos elétricos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor rentabilidade dos veículos elétricos quando comparados aos de combustão.
<ul style="list-style-type: none"> - A experiência do carregamento ainda não é atraente ao usuário. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuição dos incentivos por parte dos governos à medida que a tecnologia avança. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conversão de vendas abaixo de 5% do total de veículos vendidos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Menores receitas de pós-vendas, são poucos componentes que apresentam desgastes.
<ul style="list-style-type: none"> - O tempo de carregamento das baterias é fator impeditivo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Legislação para instalação de pontos de carregamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Compradores de veículos elétricos são mais tecnológicos, têm preferência por canais digitais e personalização. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto custo das baterias para reposição.
<ul style="list-style-type: none"> - Instalação de centrais de carregamento residenciais. 	<ul style="list-style-type: none"> - Legislação adequada para reuso e descarte das baterias. 	<ul style="list-style-type: none"> - As principais preocupações são as baterias (durabilidade e reposição) e o carregamento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rede de distribuidores com pouco conhecimento específico sobre veículos elétricos.

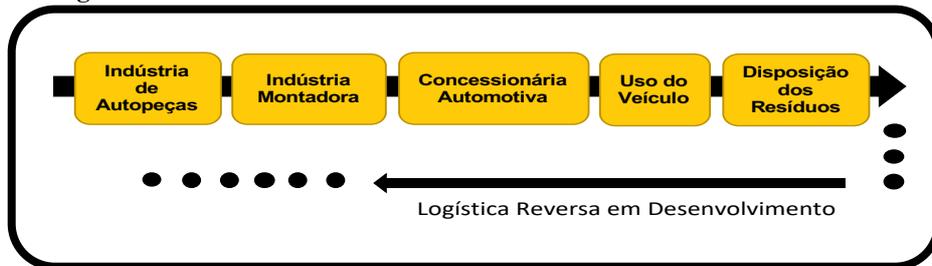
Fonte: Autor, tendo como base relatório McKinsey 2020.

A competitividade das empresas do segmento automotivo passa necessariamente pelo desenvolvimento efetivo de sua cadeia de produção, os chamados níveis 1 e 2, mas também pela ampliação da escala de produção e pela redução dos seus custos. Para a maioria das montadoras, a cadeia de fornecimento segue o modelo denominado *Global Sourcing*, ou seja, poucos fornecedores ao redor do mundo que acabam por ficarem instalados próximos às montadoras com fornecimento dedicado às mesmas - nível 1, e os fornecedores de autopeças nacionais que podem integrar a cadeia principal ou ficam responsáveis pela reposição de auto peças, denominado nível 2 [17].

Neste sentido é importante e urgente uma avaliação mais ampla da cadeia automotiva em relação ao modelo de negócio baseado na eletromobilidade, por meio de um plano de negócios que leve em conta não somente o comparativo entre a eficácia dos modelos elétricos frente aos de combustão interna, mas sim toda a infraestrutura necessária para tornar o projeto viável e ainda despertar o interesse por parte do consumidor de adquirir um veículo elétrico por um custo, neste momento, ainda maior quando comparado aos veículos de combustão [13].

Importante destacar também que os princípios da sustentabilidade e da responsabilidade social devem ir além das empresas, precisam ser adotados por toda a cadeia de valor, indo desde a extração da matéria-prima até a disposição final dos resíduos, levando em conta o ciclo de vida dos produtos, sendo que a maioria dos impactos ambientais provenientes da indústria automobilística tem influência direta por meio da produção e utilização do veículo ou indireta, pela distribuição da matéria-prima e descarte final dos produtos, ocorrendo de forma difusa e, conseqüentemente atingindo toda a sociedade [18], conforme se observa na figura abaixo.

Figura 1 - Cadeia de Valor Automotiva



Fonte: Adaptado pelo autor com base em UNIETHOS, 2012

A crise ambiental é o epicentro de uma grande transformação global, no qual a era industrial, dentro de sua racionalidade econômica e desenvolvimentista, vem transformando a relação do homem com a natureza, abrindo uma incerteza sem precedentes sob o aspecto da sustentabilidade [19].

Atualmente os consumidores estão mais exigentes e esclarecidos sobre a legislação que, por sua vez, está mais rigorosa, o que sugere que as montadoras e sua rede de concessionárias, fornecedores, fábricas de autopeças, transportadoras devem inovar tecnologicamente para poderem atender as condicionantes de desempenho ambiental, além de anteciparem tendências futuras, dentro dos limites legais [20].

Esta discussão se aprofunda na temática da governança da transição para a sustentabilidade, onde, para se alcançar determinados desafios é necessária uma governança que consiga reconhecer a multiplicidade de interesses existentes e seus diversos espaços de disputa, além das políticas públicas, com o intuito de desenvolver sistemas de inovação mais sustentáveis por meio de um processo de aprendizado e experimentação [21] [22].

Em diversos países, com destaque para a Alemanha, Estados Unidos e Japão, tais discussões encontram-se em estágio mais avançado, uma vez que as ecoinovações são realidades absolutas e compõem os chamados sistemas de inovação sustentáveis, como veremos a seguir.

4 Experiências Demonstrativas na Alemanha, Estados Unidos e Japão

A necessidade de se desenvolver novas formas de redução das emissões de poluentes geradas pelos motores convencionais à combustão, bem como, a melhoria da eficiência energética, faz com que a mobilidade urbana sustentável imponha sobre a indústria automotiva a criação de diferentes soluções de transporte, oferecendo novos serviços com diversas possibilidades, entre elas a eletromobilidade, por meio do desenvolvimento de veículos com motorização elétrica, denominados veículos elétricos híbridos (VEH) ou veículos elétricos puros (VEP), assim como a inovação em transportes públicos baseada na melhoria dos sistemas de transporte e o

carsharing, que é a locação de veículos por curta duração compartilhado pelos usuários [11] [12].

A eletromobilidade é um dos temas de pesquisa mais estudados nos últimos anos [14] [23] [24] e, devido sua complexidade e importância no cenário mundial, não pode ser analisada de forma independente. É necessária a discussão por parte da indústria automotiva com os diversos atores do setor de energia e os gestores públicos sobre o desenvolvimento de toda a infraestrutura de recarga, redes de transmissão, homologação técnica e ainda os incentivos legais para tecnologias menos poluentes.

O papel relevante que a eletromobilidade tem na indústria automotiva mundial faz com que nos deparemos em conhecer um pouco desta indústria na Alemanha, Estados Unidos e Japão, países líderes neste quesito.

4.1 Alemanha

A Alemanha é o 4º maior mercado mundial em vendas de automóveis e comerciais leves [25]. Fica atrás da China e Japão, este por pequena margem. Seu mercado interno equivale a 1/4 do mercado americano e a 1/5 do mercado chinês. Em termos de densidade veicular, é o terceiro maior mercado com 557 automóveis por 1.000 habitantes [26]. Nos países do Leste Europeu que fazem parte da União Europeia, a presença das montadoras alemãs é expressiva, dominando o mercado com 60% das vendas e com 65% da produção.

O relatório anual da Associação Alemã da Indústria - Verband der Automobilindustrie (VDA) - [27], demonstra que o mercado de veículos elétricos na Alemanha teve um crescimento de 117% em relação ao ano anterior, chegando ao patamar de 55.000 veículos elétricos a bateria e híbridos *plug-in*, aumentando a participação para 1,6% do mercado total. Esta participação ainda é pequena, mas vem aumentando significativamente a cada ano. O motor híbrido é capaz de aumentar a eficácia do sistema de acionamento, reduzindo assim o consumo de combustível em torno de 25%, assim como as emissões de CO₂. Sendo que a redução é obtida principalmente quando se utiliza o veículo em trajetos urbanos, devido a recuperação da energia que é dispendida na frenagem através de uma condução totalmente elétrica, por algum tempo, dependendo da autonomia e performance do veículo. Por outro lado, o motor a combustão interna vem operando perto da sua condição ideal, razão pela qual os veículos híbridos só podem alcançar ganhos moderados de eficiência. No entanto, os esforços globais para reduzir as emissões de CO₂ apontam para uma clara tendência de eletrificação do trem de força tornando as unidades híbridas como padrão a médio prazo.

A Alemanha não realiza praticamente P&D com combustíveis alternativos, sejam fósseis ou renováveis, sejam líquidos ou gasosos. No país, as opções, são ficar no atual design dominante (ICE¹ + gasolina ou diesel) ou buscar a eletrificação/hibridização de motores. Parece que o papel principal que a Alemanha virá a desempenhar, diz respeito à manutenção estendida do ICE movido a gasolina e a diesel tendo em vista que experimentos com os fósseis gasosos (CNG² e LNG³) inexistem neste país, fenômeno que ocorre também com o Japão. A Alemanha, assim como o Japão, por meio de suas montadoras, estão seguramente revelando ao mundo sua intenção de, caso se avance tecnologicamente para o desenvolvimento de um novo design

¹ ICE: motor de combustão interna (do inglês Internal Combustion Engine)

² CNG: gás natural comprimido (do inglês Compressed Natural Gas)

³ LNG: gás natural liquefeito (do inglês Liquefied Natural Gas)

dominante ou a manutenção do atual, será o próximo desafio entre estes dois países [26].

Há vários anos, a Alemanha é o país líder nas tecnologias de eletromobilidade, onde a demanda por veículos elétricos ultrapassou a cifra de 200.000 unidades no fim de 2019, sendo que a indústria automotiva alemã espera alcançar 1 milhão de unidades em 2022 com uma diversidade de mais de 100 diferentes modelos de automóvel de passeio e investimento de aproximadamente €40 bilhões neste segmento [28].

4.2 Estados Unidos

Os Estados Unidos é o país cujas estratégias em desenvolvimento tecnológico em motorização tem destaque. Tomando-se a China como a referência mundial (base 100), percebe-se que os Estados Unidos, segundo maior mercado mundial, possuem 99% do tamanho do mercado Chinês [29]. Em 2018, foram vendidos 13,1 milhões de automóveis e veículos leves nos EUA, o que equivale a 18% de todas as vendas no mundo.

Neste contexto, os Estados Unidos, configuram-se como laboratório de experimentos robustos para projetos estratégicos envolvendo a manutenção dos motores a combustão interna. Estes números atestam a grandeza do mercado e, que as montadoras americanas estão à frente dos esforços de preservar o atual design dominante em motorização. Estas montadoras tem revelado uma série de ações estratégicas, tais como: ampliação de plantas de produção e transmissões, investimentos em sistemas de controle de emissões *downsizing* de motores, sistemas de economia de combustível, incluindo os sistemas *stop-start*, sistemas de recirculação de gases de exaustão (EGR), novas transmissões com mais velocidades, introdução de diferentes tecnologias de materiais como metalurgia do pó em blocos de motores, *turbocharging* [29].

Na realidade, nos Estados Unidos há pioneirismo na atividade relacionada a indústria mundial no que se refere a motorização. Não há praticamente nenhum movimento tecnológico em torno das motorizações que não esteja ocorrendo nos Estados Unidos. Quarenta por cento das ações estratégicas voltadas para este setor, há a predominância dos motores de combustão interna, e, esses são desenvolvidos nos Estados Unidos. Isso remete para uma constatação: a de que, se houver uma possibilidade de se preservar o referido motor, isso se fará pelo esforço que se faz naquele país e, a partir das empresas que lá desenvolvem seus mecanismos tecnológicos. Pouco provável que outros países reúnam condições para, isoladamente, conseguir preservá-lo. Parece imprescindível que haja também a participação de outros atores, como sistemistas – fabricantes e fornecedores de auto peças nacionais e internacionais, universidades e governo, como indutores desse cenário [29].

Diversos estudos norte-americanos demonstram que a visão sobre o desenvolvimento e a difusão dos veículos elétricos fazem parte de uma agressiva estratégia industrial e de busca pela liderança tecnológica [30] [31].

Quando se trata de veículos elétricos nos Estados Unidos, importante destacar que no início dos anos 2000, surge no mercado automotivo americano uma montadora de veículos denominada Tesla *Motors*. A Tesla produz e vende diretamente aos clientes finais, principalmente, através do canal *on line* de vendas, não possuindo concessionárias que representem a marca Tesla dentro do território americano. Os veículos são produzidos em um sistema que parece ter base mais sustentável e proporcionando o acesso a soluções de mobilidade urbana para cada vez mais consumidores [32].

Conforme o relatório de sustentabilidade da Tesla [33], o desafio da organização se diz acelerar a transição do mundo para a energia sustentável, dando destaque para

a totalidade do impacto ambiental, desde a fase de fabricação dos produtos até as emissões geradas pelos veículos durante seu uso.

4.3 Japão

O Japão é considerado o país que domina as tecnologias de veículos híbridos (HEVs) e elétricos (EVs), o que possibilitaria que uma de suas montadoras fosse a primeira “*first mover*” no momento em que os padrões de emissões se tornarem muito mais rigorosos globalmente. As montadoras japonesas tem tido papel substantivo no desenvolvimento de novas tecnologias de motorização [34].

O Japão se apresenta como país na busca de tecnologias, sobretudo no quesito designs alternativos ao motor de combustão interna, nas quais fica em 3º lugar atrás dos Estados Unidos e da Alemanha. Isso torna o Japão um “*player*” importante no cenário internacional das tecnologias de motorização e um palco de experimentos poderosos em termos de projetos estratégicos, envolvendo a alternância tecnológica ao motor de combustão [34].

O investimento do Japão no segmento de veículos elétricos tem como base os problemas relativos às emissões de CO₂ no setor de transporte, a constante preocupação com o petróleo, sob o aspecto econômico e de segurança energética e, por fim, a estratégia de desenvolvimento técnico e econômico do setor automotivo no país, transformando o Japão em uma potência industrial e de inovação tecnológica mundial [35]. As ações institucionais japonesas voltadas aos veículos elétricos têm como desafio o desenvolvimento socioambiental vinculado às demandas da sociedade, tais como, eficiência energética, sustentabilidade, segurança e conectividade.

Desta forma, fica visível que os países aqui avaliados, Alemanha, Estados Unidos e Japão, por meio das suas principais montadoras, possuem um mercado fabril e consumidor mais exigentes sob o aspecto do produto e também mais significativo em termos numéricos globais. O arranjo institucional e produtivo da cadeia automotiva internacional demonstra uma relação intrínseca entre todos os elos, partindo da necessidade e desejo dos consumidores até chegar na produção dos veículos, passando pelos fornecedores de insumos e distribuidores para os clientes finais. Neste ponto é importante uma análise mercadológica internacional para posicionar alguns marcos estratégicos, conforme observa-se no quadro 2:

Quadro 02 – Síntese das Ações de Destaque Referentes à Eletromobilidade

PAÍS	MONTADORA AUTOMOTIVA	PRINCIPAIS INICIATIVAS	TECNOLOGIA AUTÔNOMAS	ECOSSISTEMAS DE ENERGIA
ALEMANHA	VOLKSWAGEN	Programa E-mobility de eletrificação. Até 2030: lançamento de 75 veículos totalmente elétricos e 60 veículos híbridos.	Não possui um programa específico de desenvolvimento de tecnologia autônoma em veículos. Desenvolve sistemas semi-autônomos.	Desenvolvimento de tecnologias para uso de biocombustíveis e melhorias em sistemas híbridos.
	MERCEDES-BENZ	Programa AMBITION 2039. Até 2020 - lançamento de 5 modelos elétricos e 20 híbridos plug-in. Até 2039 - zero emissão de CO2 em todos os veículos.	Desenvolve programa de P&D para tecnologias autônomas em seus veículos.	Forte pesquisa e desenvolvimento para uso de biocombustíveis e também para novos combustíveis a partir do hidrogênio.
	BMW	Até 2021 - Previsão de 25% de toda produção na Europa seja eletrificada. Até 2025 - Previsão de 33% seja eletrificada. Até 2030 - Previsão de 50% dos veículos produzidos sejam elétricos puros.	Desenvolvimento de tecnologias autônomas e semi-autônomas para veículos.	Desenvolvimento significativo para melhoria da eficiência dos motores à combustão, bem como, aprimoramento dos motores elétricos após o ano de 2000.
ESTADOS UNIDOS	GM	Desenvolvimento de veículos elétricos, autônomos e conectados. Até 2030 - Zero emissão e zero acidentes.	Expressivo desenvolvimento de tecnologias autônomas para veículos eletrificados, com destaque para os veículos mais populares.	Aprimoramento da tecnologia de biocombustível e melhorias significativas das baterias dos veículos elétricos.
	FORD	Redução das emissões de carbono conforme legislação. Até 2050 - Completamente neutra em carbono.	Desenvolvimento de tecnologias autônomas para veículos com forte preocupação com acidentes zero.	Desenvolvimento da combinação de tecnologias do motos à combustão com elétricos.
	TESLA	Desenvolvimento de veículos elétricos de baixo custo. Tecnologia de baterias com vida útil maior que o próprio veículo. Comercialização direta ao consumidor final.	Inovação tecnológica de ponta nos sistemas autônomos veiculares, os quais estão sendo implantados em outras marcas.	Busca contínua de inovação em tecnologias de ponta, transformando conceitos em realidade, transformando a geração, armazenamento e uso da energia elétrica na eletromobilidade.
JAPÃO	TOYOTA	Programa: Desafio Ambiental Toyota 2050. Até 2030 - Redução de 90% das emissões de CO2 através de veículos elétricos.	Não apresenta nenhum programa específico de sistemas autônomos veiculares.	Forte desenvolvimento de tecnologias híbridas e puras elétricas, com domínio de baterias de maior performance.
	NISSAN	Programa: Nissan Sustainability - Redução total de CO2 até 2022 no Japão.	Desenvolve um projeto de tecnologia autônoma com o objetivo de zerar as fatalidades em acidentes de trânsito.	Significativos desenvolvimentos de tecnologia de eletrificação pura, bem como, hibridização veicular.
	HONDA	Programa: Visão 2030 Mobilidade, robótica e energia renovável.	Vem desenvolvendo tecnologias autônomas por meio de parcerias com outras montadoras.	Desenvolvimento de novas tecnologias em motores elétricos e híbridos, bem como, desenvolvimento de novos combustíveis fósseis.

Fonte: Autor (2020)

Neste contexto, o arranjo da cadeia produtiva nos países estudados, vem enfrentando diferentes situações mercadológicas frente ao estabelecimento definitivo da transição do combustível fóssil para a eletrificação. Este é o panorama encontrado nos países elencados, sob o ponto de vista do desenvolvimento tecnológico da eletromobilidade, os quais vem trilhando um caminho a ser seguido pela maioria dos produtores mundiais automotivos espalhados pelo planeta.

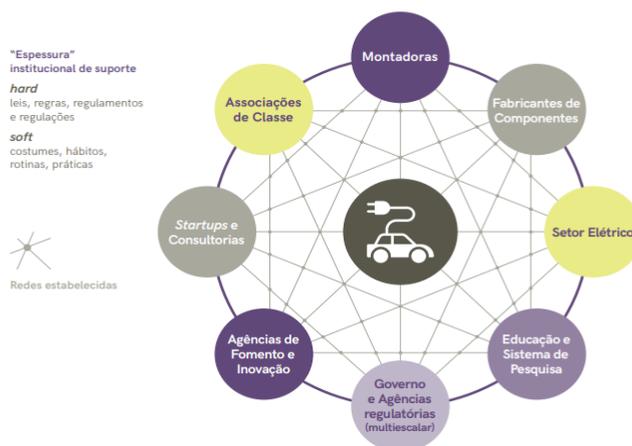
5 Cadeia Automotiva Brasileira

A cadeia automotiva nacional vem sofrendo alterações relativas à eletromobilidade e se transformando em um ecossistema tecnológico em função da necessidade imposta pela preocupação mundial no que diz respeito ao meio ambiente, principalmente em relação aos gases de efeito estufa e emissão de CO₂, visando atender aos compromissos assumidos pelo Brasil e outros países signatários do Acordo de Paris.

A opção pela eletromobilidade, dentro da cadeia automotiva global, e em especial na brasileira, destaca-se pelos atores oriundos de diversos segmentos com as mais variadas atuações, desde as montadoras presentes no Brasil e novos entrantes, assim como os sistemistas – empresas fornecedoras de autopeças e componentes automotivos, as empresas de geração de energia elétrica, as *startups* de base tecnológica, associações de classe e empresas fabricantes de componentes elétricos [36].

Neste cenário, o ecossistema da mobilidade elétrica nacional é formado principalmente por três componentes: atores, redes e instituições, os quais estão interligados entre si, conforme figura 2, formando um sistema de inovação por meio de instituições públicas e privadas, tendo como origem as estruturas do sistema automotivo tradicional, baseado ainda na tecnologia do motor a combustão [36].

Figura 2 - Atores do Sistema de Inovação da Cadeia Automotiva Brasileira



Fonte: PNME (2021)

Com isso, o papel dos atores acima especificados é fundamental para o desenvolvimento de ações coordenadas e sinérgicas no sentido da evolução da mobilidade elétrica brasileira, levando-se em conta os aspectos da sustentabilidade do produto e as diretrizes de governança corporativa necessárias para a transição do combustível fóssil para a eletrificação.

Esta discussão se aprofunda na temática da governança da transição para a sustentabilidade. É necessária uma governança que consiga reconhecer a multiplicidade de interesses existentes e seus diversos espaços de disputa, além das políticas públicas, com o intuito de desenvolver sistemas de inovação mais sustentáveis por meio de um processo de aprendizado e experimentação [21] [22].

6 Transição Sociotécnica Visando o Desenvolvimento Sustentável da Indústria Automotiva

As teorias que dizem respeito a transição sociotécnica demonstram uma visão integrada com os sistemas de inovação e do setor automotivo, relativo à transição dos combustíveis fósseis para a eletrificação, apresentando um panorama para o desenvolvimento desta tecnologia.

Na visão de [37], um Sistema Setorial de Inovação pode ser constituído por uma pluralidade de atores, tais como órgãos governamentais de pesquisa, universidades, fabricantes e fornecedores, dentre outros que se relacionam por meio de cooperação, comunicação, competição e comando sendo que tais interações são delineadas pelas instituições por meio de regras e regulações, o que faz com que o sistema se modernize no decorrer do tempo

Neste contexto para os autores [38] [39] [40] a transição é um agrupamento de diversos regimes que provocam alterações significativas nos sistemas sociotécnicos por meio de mudanças de longo alcance nas perspectivas materiais, organizacionais, institucionais, tecnológicas, socioculturais e econômicas, fazendo surgir novos produtos, serviços e diferentes modelos de negócios provocando uma mudança significativa na percepção dos consumidores.

Além disso, há que se notar que na literatura verifica-se quatro fases no processo de transição, caracterizadas por uma curva em formato “S”, conforme demonstra a Figura 3.

Figura 3 – Quatro Fases da Transição



Fonte: Loorbach (2007)

A curva “S” estabelece a dinâmica entre os diversos elementos de um sistema, embora seja uma representação simplificada de um processo altamente complexo, demonstra que a mudança estrutural não se estabelece como um processo linear e gradual e aprimora a “necessidade de abordagens conceituais, cognitivas e operacionais que sejam capazes de lidar com a não linearidade e a imprevisibilidade” [22].

Na indústria automotiva, o fator inovação parece ser oriundo da junção de inúmeras inovações em diferentes áreas que, após formarem uma rede, vão passando por refinamentos tecnológicos ao longo do tempo, provocando mudanças na tecnologia e expandindo as fronteiras do conhecimento [41].

Não resta dúvida que a redução das emissões de gases, que provocam o efeito estufa, constitui um dos principais pontos de influência para o aprimoramento e maior desenvolvimento dos veículos elétricos e híbridos. Esses tendem a amenizar parte significativa dos problemas ambientais. Diversos atores, em diferentes dimensões

públicas e privadas, devem participar da definição de metas conjuntas para o estabelecimento de soluções sustentáveis na busca de soluções particulares e coletivas ao mesmo tempo, por meio de um arcabouço institucional de medidas regulatórias aplicadas nas esferas federais, estaduais e municipais.

Esta discussão se aprofunda na temática da governança da transição para a sustentabilidade. De acordo com [21] [22] para se alcançar determinados objetivos, é necessária uma governança que consiga reconhecer a multiplicidade de interesses existentes e seus diversos espaços de disputa, além das políticas públicas, com o intuito de desenvolver sistemas de inovação mais sustentáveis por meio de um processo de aprendizado e experimentação.

O conceito de governança é discutido na literatura, tendo inúmeros significados. Diversos estudos concorrem para quatro fundamentos principais: estrutura, processo, mecanismo e estratégia [42] [43] [44] [22]. Todos convergem para compreender os modos de governar e os limites dentro dos setores público e privado, o que se entende por garantir o funcionamento (estrutura) das instituições formais e informais, valendo-se do processo de formulação de políticas privadas e públicas.

7 Conclusão

Levando-se em conta que a discussão sobre sustentabilidade tem sido um dos pilares do desenvolvimento econômico contemporâneo ao redor do mundo, e a cadeia automotiva sustentável tem impacto sobre o meio ambiente, é de suma importância refletir sobre as perspectivas de futuro para a indústria automobilística, que vem passando por um momento de transformação tecnológica mundial.

Em termos globais, existe uma preocupação consolidada na indústria automotiva quando se trata do aspecto sustentabilidade e economias de baixo carbono. Todas as montadoras, sem exceção, estabeleceram metas relativas à emissão zero de seus produtos, sendo que algumas delas para um futuro muito próximo, ou seja, em 2030, não fabricarão mais nenhum veículo movido à combustível de fonte fóssil.

Esta mudança de paradigma tecnológico ocorreu nos últimos 10 anos, principalmente pela tomada de conscientização em relação às políticas de clima e de mitigação dos efeitos nocivos oriundos da poluição atmosférica. O impacto econômico destas mudanças em diferentes escalas globais, está fazendo com que os consumidores fomentem o desenvolvimento sustentável, passando a valorizar mais os produtos e serviços de empresas que provoquem menores danos ao meio ambiente, onde tais fatores estão alinhados com o desempenho da responsabilidade social corporativa estruturada no meio ambiente, sociedade e governança.

Dentro da ótica da gestão de transição é que se procura as estratégias oportunas para os setores de inovação em energias renováveis e, mais especificamente, no setor de eletrificação automotiva, por meio de um novo arranjo tecnológico que passa necessariamente pela transição do motor movido por combustível fóssil para novos sistemas de propulsão utilizando motores elétricos, sendo necessária a construção de redes de integração tecnológica para estimular toda a curva de desenvolvimento e aprendizagem das mais variadas tecnologias em desenvolvimento da eletromobilidade.

Diante das incertezas significativas do mercado automotivo é importante que as montadoras desenvolvam estratégias para a eletromobilidade centradas em questões-chave, iniciando por um novo posicionamento de marcas que explore onde, como e quando competir, garantindo lucratividade em um mundo cada vez mais eletrificado.

Os adventos climáticos que vem assolando o mundo, cujas dimensões e gravidades nem sempre se materializam de forma direta e visível, e ainda, os alertas da comunidade científica de que o planeta não consegue suportar mais o volume de

emissões de gases do efeito estufa e suas consequências para a humanidade, estão criando uma nova forma de interação entre o progresso econômico e a importância de se viver em um ambiente sustentável, garantindo a existência das gerações futuras.

Nos países estudados neste artigo, quais sejam, Alemanha, Estados Unidos e Japão foi possível identificar que as montadoras alemãs dão preferência para o desenvolvimento dos veículos elétricos puros, associado a fortes subsídios governamentais e com uma grande rede de infraestrutura de carregamento, fatores estes que impulsionam o rápido processo de eletrificação. Neste mesmo prisma, as montadoras dos Estados Unidos, exercem maior enfoque nas pesquisas e aprimoramento dos veículos híbridos, em função de um histórico de desenvolvimento do país, associado ao petróleo. Por outro lado, no Japão, as montadoras estudadas são consideradas as pioneiras no desenvolvimento dos veículos híbridos com destaque para a tecnologia e-power (veículos híbridos com somente o motor elétrico tracionando as rodas), bem como, a significativa rede de infraestrutura de carregamento disposta em todo o país, associada a uma forte inovação tecnológica que, entre outros objetivos, visa a descarbonização, reduzindo as emissões de CO₂ no segmento de transporte.

Por outro lado, para o mercado nacional, levando-se em consideração as entrevistas realizadas junto aos principais dirigentes das montadoras avaliadas, bem como, o levantamento de dados nas associações de marcas e ainda, as pesquisas com os clientes abrangendo aspectos da transição para a eletrificação dentro do recorte da cadeia automotiva nacional, é possível constatar que esta cadeia automotiva está inserida em um contexto global e também vem se adaptando a novas exigências, mas em regime mais lento e gradual, principalmente em relação às novas tecnologias da eletromobilidade.

Tais tecnologias ainda possuem valores muitas vezes inacessíveis aos consumidores brasileiros, não somente por falta de políticas públicas que incentivem o uso de veículos elétricos ou híbridos, mas também pelo alto custo das baterias, pela incipiente estrutura de recarga assim como, pela falta de um segundo uso das baterias automotivas antes da reciclagem final. Ainda com base nos resultados das pesquisas realizadas, associado ao embasamento teórico, foi possível identificar que no Brasil existem oportunidades para o desenvolvimento no segmento da mobilidade, aproveitando-se das características e dos estudos realizados e consolidados relativos ao uso do etanol, o que sugere a criação de um novo modelo tecnológico, associando a eletrificação com o uso do etanol dentro do mercado nacional.

Diante disso, destacam-se as várias limitações encontradas no Brasil principalmente com relação a falta de políticas públicas de incentivo a eletromobilidade, a quase inexistente infraestrutura de carregamento das baterias e o alto custo de aquisição dos veículos elétricos e híbridos, fatores estes que vem provocando um distanciamento do Brasil em relação aos países mais desenvolvidos na questão da eletromobilidade.

Referências

1. Sarti, F.; Borghi, R. Evolution and challenges of the automotive industry in Brazil: contribution to the debate. Analysis 8/2015. Sao Paulo. Friedrich-Ebert-Stiftung, 2015.
2. Vithanage, A. C. "EV for EV: Equity and Viability in Electric Vehicle Infrastructure Law and Policy." *Natural Resources & Environment*, vol. 34, n0. 4, Spring 2020, p.11 +. Gale Academic OneFile.
3. Arcier, B.; Lecler, Y. New e-automotive base services: the Japanese Smart Communities and their experimentations. In: 21st Gerpisa International Colloquium. Paris, 2013.

4. Wallington, Y.; Lambert, C.; Ruona, W. Diesel vehicles and sustainable mobility in the U.S. *Energy Policy*. V. 54, p. 47-53, 2013.
5. Zorpas, A.; Inglezakis, V. Automotive industry challenges in meeting EU 2015 environmental standard. *Technology in Society*. V. 34, p. 55-83, 2012.
6. Ahmadi, P.; Kjeang, E. Comparative life cycle assessment of hydrogen fuel cell passenger vehicles in different Canadian provinces. *Int. J. Hydrogen Energy* 40, 12905 e 12917, 2015.
7. Hoyer, K. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*. V. 16, p. 63-71, 2008.
8. Kimble, C.; Wang, H. Transitors, electric vehicles and leapfrogging in China and Japan. *Journal of Business Strategy*, v. 33, p. 22-29, 2012.
9. Hildermeier, J. Which role should the electric car play in Europe's cities? An analysis of publicly funded demonstration projects 2007-2013. *International Journal of Automotive Technology and Management*, v. 16, p. 90-107, 2016.
10. Ehsani, M.; Gao, Y.; Longo, S.; Ebrahimi, L. Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles. 3^a ed. Flórida. CRC PRESS – Taylor and Francis Group, 2018.
11. Harman, R.; Veeneman, W.; Harman, P. Innovation in Public Transportation. In: Geels, F.; Kemp, R.; Dudley, J.; Lyons, G. (Org.). *Automobility in Transition? The Socio-Technical Analysis of Sustainable Transport*. 1 ed. London: Routledge, 2011.
12. Dijk, M.; Orsato, R.; Kemp, R. The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, v. 52, p. 135-145, 2013.
13. Bohnsacka, R.; Pinkse, J.; Kolk, A. Business models for sustainable technologies: Exploring business model evolution in the case of electric vehicles. *Research Policy*. V. 43, p. 284–300, 2014.
14. Caternni, A.; Cascetta, E.; Luca, S. A random utility model for park & carsharing services and the pure preference for electric vehicles. *Transport Policy*, v. 48, p. 49-59, 2016.
15. Dijk, M. and Yarime, M. The emergence of hybrid-electric cars: innovation path creation through Co-evolution of supply and demand. *Technol. Forecast. Soc. Change* 77 (8), 1371 and 1390, 2010.
16. Firnkorn, J.; Shaheen, S. Generic time - and method-interdependencies of empirical impact measurements: A generalizable model of adaptation-processes of *carsharing*-users mobility-behavior over time. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 897-909, 2016.
17. Scavarda, L. F. R.; Hamaher, S. Evolução da Cadeia de Suprimentos da Indústria Automobilística do Brasil. *RAC*, v.5. n°2, p 201/219, maio/ago, 2001.
18. Uniethos. Sustentabilidade no Setor Automotivo. São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.ethos.org.br/_uniethos/documentos. Acesso em 25 fevereiro 2022.
19. Fernandes, V.; Sampaio, C. A. C. A crise ambiental na indústria brasileira e a superação da racionalidade econômica na gestão empresarial. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba – PR, 23 a 25 de outubro de 2002.
20. Almeida, F. O bom negócio da sustentabilidade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.
21. Hillman, K.; Nilsson, M.; Rickne, A.; Magnusson, T. Fostering sustainable technologies: a framework for analysing the governance of innovations systems. *Science and Public Policy*, v.38, n.5, p. 403-415, 2011.

22. Loorbach, D. Transition Management for Sustainable Development: A Prescriptive, Complexity-Based Governance Framework. *Governance an International Journal of Policy, Administration and Institutions* Vol 23, Issue 01, 2010.
23. Dijk, M.; Wells, P.; Kemp, R. Will the momentum of the electric car last? Testing an hypothesis on disruptive innovation. *Technological Forecasting & Social Change*. V. 105, p. 77-88, 2016.
24. Madina, C.; Zamora, I.; Zabala, E. Methodology for assessing electric vehicle charging infrastructure business models. *Energy Policy*. V. 89, p. 284–293, 2016.
25. Automotive World. *The World's Car Manufactures (21th edition) – An Operating & Financial Review*. London: Automotive World, June 2018.
26. BMI. *Business Monitor International – Germany Autos Report Q4 2017 – Historical Data and Forecats (Germany 2015/-2021)*. Business Monitor International, September, 2017.
27. VDA. *Verband der Automobilindustrie. Annual Report*. 2018.
28. GTAI. *Germany Trade & Invest – Electromobility in Germany: Vision 2020 and beyond*. Berlin: 2019. Disponível em: <https://www.gtai.de/gtai-en/invest/industries/life-sciences/government-program-electromobility-105588>. Acesso em: 15 fevereiro 2022.
29. Automotive World - *The World's Car Manufacturers – An Operating & Financial Review*. London: Automotive World, June 2019.
30. Lane, B. W.; Messer-Betts, N.; Hartmann, D.; Carley, S.; Krause, R. M.; Graham, J. D. Government promotion of the electric car: risk management or industrial policy. *European Journal of Risk Regulation*, v. 4, n. 2, p. 227-245, 2013.
31. Kotter, R.; Steen, M. Van Der; Schelven, R. M. Van. EV policy compared: an international comparison of governments' policy strategy towards e-mobility. In: Leal Filho, W.; Kotter, R. (Org.). *E-Mobility in Europe, Green Energy and Technology*. [S.l.]: Springer. p. 27-53, 2015.
32. Musk, E. The Tesla approach to distributing and servicing cars. *Blog of Tesla Motors*, October, 2012. Disponível em: <https://www.tesla.com/blog/tesla-approach-distributing-and-servicing-cars>. Acesso em: 07 abril 2022.
33. TESLA. *Tesla Impact Report 2019*. 2019.
34. BMI. *Business Monitor International - Japan Autos Report Q2 2018*, april, 2018.
35. Masiero, G.; Ogasavara, M. H.; Jussani, A. C.; Risso, M. L. The global value chain of electric vehicles: A review of the Japanese, South Korean and Brazilian cases. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117307980?via=ihub>. Acesso em: 22 abril 2022.
36. PNME. *Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica – 1º Anuário Brasileiro de Mobilidade Elétrica*. Brasília e Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.mobilize.org.br/midias/pesquisas/1o-anuario-brasileiro-da-mobilidade-eletrica.pdf>. Acesso em: 02 agosto 2022.
37. Malerba, F. *Sectoral Systems of Innovation and Production*. Druid Conference on National Innovation Systems, Industrial Dynamics and Innovation Policy. Rebuild, 1999.
38. Geels, F. W.; Schot, J. W. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, Amsterdam, v. 36, p. 399-417, 2007.
39. Markard, J. Transformation of infrastructures: sector characteristics and implications for fundamental change. *Journal of Infrastructure Systems*. V. 17, p. 107- 117, 2011.

40. Markard, J.; Raven, R.; Truffer, B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, Amsterdam. V.41, p. 955 – 967, 2012.
41. Abernathy, W. J.; Clark, K. B. Innovation: Mapping the winds of creative destruction. *Research Policy*, Volume 14, Issue 1, p. 3-22. ISSN 0048-7333. 1985. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0048733385900216>. Acesso em: 25 abril 2022.
42. Rhodes, R. A. W. The new governance governing without government. *Political Studies*. V. 44, n. 4, p. 652-667, 1996.
43. Stoker, G. Governance as theory: five propositions. *International Social Science Journal*, v. 50, n. 155, p. 17-28. 1998.
44. Levi-Faur, D. From “big government” to “big governance”? In: Levi-Faur, D. Ed *The Oxford Handbook of Governance*. Oxford: Oxford University Press, 2012.