



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Tiago Ferrari Luna

**A influência dos sistemas de compartilhamento na transição para carros
elétricos**

Florianópolis
2020

Tiago Ferrari Luna

A influência dos sistemas de compartilhamento na transição para carros elétricos

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Mauricio Uriona Maldonado, Dr.

Coorientador: Profa. Caroline Rodrigues Vaz, Dra.

Florianópolis

2020

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

Luna, Tiago Ferrari

A influência dos sistemas de compartilhamento na
transição para carros elétricos / Tiago Ferrari Luna ;
orientador, Mauricio Uriona Maldonado, coorientador,
Caroline Rodrigues Vaz, 2020.

167 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Sistemas de
compartilhamento de carros. 3. Carros elétricos. 4.
Transições para sustentabilidade. 5. Dinâmica de Sistemas.
I. Uriona Maldonado, Mauricio. II. Rodrigues Vaz,
Caroline. III. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. IV.
Título.

Tiago Ferrari Luna

A influência dos sistemas de compartilhamento na transição para carros elétricos

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

Prof.(a) Flávia Luciane Consoni de Mello, Dr(a).
Universidade Estadual de Campinas

Prof. Minelle Enéas da Silva, Dr.
La Rochelle Business School

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.
Coordenador do Programa

Prof. Mauricio Uriona Maldonado, Dr.
Orientador

Florianópolis, 24 de abril de 2020.

Este trabalho é dedicado a todos que buscam um mundo mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a orientação do professor Mauricio e os ensinamentos que levarei para toda a minha vida, principalmente sobre a Dinâmica de sistemas que mudou a forma como enxergo o mundo. Também a professora Caroline com quem trabalhei desde o início do mestrado, sendo minha co-orientadora, ensinando sobre carros elétricos - o qual eu não sabia nada quando entrei.

Agradeço a professora Flávia, o qual eu já era fã antes de conhecê-la, pelas suas críticas construtivas e ensinamentos que me fizeram refletir e aprender mais sobre veículos elétricos. Agradeço também ao professor Minelle, o qual vêm trabalhando conosco desde 2018 em pesquisas sobre o VAMO, e que com suas críticas construtivas e contribuições nos renderam uma publicação científica de alto impacto.

Agradeço aos meus colegas do SINERGIA: Camila, Cosme, Kleber, Jéssica, Rafael, Tainara, Timothy e Viviane; pelas diversas contribuições ao meu trabalho, pelas horas e dias de discussões que tivemos tentando entender o que eram os *frameworks* das Transições sustentáveis, como melhorar ou consertar um problema no modelo de Dinâmica de Sistemas e, principalmente, pelo apoio nos altos e baixos que temos na pós-graduação.

Agradeço a minha família pelo apoio e incentivo de fazer um mestrado, pois sem eles eu não teria conseguido. E agradeço, especialmente, minha namorada Gabrielly que me deu suporte, apoio, incentivo e que estava sempre ao meu lado nos piores e melhores momentos.

*“We know we’ll run out of dead dinosaurs
to mine for fuel and have to use sustainable
energy eventually, so why not go
renewable now and avoid increasing risk
of climate catastrophe?”
(Elon Musk, 2018)*

RESUMO

O Aquecimento Global por gases de efeito estufa, a concentração de partículas finas que causam poluição do ar e a segurança energética preocupam os políticos e cientistas. Uma das principais fontes desses problemas é a utilização do carro com motor à combustão. Os carros elétricos surgem como uma possibilidade de mitigação ou extinção desses problemas. Entretanto, a transição para esta tecnologia é complexa, visto que os carros fazem parte de um amplo sistema sócio-técnico constituído por diversos atores, infraestruturas, instituições e artefatos, onde a interação entre eles surgem barreiras que precisam ser mitigadas para que aconteça a transição para a solução tecnológica emergente. Portanto, o objetivo desse estudo é demonstrar a influência dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos no processo de transição para carros elétricos. Este trabalho foi dividido em três artigos: (1) uma revisão de literatura pelo método SYSMAP buscando identificar os principais fatores que influenciam esta transição. Foram identificados três principais fatores: os atores, tecnologias e políticas voltadas para esta transição. A divergência de interesses entre os atores perante a escolha tecnológica e objetivos na transição criam barreiras que precisam ser mitigadas por meio de políticas de incentivo financeiro ou experimentação no nicho, como os sistemas de compartilhamento de carros elétricos (SCCE). Os sistemas de compartilhamento de carros elétricos são, além de uma alternativa de transporte, uma atividade a nível de nicho para experimentação pelos usuários, influenciando sua opinião no processo de adoção de carros elétricos. Por esta razão, o segundo artigo (2) é complementar à revisão de literatura identificando as barreiras existentes que limitam a adoção dos carros elétricos e como os sistemas de compartilhamento de carros podem ajudar a mitigá-las, utilizando a MLP como framework analítico para compreender a existência dessas barreiras e seu nível de atuação. Foram identificadas 29 barreiras, das quais 17 são passíveis de mitigação pelos sistemas de compartilhamento de carros elétricos, principalmente as de cunho psicológico, visto que a experimentação possibilita os usuários a testarem a tecnologia com baixo custo. E por último, (3) foi realizada uma modelagem em Dinâmica de Sistemas através de uma abordagem prospectiva para estimar o impacto da frota de carros elétricos compartilhados na redução das emissões de CO₂ com geração de cenários até o ano de 2040. Neste estudo foram utilizados dados de um sistema real, o projeto VAMO na cidade de Fortaleza. Identificou-se que com o aumento da frota do VAMO, houve impacto na redução da frota de carros comuns devido a utilização do carro compartilhado, assim como pela influência da frota VAMO de carros elétricos no aumento da frota de carros elétricos comuns, culminando numa redução das emissões de CO₂.

Palavras-chave: Sistema de compartilhamento de carros. Carros elétricos. Transições para sustentabilidade.

ABSTRACT

Global warming caused by greenhouse gases, the concentration of fine particles that cause air pollution and energy security are of concern to politicians and scientists. One of the main sources of these problems is the use of the combustion engine cars. Electric cars are a possibility to mitigate or eliminate these problems. However, the transition to this technology is complex, since cars are part of a broad socio-technical system made up of different actors, infrastructures, institutions and artifacts, where the interaction between them creates barriers that need to be mitigated for the transition to happen for the emerging technological solution. Therefore, the aim of this study is to demonstrate the influence of electric carsharing schemes on the transition to electric cars. This work was divided into three articles: (1) a literature review using the SYSMAP method, seeking to identify the main factors that influence this transition. Three main factors were identified: the actors, technologies and policies aimed at this transition. The divergence of interests between the actors in the face of technological choice and objectives in the transition creates barriers that need to be mitigated through policies of financial incentive or niche experimentation, such as electric carsharing schemes (SCCE). Electric carsharing schemes are, in addition to a transport alternative, a niche activity for experimentation by users, influencing their opinion in the process of adopting electric cars. For this reason, the second article (2) is complementary to the literature review identifying the existing barriers that limit the adoption of electric cars and how carsharing schemes can help to mitigate them, using MLP as an analytical framework to understand the existence of these barriers and their level of performance. 29 barriers were identified, of which 17 are subject to mitigation by electric carsharing schemes, especially those of a psychological nature, since experimentation allows users to test the technology at low cost. And finally, (3) a modeling in Systems Dynamics was carried out through a prospective approach to estimate the impact of the fleet of shared electric cars in reducing CO₂ emissions by generating scenarios until the year 2040. In this study, we used data from a real system, the VAMO project in the city of Fortaleza. It was identified that with the increase of the VAMO fleet, there was an impact in the reduction of the fleet of ordinary cars due to the use of the shared car, as well as by the influence of the VAMO fleet of electric cars in the increase of the fleet of ordinary electric cars, culminating in a reduction of CO₂ emissions.

Keywords: Carsharing scheme. Electric cars. Sustainable transitions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Crescimento da frota brasileira de carros leves.	19
Figura 2 – Processo de transição sócio-técnica pela MLP	37
Figura 3 – Curva "S"da Difusão de Inovação	39
Figura 4 – Frota de carros elétricos em circulação mundialmente	46
Figura 5 – Participação de mercado dos carros elétricos por país.	47
Figura 6 – Total de modelos de CEB e CEHP anunciados pelas montadoras. . .	48
Figura 7 – Frota brasileira de CE	49
Figura 8 – Padrões de ajustar-esticar.	51
Figura 9 – VAMO Fortaleza	58
Figura 10 – Tarifas do VAMO	59
Figura 11 – Etapas da metodologia	60
Figura 12 – Seleção de artigos para leitura	61
Figura 13 – Representação de um diagrama de estoque e fluxo	63
Figura 14 – Processo de modelagem.	64
Figura 15 – Metodologia SYSMAP	71
Figura 16 – Total de vendas mundiais de CEB vs CEHP.	77
Figura 17 – Tipos de tecnologias e sua função na transição	79
Figura 18 – Tipos de políticas	85
Figura 19 – Principais atores - contra ou a favor da transição	88
Figura 20 – Perspectiva de Multiníveis do sistema de mobilidade individual . . .	99
Figura 21 – Representação esquemática do sistema sócio-técnico de auto- mobilidade.	100
Figura 22 – Simplified system dynamics model structure.	124
Figura 23 – Historical and simulated data - behavior reproduction test.	128
Figura 24 – Sensitivity to Bass parameters for EV adoption.	129
Figura 25 – Results of the multivariate policy analysis.	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Palavras-chave utilizadas na busca da revisão sistemática.	61
Quadro 2 – Barreiras para carros elétricos.	104
Quadro 3 – Barreiras mitigadas por SCCE	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 2 – Exogenous model parameters	127
Tabela 3 – Exogenous model parameters	128
Tabela 4 – Experimental design – sensitivity analysis	129
Tabela 5 – Sensitivity analysis results for each scenario by 2040	130
Tabela 6 – Experimental design – POLICY analysis	131
Tabela 7 – Policy analysis results for each scenario by 2040.	132
Tabela 8 – Artigos lidos	164

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAU	<i>Business as Usual</i>
CCI	Carro com motor de combustão interna
CE	Carro elétrico
CEB	Carro elétrico de bateria
CECC	Carro elétrico com célula de combustível
CEH	Carro elétrico híbrido
CEHP	Carro elétrico híbrido <i>plug-in</i>
CNH	Carteira Nacional de Habilitação
CV	<i>Conventional vehicle</i>
DS	Dinâmica de Sistemas
EV	<i>Electric vehicle</i>
IE	<i>Institutional Entrepreneur</i>
IL	<i>Institutional Logics</i>
ILS	<i>Institutional Logics of Sustainability</i>
IPCC	<i>International Panel for Climate Change</i>
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
MAD	<i>Mean Absolute Deviation</i>
MLP	<i>Multilevel Perspective</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PD	Pesquisa e Desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PPP	<i>Public-private partnerships</i>
RMSE	<i>Root Means Square Error</i>
SCC	Sistemas de compartilhamento de carros
SCCE	Sistemas de compartilhamento de carros elétricos
SDG	<i>Sustainable Development Goals</i>
SPS	Sistemas de produto-serviço
TIS	<i>Technological Innovation Systems</i>
VAMO	Veículos alternativos para mobilidade
VKT	<i>Vehicle-kilometers traveled</i>
VQV	Veículo-quilômetros viajados
WAP	<i>Working Age Population</i>
ZEV	<i>Zero Emission Vehicles</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	18
1.2	OBJETIVOS	21
1.2.1	Objetivo Geral	21
1.2.2	Objetivos Específicos	21
1.3	JUSTIFICATIVA	21
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	26
2	TRANSIÇÕES PARA SUSTENTABILIDADE	28
2.1	TRANSIÇÕES SÓCIO-TÉCNICAS	29
2.2	PERSPECTIVA DE MULTINÍVEIS	33
3	PANORAMA DA MOBILIDADE ELÉTRICA	42
3.1	ESTADO ATUAL	44
3.2	SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO DE CARROS	53
3.2.1	Projeto VAMO	57
4	METODOLOGIA	60
4.1	LEVANTAMENTO DO CORPUS BIBLIOGRÁFICO	60
4.2	ANÁLISE DA COLETÂNEA	62
4.3	IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS	62
4.4	IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS MITIGADAS POR SCCE	63
4.5	CONSTRUÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO	63
4.6	VALIDAÇÃO DO MODELO	65
4.7	ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS	66
5	ARTIGO 1 - O ESTADO DA ARTE EM TRANSIÇÕES SÓCIO-TÉCNICAS PARA CARROS ELÉTRICOS: ATORES, TECNOLOGIAS E POLÍTICAS	67
5.1	INTRODUÇÃO	67
5.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	68
5.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	71
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
5.4.1	Expectativas sobre as tecnologias de carros elétricos	72
5.4.1.1	Críticas ao modelo de posse do carro	79
5.4.2	Políticas públicas	80
5.4.3	Atores estabelecidos e emergentes	85
5.5	CONCLUSÃO	88
6	ARTIGO 2 - BARREIRAS PARA A TRANSIÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS: SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO COMO FATOR MITIGADOR	93

6.1	INTRODUÇÃO	93
6.2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	95
6.2.1	Transições sócio-técnicas	96
6.2.2	Sistemas de compartilhamento de carros	101
6.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	102
6.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	103
6.4.1	Barreiras tecnológicas	103
6.4.2	Barreiras psicológicas	105
6.4.3	Barreiras financeiras	106
6.4.4	Barreiras de infraestrutura	106
6.4.5	Barreiras institucionais	107
6.4.6	Barreiras sócio-técnicas	109
6.4.7	Sistemas de compartilhamento de carros elétricos para mitigar barreiras	111
6.5	CONCLUSÃO	113
7	ARTIGO 3 - THE INFLUENCE OF E-CARSHARING SCHEMES ON ELECTRIC VEHICLE ADOPTION AND CARBON EMISSIONS: AN EMERGING ECONOMY STUDY	115
7.1	INTRODUCTION	115
7.2	LITERATURE REVIEW	117
7.2.1	The role of government in carsharing implementation: An overview	117
7.2.2	Theorizing on carsharing implementation: Insights from institutional logic	120
7.3	THE SYSTEM DYNAMICS MODEL FOR THE VAMO INITIATIVE	122
7.3.1	The VAMO Initiative	122
7.3.2	System dynamics model	122
7.3.2.1	Conventional light vehicle – CV module	123
7.3.2.2	Electric vehicle - EV module	124
7.3.2.3	E-carsharing - VAMO module	124
7.3.2.4	Working Age population module	125
7.3.2.5	CO ₂ emissions module	125
7.3.3	Policies to be tested	126
7.4	RESULTS	126
7.4.1	Model calibration, testing, and sensitivity analysis	126
7.4.2	Policy analysis	130
7.5	DISCUSSION	133
7.6	CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS	135
8	CONCLUSÃO	137
	REFERÊNCIAS	142

APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DOS AUTORES DOS ARTIGOS . .	163
APÊNDICE B – ARTIGOS DA REVISÃO DE LITERATURA	164

1 INTRODUÇÃO

O Aquecimento Global é o maior problema do presente (UN, 2019a). Estima-se que as atividades humanas causaram o aumento da temperatura global de $1^{\circ}C$ acima do nível do período pré-industrial e deve atingir o valor de $1,5^{\circ}C$ entre os anos de 2030 e 2052 se as emissões de gases de efeito estufa pela queima de combustíveis fósseis continuarem a crescer no ritmo atual (IPCC, 2018).

Segundo o Painel Inter-governamental sobre Mudanças Climáticas ou *International Panel for Climate Change* (IPCC) em inglês, modificações radicais terão que ocorrer no modo como a sociedade funciona e utiliza seus recursos para poder manter o nível de aquecimento em apenas $1,5^{\circ}C$ nas próximas décadas. Para o IPCC, essas modificações são importantes para evitar efeitos drásticos de riscos relacionados a saúde, seguridade de comida, suprimento de água, segurança humana, crescimento econômico e o sustento da vida (IPCC, 2018). Outro efeito importante do aquecimento do planeta é o derretimento das geleiras que aumentarão o nível das águas e afetarão grande parte da população mundial, visto que as grandes cidades estão próximas dos oceanos e seu desaparecimento incorreria em problemas significantes de migrações e perda de terras produtivas (BORGERSON, 2008; UN, 2018).

Apesar de não ser o gás com maior potencial de efeito estufa, o gás carbônico é considerado como principal indicador e símbolo comparativo dessas emissões devido ao seu grande volume emitido para a atmosfera (UN, 2019a; IEA, 2018b). Diversas atividades antrópicas emitem CO_2 para a atmosfera, entretanto, a principal fonte das emissões de gases de efeito estufa, como o gás carbônico (CO_2) e o gás metano (CH_4), é a queima de combustíveis fósseis para a geração de energia, seja energia elétrica ou energia para os meios de transporte (IEA, 2018b). Somente as emissões de CO_2 geradas pelo transporte somaram 28% do total mundialmente em 2018 (IEA, 2018b). Já no Brasil, o subsetor de transporte rodoviário em 2014 foi responsável por cerca de 48% das emissões do setor energético (MCTIC, 2016). Por esta razão é importante reduzir as emissões de CO_2 em prol da redução do efeito estufa.

Além de causar um efeito estufa que aquece o planeta, a queima dos combustíveis fósseis também provoca poluição nas cidades. Um estudo realizado pelo Instituto de Efeitos na Saúde identificou que mais de 95% da população mundial está respirando ar considerado de má qualidade para a saúde (HEI, 2018). E mais da metade da população que vive em regiões urbanas estão expostas a níveis de poluição no ar 2,5 vezes maiores que o padrão de segurança recomendado pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2018).

Esta situação deve se agravar futuramente devido a aglomeração e migração das pessoas em áreas urbanas. Sabe-se que globalmente 55% da população vive em áreas urbanas e é estimado que para o ano de 2050, além de a população ser maior

em quantidade absoluta, aproximadamente 68% da população mundial viverá nessas áreas (UN, 2018). Se não houver mudanças, estas pessoas sofrerão de problemas respiratórios cada vez piores e maior número de mortes prematuras (WHO, 2018).

Existe também a preocupação dos países com sua segurança energética, pois dependem da importação dos combustíveis fósseis e recebem a volatilidade nos preços e oferta que podem afetar a qualidade de vida da população (BOON; BAKKER, 2016; DIJK, 2016; WESSELING, 2016). Além do fato de os combustíveis fósseis não serem considerados renováveis, ou seja, se esgotarão em algum momento (BARBIERI, 2016).

Em síntese, a utilização de combustíveis fósseis preocupa políticos, cientistas, dentre outras pessoas e países mundialmente pelo seu impacto no aquecimento global, poluição do ar e por ser um recurso finito que poderá se esgotar, deixando problemas com a geração de energia para transporte e eletricidade. O setor de transportes, sendo um dos principais causadores desses problemas e sendo altamente dependente da utilização de combustíveis fósseis, possui algumas possíveis soluções que estão sendo discutidas hoje, como o aumento do transporte público e a utilização de carros elétricos.

Os dois principais fatores que influenciam as emissões por combustíveis fósseis são: a mudança total no volume de viagens e a eficiência do combustível pelo modo de viagem (TRAN *et al.*, 2012). Com mais carros, maior a poluição e como a eficiência dos motores de combustível fóssil é limitada fisicamente, a possibilidade de redução de emissões é limitada (CATON, 2017).

Uma das possíveis formas de redirecionamento do modo como as atividades humanas são realizadas, tentando mitigar ou evitar estes problemas é através de soluções como inovações tecnológicas com viés sustentável, como o Carro elétrico (CE). Com a tentativa de criação, desenvolvimento e difusão dessas tecnologias aparecem dificuldades no caminho não apenas de cunho tecnológico ou técnico, mas também barreiras e restrições sociais e institucionais (STRUBEN; STERMAN, 2008).

Tecnologias estabelecidas, como o Carro com motor de combustão interna (CCI), estão altamente conectadas com as práticas dos usuários e seu estilo de vida, além de tecnologias complementares, modelos de negócios, cadeias de valor, estruturas organizacionais, regulações, estruturas políticas e institucionais (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012) criando uma 'dependência de trajetória' e fatores que prendem, tanto o lado da demanda quanto da oferta, a utilização de uma certa tecnologia. Dependências de trajetória por uma tecnologia podem criar barreiras à entrada de produtos ou serviços substitutos, desacelerando o processo de transição (PORTER, 2008).

A mudança de carros com motores de combustão interna para carros elétricos não é momentânea. Este tipo de transição de longo prazo, multidimensional e com processos de transformações fundamentais, no qual sistemas sócio-técnicos estabelecidos mudam para meios de produção e consumo mais sustentáveis, é chamada de

transição para sustentabilidade¹ (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

Num sistema sócio-técnico, existe uma diversidade de atores, cada qual com seus interesses próprios (BAKKER, 2014). O governo é um dos principais atores no sistema sócio-técnico ao poder utilizar de políticas públicas para redirecionar as ações dos demais atores em torno de um objetivo em comum, facilitando uma transição para sustentabilidade (NILSSON; NYKVIST, 2016; BERGEK *et al.*, 2008).

A interferência do governo com políticas se faz necessária e é justificada devido às externalidades negativas causadas pela utilização da tecnologia dominante atualmente, como a poluição do ar, e às falhas de mercado em cumprir a funcionalidade do bem comum (GOLOVE; ETO, 1996). Mesmo que o governo isoladamente não possua capacidade para fazer uma transição ocorrer, ele tem um papel fundamental como suporte para o desenvolvimento de tecnologias de nicho e aumentar o reconhecimento do público diante de uma nova tecnologia (HUSSAINI; SCHOLZ, 2017), além do auxílio de políticas de incentivo voltadas para a difusão e adoção da tecnologia (XUE *et al.*, 2016; LAM *et al.*, 2018). Um dos exemplos de políticas mais citados na literatura sócio-técnica sobre carros elétricos, entretanto com poucos estudos sobre seu impacto, é o estímulo aos Sistemas de compartilhamento de carros elétricos (SCCE).

Os SCCE são uma possibilidade de quebrar estas barreiras de transição ao oferecer possibilidade de experimentação e teste por parte dos usuários ao mesmo tempo que cria um nicho de mercado que ajuda o desenvolvimento de infraestrutura e aprendizado para a tecnologia (SENGERS; WIECZOREK; RAVEN, 2016; DOWLING; KENT, 2015; NILSSON; NYKVIST, 2016). São considerados Sistemas de produto-serviço (SPS), pois oferecem a utilização do produto como um serviço ao invés da sua aquisição pelo consumidor, permitindo a experimentação com custos relativamente baixos (BAINES *et al.*, 2007). Visto que o carro é um ativo de alto custo, os *e-carsharings*, como assim são chamados estes sistemas de compartilhamento, também oferecem a mitigação do inconveniente financeiro dos carros elétricos ao distribuir seu alto custo inicial entre seus usuários (WAPPELHORST *et al.*, 2014).

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

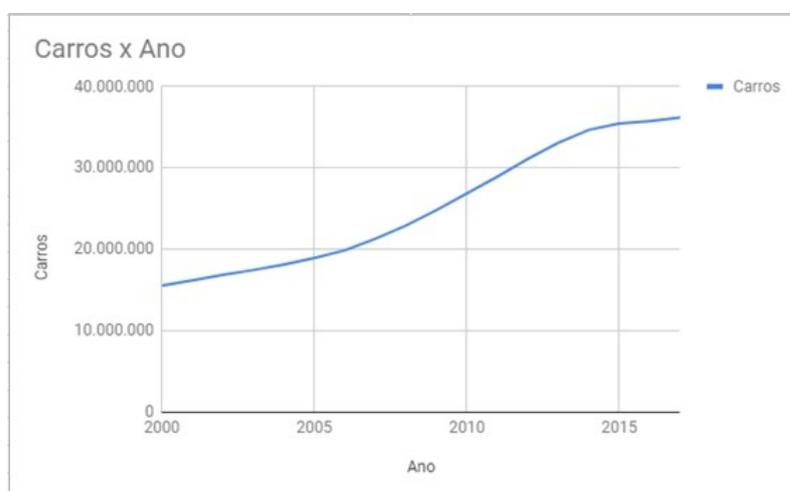
Com a afluência socioeconômica da população, maior a quantidade de carros per capita (WU; ZHAO; OU, 2014). O crescimento da frota de automóveis no Brasil segue uma curva exponencial com taxa média de 5,13% ao ano, comparando valores desde 2002 até 2017. Em apenas 15 anos, a frota brasileira mais que dobrou, passando de pouco mais de 15 milhões de automóveis no ano 2002 para mais de 36 milhões em 2017, conforme mostrado na figura 1 (ANFAVEA, 2018). Enquanto isso, a utilização de transporte público em porcentagem da população vem reduzindo nos últimos anos

¹ Considera-se esse tipo de transição como 'para sustentabilidade', pois envolve os três aspectos do tripé da sustentabilidade: social, ambiental e econômico (BARBIERI, 2016).

(NTU, 2018). E esta é uma tendência que seguirá, ao menos nos próximos anos, devido a má qualidade dos sistemas de transporte públicos, baixo investimento, baixa flexibilidade, dentre outros fatores (GEELS, 2018; MARX *et al.*, 2015).

O constante crescimento da frota de carros é um dos principais problemas dos grandes centros urbanos, pois são responsáveis por: (1) grande parte das emissões dos gases de efeito estufa; (2) acidentes letais; (3) problemas de mobilidade devido a congestionamento; (4) incremento de resíduos sólidos pela falta de disposição final dos veículos e suas partes; (5) pelas emissões de partículas finas responsáveis por efeitos negativos na saúde pública; (6) utilização de espaço para estacionamento nas ruas; (7) ruídos do motor à combustão; e (8) dependência de combustíveis fósseis que não são renováveis e se tornarão escassos em algum momento (BANISTER, 2008; SHAHEEN; COHEN, 2012; SANTOS; BEHRENDT; TEYTELBOYM, 2010; SANTOS; BEHRENDT; MACONI *et al.*, 2010; AUTODATA, 2011; KARAGULIAN *et al.*, 2015; VAZ; URIONA-MALDONADO, 2017). Esses efeitos colaterais negativos da utilização desta tecnologia são chamados de externalidades negativas (SANTOS; BEHRENDT; MACONI *et al.*, 2010). Ou seja, efeitos não desejados que ocorrem por sua utilização, seja de forma direta ou indireta. Ressalta-se que, para os problemas de poluição do ar local,

Figura 1 – Crescimento da frota brasileira de carros leves.



Fonte: Anfavea (2018).

preocupação com segurança energética e emissão de gases de efeito estufa, especialmente nas áreas urbanas, o setor de transportes é um dos principais contribuidores (IEA, 2018b; KARAGULIAN *et al.*, 2015). O aumento com a preocupação sobre as emissões desse setor ressaltam a necessidade de ações que resultem numa transição para sustentabilidade, considerando os diversos grupos sociais e países, de forma que seja viável economicamente e ambientalmente (MORADI; VAGNONI, 2018). Uma transição para sustentabilidade é considerada sócio-técnica, pois envolve aspectos

sociais e tecnológicos, com possibilidade de interação entre uma grande diversidade de atores e convergências de regimes sócio-técnicos diferentes, por exemplo o de energia elétrica e o de mobilidade no caso dos carros elétricos (GEELS, 2018).

A transição para os carros elétricos é pertinente para redução das emissões de CO_2 , principal indicador mensurador do aquecimento global, e poluição das áreas urbanas, além de ajudar na garantia da segurança energética de um país ao combinar com sistemas de *smart grid* e fontes renováveis. Todavia, baseando-se na revisão de literatura realizada para esta dissertação, fora encontrado que a maior parte das pesquisas de transições sócio-técnicas para carros elétricos está focada no continente europeu, com poucos estudos aplicados em países considerados do sul global, que possuem características socioeconômicas diferentes e, portanto, podem possuir trajetórias tecnológicas diferentes em termos de processo e resultado. Portanto, é preciso compreender quais são as prioridades para uma transição para sustentabilidade, que podem diferir substancialmente em contextos geográficos distintos (KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019).

Alguns estudos com a lente teórica das transições sócio-técnicas foram aplicadas no Brasil, como Mendonça, Cunha e Nascimento (2018) que estudou o Programa Veículo Elétrico da Itaipu Brasil com uma abordagem qualitativa a partir da Perspectiva de multiníveis e Marx *et al.* (2015) que analisou a difusão da mobilidade urbana sustentável no Brasil em quatro nichos: mobilidade elétrica, carros compartilhados, transporte intermodal e inovação no transporte público, também de forma qualitativa a partir da Perspectiva de multiníveis. Estudos de caráter quantitativo e prospectivo podem auxiliar na compreensão do desenvolvimento do processo de transição, mas ainda são poucos, deixando uma lacuna de pesquisa a ser preenchida.

Destaca-se o estudo de Schlüter e Weyer (2019) que identificou mudanças na opinião dos usuários de SCCE em favor da aquisição de carros elétricos, mas esta limitação não ajuda a compreender os impactos dinâmicos no processo de transição. Esta limitação corrobora com as críticas e lacunas de pesquisa apresentadas por Firnkorn e Shaheen (2016) acerca dos estudos sobre sistemas de compartilhamento de carros, os quais segundo os autores focam em resultados estáticos, o que dificulta a compreensão e visualização dos impactos ao longo do tempo, visto que pequenas mudanças na influência de difusão de uma tecnologia no curto prazo podem causar grandes diferenças no longo prazo.

As transições são uma mudança profunda na sociedade, possuindo características policêntricas, de multi-atores, multifatores e multiníveis com escalas temporais e espaciais que variam (GEELS; SCHOT, 2007; PAPACHRISTOS, 2018). Por ser um sistema complexo que envolve diversos atores, fatores, níveis e temporalidade, a transição para carros elétricos é difícil, complexa e levará tempo (GEELS, 2002). Diversos estudos citam os sistemas de compartilhamento de carros elétricos como modificado-

res de comportamento e ampliadores da difusão de carros elétricos (e.g. Krause *et al.* (2013), Dowling e Kent (2015), Schlüter e Weyer (2019) e BNEF (2018)), mas não foi encontrado nenhum estudo quantitativo de modelagem matemática que propusesse uma relação entre estes sistemas, buscando compreender os impactos ao longo do tempo da sua inserção em dado contexto social. Portanto, diante dos desafios citados, esta dissertação propõe procurar entender os fatores e efeitos que envolvem esta transição sócio-técnica com as seguintes perguntas de pesquisa:

Quais fatores influenciam o processo de transição sócio-técnica para carros elétricos? Como os sistemas de compartilhamento podem influenciar o processo de transição? Quais os impactos do sistemas de compartilhamento na redução das emissões?

Cada pergunta de pesquisa citada acima está relacionada diretamente a um artigo deste compêndio.

1.2 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.2.1 Objetivo Geral

Demonstrar a influência dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos no processo de transição para carros elétricos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos para resultar no cumprimento do objetivo geral são:

- a) Explorar como a literatura de transições sócio-técnicas compreende o fenômeno dos carros elétricos e os fatores que influenciam sua transição;
- b) Discutir como os sistemas de compartilhamento podem mitigar as barreiras da transição para carros elétricos;
- c) Estimar o impacto dos sistemas de compartilhamento na redução das emissões de CO_2 por meio de cenários simulados.

1.3 JUSTIFICATIVA

Uma vez que a maior parte das atividades industriais e de serviços são providas pelo transporte, seja de pessoas ou materiais, este é um dos setores mais cruciais para o desenvolvimento sustentável (EGILMEZ; TATARI, 2012). Para reduzir os problemas causados por este setor, faz-se importante a transição na sociedade de CCI com emissões de gases e partículas poluidoras para carros com zero emissão local e

possibilidade de combinação com fontes renováveis e não poluidoras de geração de energia elétrica (NIEUWENHUIS, 2018).

Por esta razão, o transporte se apresenta como uma das áreas de pesquisa que mais atrai interesse na literatura científica, bem como das ações que possam aproximá-lo de um cenário mais sustentável (S. COSTA; RAMOS; SILVA, 2007). Para o transporte de passageiros, o carro tem sido o principal meio de locomoção com sua velocidade alta, possibilidade de dirigir longas distâncias e sua imagem de um símbolo de liberdade, tornando-se um ícone do estilo de vida moderno (HOOGMA, 2002). No entanto, os carros implicaram em inúmeros problemas sociais atrelados a sua posse e utilização, fazendo necessária uma transição para uma tecnologia mais sustentável.

Neste sentido, a literatura aponta como possíveis soluções uma transição para o transporte público (ERCAN; ONAT; TATARI, 2016; STERMAN, 2000); a utilização de veículos movidos a eletricidade (BARAN; LEGEY, 2013); e por fim, o compartilhamento de carros, tanto do tipo *free-floating* como o Uber, quanto do tipo fixado com estações distribuídas ao redor da cidade como é o caso do VAMO (BECKER; CIARI; AXHAUSEN, 2017; PEREIRA, 2018).

A necessidade de intercâmbio de modais ou veículos no transporte público (SANTOS; BEHRENDT; MACONI *et al.*, 2010), baixa qualidade percebida desse tipo de transporte (LUKE, 2018), os valores de liberdade e agilidade relacionados ao carro (HOOGMA, 2002) e valores altos de investimentos necessários para obter um impacto com incertezas de sua viabilidade (ERCAN; ONAT; TATARI, 2016) fazem do transporte público deixar de ser a primeira opção na escolha das pessoas. Além das características de dependência de trajetória e *lock-ins* do sistema de mobilidade que por influência de seus atores (como o governo e a indústria automotiva) preferem manter a mobilidade como hoje é, com a ideia de posse de um carro (GEELS, 2018). Esses fatores fazem do aumento considerável da utilização do transporte público inviável nos próximos anos. Os SCCE possuem benefícios mistos de transporte público ao fornecer a possibilidade de diversas pessoas utilizarem um mesmo veículo num dia, com o transporte privado.

Já os carros elétricos são inovações radicais do nicho que substituem componentes do carro, mas não alteram substancialmente o papel da mobilidade automotiva no sentido mais amplo do sistema de mobilidade e é por isso que a indústria automotiva e o governo preferem este caminho para obter uma profunda descarbonização (GEELS, 2018). Para sair deste caminho, o compartilhamento de carros pode ser o primeiro passo para a mudança do desejo de se obter a posse do carro, abrindo possibilidade para outras formas de transporte público nas próximas gerações (KÖHLER; TURNHEIM; HODSON, 2018). Alguns outros países como Irlanda, Holanda e Portugal estão focando outras estratégias de mobilidade como a desses sistemas para mitigar os problemas citados anteriormente do transporte urbano e poluição (WELLS;

NIEUWENHUIS, 2012).

Além de serem substitutos diretos, os SCCE possuem externalidades positivas que ajudam a mitigar barreiras e influenciar a adoção de carros elétricos comuns, acelerando o processo de transição (SCHLÜTER; WEYER, 2019). Os SCCE podem, portanto, acelerar o processo de transição para carros elétricos ao prover experimentação no nicho por parte dos usuários e outros atores do sistema sócio-técnico que conseguem avaliar seus aspectos e caminhos tecnológicos como efeito de externalidade positiva, além dos seus objetivos diretos de prover outra opção de mobilidade urbana (SCHLÜTER; WEYER, 2019; SHAHEEN; MARTIN; BANSAL, 2015; FIRNKORN; SHAHEEN, 2016). Outra externalidade positiva é o impacto na redução de frota de carros, visto que cada carro compartilhado pode ser utilizado por mais de um usuário, assim substituindo mais de um carro nas ruas (MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010) e, conseqüentemente, impacto na redução de CO_2 ao estimular a substituição para CE e reduzir o total de carros na frota. Esta dissertação apresenta um estudo baseado em dados reais do caso do projeto VAMO na cidade de Fortaleza, Ceará. Com este estudo de modelagem baseado em dados empíricos, faz-se a mensuração e avaliação dos impactos de longo prazo desse sistema, visando complementar o conhecimento teórico acerca dos SCCE e seus impactos dinâmicos.

A transição para sustentabilidade não é simples, visto que contempla novas tecnologias mais sustentáveis que realizam uma função social importante de setores como os de energia, suprimento de água ou transportes (GEELS, 2002). Ao envolver redes de atores, firmas e outras organizações, além de instituições (regras, normas e padrões sociais e técnicos), artefatos materiais e conhecimento (GEELS, 2004; SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Estas mudanças dependem, além da tecnologia, também das relações sociais, incluindo mudanças nas práticas dos usuários e institucionais, como por exemplo o abastecimento dos veículos, sistemas de suprimento de energia, carteira de motorista, seguro do carro, entre outros fatores (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012; SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Por isto, faz-se necessário investigar mais a fundo os impactos dos SCCE neste processo de difusão de CE.

As dinâmicas de adoção para veículos de combustíveis alternativos são complexas, devido à importância da base instalada da indústria automotiva e quantidade de veículos já existentes (STRUBEN; STERMAN, 2008). A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia que serve para melhorar o conhecimento sobre sistemas complexos (STERMAN, 2000). Ela também traz um importante arcabouço ferramental e conceitual para a compreensão de transições de sistemas sócio-técnicos e possui grande potencial de aplicação para pesquisas de transições, oferecendo oportunidade de modelagem matemática para esta área que é predominantemente qualitativa e baseada em estudos de caso (PAPACHRISTOS, 2018).

Apesar de seu crescente sucesso mundialmente, pouco se sabe na literatura

científica dos reais impactos de longo prazo do uso de SCCE no processo de transição para CE (SHAHEEN; COHEN *et al.*, 2017; SCHLÜTER; WEYER, 2019). Os SCCE têm mostrado impactos positivos na redução de Veículo-quilômetros viajados (VQV) e congestionamento, além de ter aumentado o uso de transportes complementares como o transporte público, bicicleta e caminha para o final da jornada de viagem (CERVERO, 2003; CERVERO; TSAI, 2004; MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010; SHAHEEN; BELL *et al.*, 2017). Entretanto, Firnkorn e Shaheen (2016) citam que um dos principais problemas nas pesquisas com sistemas de compartilhamento é que estas são estáticas, ou seja, realizam relatos e resultados específicos em dado contexto temporal, mas sem compreender sua evolução ao longo do tempo. A Dinâmica de Sistemas é um arcabouço teórico que pode ser utilizada para demonstrar o impacto dos SCCE na transição para CE e, conseqüentemente, nas reduções de CO_2 (PAPACHRISTOS, 2018; STRUBEN; STERMAN, 2008).

A Dinâmica de Sistemas já foi utilizada em estudos de difusão de carros de combustíveis alternativos e elétricos, por exemplo: Struben e Sterman (2008) e Benvenuti, Ribeiro e Uriona–Maldonado (2017). Este trabalho se diferencia dos anteriores ao estudar a influência dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos e seu impacto na difusão de carros elétricos comuns (ou não compartilhados) e conseqüente redução das emissões de CO_2 .

Para complementar a modelagem matemática, a utilização da Perspectiva de multiníveis pode funcionar como uma heurística útil para novas análises de modelagem matemática e direções de mudança surgentes (SLUISVELD *et al.*, 2018). A modelagem, portanto, vem crescendo na área de transições sócio-técnicas como uma metodologia de aplicação para entender estes sistemas complexos o qual a Dinâmica de Sistemas (DS) é harmônica (PAPACHRISTOS, 2018). Assim, a DS vem sendo utilizada nos estudos de transições sócio-técnicas para ajudar na compreensão e teste políticas de forma mais rápida e menos custosa do que na vida real, servindo como complemento para análises de cunho qualitativo, como a da Perspectiva de multiníveis.

Na literatura de transições para sustentabilidade existem diversas abordagens, como os Sistemas Tecnológicos de Inovação e a Perspectiva de Multiníveis (KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019). Para esta pesquisa, optou-se pela utilização do *framework* da Perspectiva de Multiníveis devido a sua visão macroscópica do sistema sócio-técnico, o qual engloba elementos das outras abordagens (GEELS, 2002; MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012; KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019). Este *framework* considera as transições como processos não-lineares de mudança que resultam das interações sociais e tecnológicas em três diferentes níveis: ambiente (macro), regime (meso) e nicho (micro), consistindo num importante ferramental teórico para compreensão das transições nos sistemas de mobilidade (MORADI; VAGNONI, 2018; GEELS, 2018).

Os carros elétricos, principalmente de bateria, são a tecnologia mais promissora

na substituição pelo carros com motor à combustão (IEA, 2018a). Entretanto, ainda são uma tecnologia que obteve sucesso considerável em apenas alguns países como Noruega e China, sendo considerada ainda em situação de nicho, carecendo de políticas para sua sobrevivência e desenvolvimento (IEA, 2018a,c). E cada um desses casos é específico às regiões e países, devido às características, interesses e objetivos econômicos, sociais, ambientais e políticos (CONSONI *et al.*, 2018; IRLE, 2019; OU; ZHANG, 2010; NILSSON; NYKVIST, 2016). Por isto, faz-se importante estudar como essa difusão tecnológica pode ocorrer em outros países, como é o caso do Brasil, que pode ajudar na compreensão e levar aprendizados e experiências úteis para outros países do sul global com características similares. Existe então a necessidade em aprimorar os estudos em transições sócio-técnicas para os países em desenvolvimento e focar mais nas dimensões de aprendizado e como transferir as tecnologias com sucesso para estes ambientes (HANSEN *et al.*, 2018; WIECZOREK, 2018).

Como ainda estão em nível de nicho, faz-se necessária uma pesquisa exploratória sobre carros elétricos com o intuito de entender como esta transição está ocorrendo em outros países. Principalmente em termos de atores, políticas e tecnologias, correspondendo ao primeiro objetivo. Os atores envolvidos estão no cerne do processo transitório, tanto a nível de nicho como de regime, interagindo entre eles e provocando mudanças no sistema (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012; GEELS; SCHOT, 2007). As relações entre os atores podem criar barreiras sócio-técnicas que desaceleram ou impedem o processo de mudança (BERGH; TRUFFER; KALLIS, 2011), necessitando de políticas que redirecionem a trajetória do sistema (BERGEK *et al.*, 2008; GEELS, 2005b). E por último, faz-se importante entender quais tecnologias são mais promissoras, de forma a reduzir a sensação de risco, aumentando os investimentos em desenvolvimento, pesquisa e produção tecnológica para os atores do sistema, auxiliando no processo decisório (NELSON, 1995).

Ressalta-se que o Brasil concordou, juntamente com outros países, a busca por melhorar seus indicadores de desenvolvimento sustentável, acordando com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS - *Sustainable Development Goals*, em inglês) da ONU (BRASIL, 2019). Entre os 17 objetivos propostos pela ONU, a adoção de carros elétricos pela sociedade pode impactar direta ou indiretamente em pelo menos quatro objetivos. São esses os objetivos número 3, Boa saúde e bem estar; número 7, Energia limpa e acessível; número 11, Cidades e comunidades sustentáveis; e número 13, Ação climática (UN, 2019b). Principalmente, a relevância dos resultados dessa dissertação acerca dos ODS são os resultados demonstrados no artigo 3 acerca da redução das emissões de CO_2 , principal indicador do aquecimento global.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta é uma dissertação por compêndio de artigos, no qual os capítulos 2 e 3 compreendem a fundamentação teórica desta dissertação e o capítulo 4 apresenta as etapas realizadas para as metodologias utilizadas nos artigos. Os capítulos 5, 6 e 7 compreendem os artigos que incumbem os resultados deste trabalho. E, por último, o capítulo 8 é o de conclusão deste trabalho.

O capítulo 2 apresenta os conceitos teóricos acerca de transições para sustentabilidade pertinentes para argumentação, fundamentação e compreensão do trabalho. Nele é explicado a origem desta lente teórica, que surgiu a partir das teorias evolucionárias da inovação. Apresenta-se também o termo de sistemas sócio-técnicos que envolve o processo de mudança para tecnologias mais sustentáveis, sendo assim chamadas de transições sócio-técnicas. E por último é apresentada a Perspectiva de Multiníveis, *framework* teórico heurístico-analítico que ajuda na compreensão do processo de transição e é utilizado no artigo 2 (capítulo 6).

O capítulo 3 apresenta o conceito e histórico dos carros elétricos, o conceito dos sistemas de compartilhamento de carros e o papel do governo perante este modelo de negócios, como também a relação entre os SCCE e os CE com auxílio da lente teórica das transições para compreender este fenômeno. Neste capítulo, na parte de sistemas de compartilhamento também é descrito o projeto VAMO de Fortaleza, que é o caso utilizado no artigo 3 deste compêndio.

O capítulo 4 descreve as etapas do procedimento metodológico utilizado para o cumprimento dos objetivos geral e específicos propostos. Este capítulo é breve e explicativo, evitando redundâncias de assuntos que são tratados na parte de metodologia dos artigos deste compêndio.

O artigo 1, referente ao capítulo 4 deste compêndio, é um estudo exploratório que buscou fazer uma varredura na literatura de transições sócio-técnicas sobre o que existe acerca de carros elétricos nesta lente teórica abrangente. Buscou-se compreender o que está sendo estudado e discutido sobre o assunto, que ainda é relativamente novo, visto que esta tecnologia ainda é considerada em nível de nicho mundialmente. Por isto, fora realizado a pesquisa em contexto global, sem limitar a busca por artigos em regiões específicas. Foram encontrados três grandes temas que estão sendo discutidos na literatura e são descritos e analisados neste artigo: qual a tecnologia de carros elétricos mais promissora, quais os atores envolvidos no processo de transição e quais tipos de políticas podem ser utilizados para acelerar este processo.

Já o artigo 2, referente ao capítulo 6, é fruto de informações e análises resgatadas do primeiro artigo, mas que não foram apresentadas ali. A partir do estudo exploratório do primeiro artigo, encontrou-se que uma das principais políticas que podem acelerar o processo de transição é a implementação de sistemas de compartilhamento de carros elétricos. Entretanto, a literatura discute pouco como esta relação

se dá. Portanto, esse artigo identifica quais são as principais barreiras para o processo de transição para carros elétricos e analisa como os sistemas de compartilhamentos de carros elétricos podem ajudar a mitigar ou quebrar essas barreiras para que se acelere o processo de transição.

O artigo 3, referente ao capítulo 7, apresenta os resultados de um modelo de simulação matemática por equações diferenciais em Dinâmica de Sistemas. Baseando-se nos resultados qualitativos apresentados no segundo artigo, são identificados os possíveis impactos dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos na transição para carros elétricos, redução de carros com motor à combustão interna e, consequentemente, redução nas emissões de CO_2 que causam o aquecimento global de forma dinâmica, ou seja, ao longo do tempo pelas relações não-lineares que existem nos processos de transição.

Por último, apresenta-se a conclusão que realiza o fechamento do trabalho, explicitando a relação dos três artigos com os objetivos propostos e o objetivo geral dessa dissertação. Também são apresentadas lacunas e oportunidades para novas pesquisas.

2 TRANSIÇÕES PARA SUSTENTABILIDADE

Com o aumento da preocupação pelo desenvolvimento sustentável, demandas de inovação que pudessem satisfazer as necessidades humanas mantendo o equilíbrio entre meio-ambiente, sociedade e economia se tornaram mais profundas (BARBIERI, 2016; SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Para entender e analisar as inovações para que possam satisfazer estas necessidades, necessita-se um olhar através de uma lente mais abrangente e complexa, que consiga abarcar os conceitos evoluídos ao longo do tempo. A literatura em transições sustentáveis veio para auxiliar neste aspecto.

De acordo com Smith, Voß e Grin (2010), este conceito evoluiu a partir das teorias de inovação e o processo desta evolução pode ser explicado como novas lentes teóricas sendo criadas para lidar com problemas cada vez mais complexos relacionados à inovação e problemas socioambientais.

Primeiramente, as ideias de inovação se pautavam, nos ciclos econômicos capitalistas e renovação tecnológica - e a ideia de “destruição criativa” - com a preocupação de crescimento econômico e geração de riqueza (SCHUMPETER, 1934).

Os estudos neomalthusianos de Meadows *et al.* (1972) mostraram que o mundo é finito, possui recursos finitos e a economia não pode crescer infinitamente, criticando o patamar de crescimento exponencial da época, influenciando um aumento com a preocupação ambiental. Desde preocupações com poluição *end-of-pipe*, para emissões de gases de efeito estufa e poluentes durante apenas não a utilização do produto, mas todo processo produtivo, de todo o ciclo de vida até a reavaliação de como uma dada função social poderia melhorar pela introdução de novos serviços ou bens (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). As teorias de inovação evoluíram para abarcar estes problemas cada vez mais complexos com teorias mais abrangentes. A lente teórica das transições para sustentabilidade veio para lidar com as complexidades dos problemas contemporâneos envolvendo a sustentabilidade e as inovações que podem ajudar a mitigá-las (SMITH; VOSS; GRIN, 2010).

Tem-se utilizado as inovações como possibilidade de tornar a sociedade mais sustentável (BARBIERI, 2016). A busca por inovações tecnológicas tem sido frequentemente considerada um importante elemento das políticas para o desenvolvimento sustentável, uma vez que o foco em inovações incrementais ao longo de trajetórias já estabelecidas não é suficiente para alcançar inovações de caráter ambientalmente responsáveis (NILL; KEMP, 2009). Não se pode enxergar as inovações de maneira isoladas, devido às suas complexidades inerentes de desenvolvimento e a importância dos impactos que elas possam trazer, não somente econômicos, mas também os impactos ambientais e sociais, envolvendo o *triple bottom line* por completo (SMITH; VOSS; GRIN, 2010; BARBIERI, 2016).

O desafio do desenvolvimento sustentável está indo em direção ao entendi-

mento deste em termos de ‘transições’ para sistemas sócio-técnicos mais sustentáveis, incluindo toda a cadeia de produção, processos, fluxos, atividades, estruturas, atores, instituições e não somente o produto ou serviço por si (SMITH; VOSS; GRIN, 2010; MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Abrangendo cada vez mais, expandindo os conceitos teóricos existentes, as transições para sustentabilidade enxergam os problemas de inovação para sustentabilidade como não apenas de uma tecnologia específica e de cunho tecnológico, mas também os fatores sociais (GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017).

Geels (2011) cita que as transições para sustentabilidade possuem três principais características que as diferenciam das outras transições que ocorreram ao longo da história. São elas: (1) orientação para objetivos previamente definidos, como por exemplo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (UN, 2019a), (2) as inovações não oferecem benefícios óbvios para os usuários, implicando necessidades de políticas, subsídios e regulações devido às falhas de mercado e (3) lidam com mecanismos de *lock-in* que criam uma dependência de trajetória, dificultando um movimento das organizações incumbentes para novas tecnologias. Por envolver fatores tecnológicos e sociais na análise desse processo de mudança e substituição tecnológica por inovações, estas transições são consideradas sócio-técnicas.

2.1 TRANSIÇÕES SÓCIO-TÉCNICAS

O desafio da inovação não mais repousa somente no potencial econômico, mas também nas mudanças sociais induzidas pelas atividades inovadoras e suas consequências para a sustentabilidade social e ambiental. Com isso, surge a necessidade de uma perspectiva analítica mais ampla (SMITH; VOSS; GRIN, 2010).

A reorientação estrutural da atividade econômica em direção a sustentabilidade tem sido rotulada como processos de mudança sócio-técnicas, transformação industrial e transições (sócio) tecnológicas (HEKKERT; NEGRO, 2009). Grandes setores da economia como o de suprimento de águas, suprimento de energias ou transportes podem ser conceitualizados como sistemas sócio-técnicos, pois envolvem redes de atores (indivíduos, empresas, entre outros) e instituições (normas, regulações e padrões sociais e técnicos), como também artefatos materiais (produtos e infraestruturas, por exemplo) e conhecimento (GEELS, 2004; MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

Uma tecnologia por si só não possui poder algum, não apresenta relevância. Apenas em associação com agências humanas, estruturas sociais e organizações é que uma tecnologia é capaz de cumprir funções (GEELS, 2002). É a interação entre esses diferentes elementos do sistema que fornecem serviços específicos para a sociedade (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Um produto, como é o exemplo do carro, não possui muita funcionalidade sem os diversos serviços e produtos complementares que o servem, desde o processo de compra, emplacamento, leis, manutenção,

estradas e reabastecimento.

Transições sócio-técnicas são conjuntos de processos que levam a uma mudança fundamental nos sistemas sócio-técnicos (GEELS, 2004). São mudanças que envolvem a substituição de uma tecnologia pela outra, além de mudanças em outros elementos que a envolvem (GEELS, 2002). Uma transição envolve mudanças longínquas ao longo de diferentes dimensões: tecnológica, material, organizacional, institucional, política, econômica e sociocultural (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Ainda, de acordo com Smith, Voß e Grin (2010), os sistemas sócio-técnicos de sucesso ganham estabilidade e dependência de trajetória, estabelecendo-se como regimes sócio-técnicos particulares. O conceito de regime será explicado mais a frente.

Este tipo de alteração sócio-técnica é descrita como um processo de mudanças de conjuntos de associações e substituições, um reenquadramento de elementos. Alterações em um elemento na rede podem desencadear alterações em outros elementos (GEELS, 2002). Em outras palavras, os elementos desse sistema estão interconectados e há interdependência, sendo esses fatores que influenciam a dependência de trajetória. Quando uma tecnologia ganha vantagem sobre sua concorrente (por exemplo, o que aconteceu com os CEB e CCI no início do século passado), ciclos de retroalimentação positiva que surgem do aprendizado, externalidades da rede e infraestrutura complementar levam a dependência de trajetória (STRUBEN; STERMAN, 2008; STERMAN, 2000).

Para clarificar a ideia de dependência de trajetória, pode-se imaginar que alguém está numa estrada com duas opções de trajetos para seguir adiante. Ao escolher um dos dois, a pessoa inicia a caminhar por ela e quanto mais tempo fica nela, maior será o o trajeto percorrido e mais custoso será voltar atrás e pegar a outra opção. A mesma ideia serve para compreender os sistemas sócio-técnicos. Ao optar por carros com motor à combustão interna, ao longo do tempo mais investimentos foram colocados para melhoria do motor pelas corporações, mais fábricas para produzir este tipo de produto foram construídas, mais poços de petróleo estão sendo explorados com toda uma infraestrutura de refinamento para virar gasolina ou diesel que vão para os milhares de postos de abastecimento ao redor do mundo. Todo esse sistema levou muito tempo e esforço para ser construído e quanto mais o tempo passa ainda mais esforço é gasto para a melhoria e desenvolvimento deste sistema. Portanto, a existência de um sistema sócio-técnico pronto e em funcionamento se torna um fator inibidor do surgimento de outro tipo de sistema, como por exemplo dos carros elétricos que precisariam de toda uma nova infraestrutura com fábricas diferentes, exploração de elementos para bateria ao invés do petróleo, postos de abastecimento bastante diferentes, mudança de atitudes e novos conhecimentos por parte da população em geral seriam necessários, entre outros fatores (GEELS, 2018).

Pequenas modificações no design básico e progresso técnico "normal" de uma

inovação são chamadas de inovações incrementais (OECD, 2018). A ideia de trajetórias se baseia no fenômeno frequentemente observado de acumulação dos avanços técnicos (dentro de uma trajetória) e das incertezas associadas a uma mudança tecnológica (DOSI, 1982).

A inserção no mercado de uma tecnologia inovadora por uma organização é algo arriscado e requer investimentos financeiros e esforços de tempo e trabalho que poderiam ser investidos em outras atividades (NELSON; WINTER, 1977). Assim como a adoção de uma inovação é algo arriscado pelo usuário, devido às incertezas de sucesso ou não dessa nova tecnologia (ROGERS, 2003). Como uma tecnologia prévia deu certo e está gerando lucros, muitas organizações preferem por imitar esta inovação ao invés de criar uma nova, e às vezes, melhorando a tecnologia, gerando diferenciação e acúmulo de conhecimento (NELSON; WINTER, 1977). Portanto, criando um ciclo de reforço positivo para o manutenção de um regime sócio-técnico específico.

Estes ciclos de auto-reforço aumentam a lacuna entre a melhor tecnologia e as demais opções, gerando um aprisionamento tecnológico (o *lock-in*), no qual as outras opções desaparecem gradualmente (UNRUH, 2000). Para compreender este fenômeno, é importante entender o conceito de externalidades de rede.

As externalidades de rede são os custos ou benefícios afetando terceiros (seja indivíduos ou organizações), não envolvidos diretamente no processo de fazer, vender, comprar e difundir produtos e serviços (KATZ; SHAPIRO, 1985; CABRAL, 1990; BERGEK *et al.*, 2008). Usualmente, o terceiro não possui controle sobre os benefícios ou custos incorridos a ele. Por exemplo, problemas de saúde e mudança climática que afetam a população devido a queima dos combustíveis fósseis são externalidades negativas conhecidas (NOEL *et al.*, 2017). Já uma externalidade positiva são os benefícios, de forma geral, gerados para a sociedade com os investimentos em educação e pesquisa de base que rendem melhorias econômicas e qualidade de vida (AZARIADIS; DRAZEN, 1990; KATZ; SHAPIRO, 1986).

Já as externalidades de rede são efeitos diretos ou indiretos da compra e utilização de produtos pelos consumidores, sua difusão e desenvolvimento (KATZ; SHAPIRO, 1985). O número compradores de um certo bem afeta a qualidade e disponibilidade de serviços pós-compra, por exemplo. Em outras palavras, a utilidade do usuário em relação ao produto depende do número de usuários que já estão na mesma rede (KATZ; SHAPIRO, 1986). Quando as externalidades de rede estão envolvidas, a acumulação de usuários na escolha de um certo design tecnológico dominante pode afetar o padrão da indústria cedo (KATZ; SHAPIRO, 1986). Portanto, as externalidades de rede causam *lock-ins* de padronização mais cedo e a utilização de tecnologias que podem não ser a melhor opção no futuro, mas eram a melhor opção no início de uma transição tecnológica (KLITKOU *et al.*, 2015; ARTHUR, 1989).

Ao comprar um carro elétrico de bateria, as empresas fornecedoras de infra-

estrutura de recarga podem estar mais dispostas a criar novas infraestruturas, o que aumenta a disponibilidade desse serviço e aumentam as chances de novos consumidores adotarem esta tecnologia (STRUBEN; STERMAN, 2008).

De acordo com Katz e Shapiro (1986), as externalidades de rede possuem dois efeitos fundamentais nas dinâmicas da indústria em evolução. Primeiro, a atratividade relativa de hoje de tecnologias rivais é influenciada por seu histórico de vendas, a qual um produto é mais atrativo quanto maior sua base de consumidores. Segundo, e talvez o mais importante, na presença de externalidades de rede, o consumidor no mercado de hoje também se preocupa com o futuro sucesso dos produtos competindo. Assim como as empresas.

Por parte do consumidor, não faria sentido comprar um carro de células de combustível à hidrogênio se este não confiasse de que no futuro haveria disponibilidade de serviços pós-venda e infraestrutura de reabastecimento. O mesmo para os Carro elétrico de bateria (CEB). E o mesmo se pode dizer por parte das empresas. As empresas não querem perder tempo e dinheiro investindo em uma tecnologia que não será a do futuro. E, portanto, são avessas ao risco e preferem seguir as regras ditadas pelo mercado.

As transições normalmente envolvem uma vasta quantidade de atores e tipicamente se desdobra por tempos consideravelmente longos (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Frequentemente, levam-se algumas décadas para uma tecnologia em seu estado inicial para obter uma indústria com capacidade de impactar o mercado (JACOBSSON; BERGEK, 2011). Por exemplo, levou 60 anos para o carvão passar de 5% do suprimento global de energia para 50%, já para o petróleo levou 60 anos para passar da mesma porcentagem inicial para 40% do suprimento global (SMIL, 2017). Esse longo tempo ocorre, pois inovações radicais possuem dificuldades em romper o sistema sócio-técnico recorrente devido ao fato das regulações, infraestrutura, práticas dos usuários, redes de manutenção já estão alinhadas com a tecnologia existente (GEELS, 2002).

Portanto, as transições para sustentabilidade são um conceito teórico que busca compreender e explicar como transições de uma certa tecnologia que realiza uma dada função social para outra tecnologia substituta acontece com um viés da sustentabilidade, nos sentidos social, econômico e ambiental.

São quatro as principais linhas de de pensamento associadas às transições, segundo Markard, Raven e Truffer (2012): Gestão das Transições, Gestão Estratégica dos Nichos, Sistemas Tecnológicos de Inovação e Perspectiva de Multiníveis.

A Gestão das Transições é um *framework* orientado por políticas, que sugere que os responsáveis por políticas públicas podem dar forma às transições (LOORBACH, 2010). Já a Gestão Estratégica dos Nichos é utilizada para analisar o surgimento de inovações radicais (SCHOT; GEELS, 2008). Os pesquisadores sugerem que

inovações radicais surgem em espaços 'protegidos' com subsídios, experimentos ou mercados específicos, chamados na literatura de nichos, que os protegem da seleção de mercado comum (KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019).

Os Sistemas Tecnológicos de Inovação (*Technological Innovation Systems* (TIS), do inglês *Technological Innovation Systems*) utilizam como princípios as ideias da teoria de Sistemas de Inovação (MALERBA, 2002) e da Economia Industrial (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991). Um TIS é formado por tecnologias, atores e instituições (KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019). A visão por TIS possui um caráter mais endógeno em relação ao sistema. Preocupa-se mais com as relações do sistema com ele mesmo e se cumpre certas funções que o farão atingir um certo nível de sucesso almejado (HEKKERT; SUURS *et al.*, 2007; HEKKERT; NEGRO, 2009; BERGEK *et al.*, 2008). Com isto, acaba ignorando a interferência de fatos externos a este sistema, como mudanças no padrão de consumo na sociedade, por exemplo. O lado positivo desta visão funcional é a característica mais operacional do sistema endogenamente, possibilitando que esta abordagem seja utilizada como guia para criadores de políticas públicas para que possam promover o sucesso de um TIS.

E por último, a Perspectiva de Multiníveis (*Multilevel Perspective* (MLP), do inglês *Multilevel Perspective*) argumenta que as transições ocorrem através de processos dinâmicos entre três níveis analíticos: nicho, regime e ambiente (GEELS, 2002). A MLP oferece uma visão sistêmica do processo de transição sócio-técnica com interações ocorrendo dinamicamente entre os diversos componentes de um sistema sócio-técnico junto com uma visão de longo-prazo (GEELS, 2002, 2004; KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019). Por esta razão, a MLP é um bom ferramental teórico para compreensão sistêmica do processo de transição ocorrendo.

2.2 PERSPECTIVA DE MULTINÍVEIS

Para melhor compreensão do funcionamento das transições sócio-técnicas de forma abrangente existe a perspectiva de multiníveis (MLP, do inglês *Multi-level perspective*). Ela foi desenvolvida a partir de explicações para transições históricas para novos sistemas sócio-técnicos de mobilidade, sanitário, entretenimento, alimentação, iluminação e outros (SMITH; VOSS; GRIN, 2010).

A perspectiva de multiníveis organiza as análises em sistemas sócio-técnicos que consistem de nichos, regimes e ambiente (em inglês é chamado de *landscape*), provendo um atraente *framework* tanto em termos de organizar as análises e ordenar intervenções políticas (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Esta perspectiva procura discutir a mudança advinda das inovações tecnológicas como um processo não somente técnico, mas também social de assimilação dessas inovações que transformam a situação existente ao modificar regras, mostrando a interação dos atores nos três níveis descritos e analisando (SAFARZYŃSKA; FRENKEN; BERGH, 2012). As diferenças

entre os níveis não são descrições objetivas da realidade, mas conceitos analíticos e heurísticos para entender a complexidade das dinâmicas de mudanças sócio-técnicas (GEELS, 2002).

Nichos são conceitualizados como espaços protegidos, ou seja, com mercados específicos e aplicações em alguns domínios, o qual inovações radicais podem desenvolver sem estarem sujeitas a pressão de seleção do regime prevalente (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998). Eles provêm sementes para que as transições ocorram e tem que superar restrições da influencia do regime, desdobrar-se, conectar-se com processos de mudanças mais amplos e seguir para transformações nas estruturas do regime (SMITH; VOSS; GRIN, 2010).

Eles são necessários para a fase inicial da tecnologia, oferecendo proteção para que haja experimentação por parte dos usuários (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998). Nykvist e Nilsson (2015b) cita como um dos fatores da lenta adoção de CE na Suécia a falta de nichos para que as pessoas possam experimentar, engajar e aprender sobre esse tipo de veículo para facilitar sua adoção.

Enquanto os regimes normalmente geram inovações incrementais, as inovações radicais são geradas em nichos (GEELS, 2002). Novas tecnologias geralmente têm dificuldades em competir com tecnologias incumbente, como normalmente é o caso das tecnologias sustentáveis. Portanto, é importante a criação de espaços protegidos para que novas tecnologias possam se desenvolver sem a pressão das já existentes (GEELS; SCHOT, 2007)., pois os regimes exercem forças estruturais em cima das novas alternativas que estão surgindo nos espaços de nichos (SMITH; VOSS; GRIN, 2010).

A proteção dos nichos pode ser concedida por meio de mercados líderes (regiões que adotam pioneiramente uma inovação), projetos subsidiados para demonstração e aprendizado ou ambientes culturais específicos de experimentações ou adoções rápidas (SCHOT; GEELS, 2008). Os nichos sustentáveis incluem redes de experimentos no mundo real com práticas sócio-técnicas benéficas para o meio-ambiente e a sociedade (MENDONÇA; CUNHA; NASCIMENTO, 2018; MATSCHOSS; REPO, 2018). Os atores (produtores e usuários) que empreendem este experimento são relativamente mais solidários com as qualidades sociais e ambientais do nicho sócio-técnico, além de serem mais compreensivos com possíveis problemas que ocorrem, diferentemente dos membros do regime (SMITH; VOSS; GRIN, 2010).

As mudanças no regime acontecem por meio das interconexões e interações entre múltiplos desenvolvimentos em todos os níveis. Isso envolve tanto o crescimento de alternativas sócio-técnicas fortes nos nichos e aberturas favoráveis ou janelas de oportunidade que acontecem por perturbações de regimes surgindo de desenvolvimentos no ambiente sócio-técnico (GEELS; SCHOT, 2007).

Os regimes são estabelecidos como maneiras estáveis e dominantes de se

realizar dada função social. Regimes sócio-técnicos são constituídos de acúmulos e alinhamento de conhecimento, investimentos, objetos, infraestruturas, valores e normas que abrangem a relação de produção e consumo (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). A solução tecnológica dominante está firmemente integrada na sociedade e na economia, e todos os atores, infraestruturas e instituições estão voltadas para essa única solução, como é o caso dos CCI (BAKKER; MAAT; WEE, 2014). E as transições estruturais do regime são conseqüentemente vistas como uma acumulação de uma ampla variedade de processos interagindo, não somente por fatores de base de conhecimento ou mercados (GEELS, 2002)

É nos regimes onde os *lock-ins* e dependência de trajetória ocorrem. Dosi (1982) fala de um paradigma tecnológico, assim como existe o conceito de paradigma científico. Para o autor, um paradigma científico poderia ser definido como uma perspectiva que define quais são os problemas relevantes, um modelo e um padrão de investigação (DOSI, 1982). Assim como a ciência "normal" é a atualização de uma promessa contida em um paradigma científico, também o é o progresso tecnológico, definido por um certo paradigma tecnológico (DOSI, 1982). Um paradigma tecnológico, portanto, consiste em um exemplar - um artefato que está sendo desenvolvido e melhorado - e um conjunto de heurísticas, abordagens de engenharia baseadas nas ideias e crenças dos técnicos sobre onde ir, quais problemas resolver e qual tipo de conhecimento se basear (DOSI, 1982; KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998).

Segundo Kemp, Schot e Hoogma (1998), um regime sócio-técnico combina regras e crenças embutidas nas práticas de engenharia e heurísticas de pesquisa com regras de seleção do ambiente. Os autores também citam que a natureza restrita de mudança sócio-técnica é, em grande parte, devido a incorporação das tecnologias existentes em mais abrangentes sistemas tecnológicos, práticas e rotinas de produção, padrões de consumo, sistemas de crença da engenharia e gerência, e valores culturais. Essa incorporação cria barreiras econômicas, tecnológicas, cognitivas e sociais para novas tecnologias (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998).

Em outras palavras, os regimes sócio-técnicos seguem um sistema de crenças, artefatos, infraestruturas, entre outros, em torno de uma tecnologia específica que realiza uma função social - como é o caso do carro. O conhecimento desenvolvido ao longo do tempo e os paradigmas tecnológicos criados são em torno dessas tecnologias que se tornam dominantes na rotina dos usuários. Portanto, há um custo de transição para uma nova tecnologia. Um custo por parte dos usuários (aprender a utilizar), custo com criação de infraestrutura, custos já existentes de infraestruturas não obsoletas da tecnologia incubente, entre outros fatores que prendem (por isso *lock-in*, tanto do lado da oferta quanto da demanda, a utilização dessa tecnologia).

O design dominante são conjunturas críticas na evolução de uma tecnologia como a do carro, para que ganhe acúmulo de conhecimento, ganhos de escala e au-

mente seu processo de difusão (ANDERSON; TUSHMAN, 1990). Um padrão industrial é um fenômeno inerentemente político e organizacional limitado pelas possibilidades técnicas, portanto a mudança de uma tecnologia de nicho para regime não é um problema apenas de engenharia, mas também sociológico (ANDERSON; TUSHMAN, 1990; GEELS, 2002).

Como os investimentos são substanciais, um conjunto complicado de forças organizacionais e coletivas influencia o surgimento de um padrão único como o do motor à combustão oposto ao motor elétrico para os carros (ANDERSON; TUSHMAN, 1990). A curva de aprendizado gerada a partir do acúmulo de experiência e conhecimento da indústria, ganhos de escala, entre outros (ARGOTE; EPPLE, 1990), ajuda a manter essa tecnologia como dominante por um longo tempo no regime sócio-técnico, gerando os efeitos de *lock-in* (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998).

No nível macro, por fim, há o ambiente sócio-técnico. Os processos panorâmicos incluem mudanças ambientais e demográficas, novos movimentos sociais, mudanças na política ideológica geral, reestruturação econômica abrangente, paradigmas científicos emergentes e desenvolvimentos culturais (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Mudanças no ambiente servem como fonte de pressão para que mudanças ocorram no regime atual. Essa pressão acaba incitando respostas do regime, o que pode abrir oportunidades ou brechas para os nichos (GEELS, 2004).

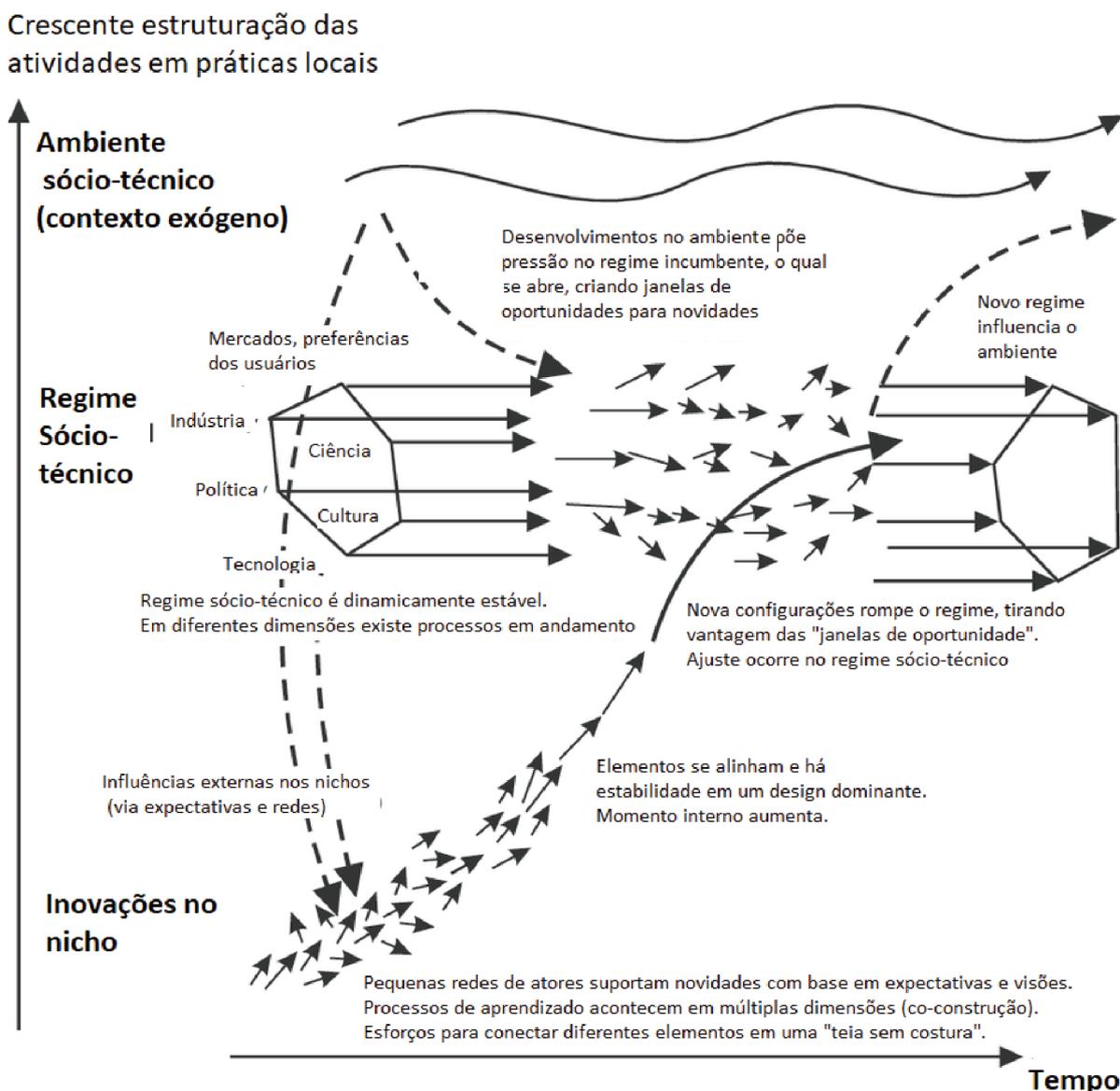
A figura 2 exemplifica como é o processo de transição a partir do nicho, demonstrando os três níveis existentes. De acordo com a MLP, o processo de transição ocorre pelo acúmulo de conhecimento, infraestrutura, redes de atores, evoluções tecnológicas, dentre outros aspectos que influenciam a difusão desta inovação que parte do nicho para o regime (GEELS, 2004). Como se pode observar na figura 2, esta acumulação gera uma curva que inicialmente é exponencial e em seguida se estabelece no regime, obtendo uma forma de 'S', pois é uma curva de difusão de inovação (GEELS; SCHOT, 2007).

Para clarificar, Rogers (2003) cita que difusão é o processo o qual uma inovação é comunicada por certos canais através do tempo entre membros de um sistema social. Sendo um tipo especial de comunicação o qual as mensagens são acerca de uma nova ideia. Enquanto a adoção é a decisão de utilizar uma inovação como o melhor curso de ação disponível.

A difusão e adoção de uma inovação não se limita apenas ao caráter tecnológico da inovação. Não basta que uma inovação seja superior tecnologicamente para ser adotada, mas outras características da inovação (citados mais a frente) e a necessidade de comunicação entre os membros de um sistema social, tornam este processo um processo sócio-técnico (ROGERS, 2003; GEELS, 2018).

Por se tratar de algo não antes conhecido pelo potencial adotante, a efetividade do resultado da inovação é desconhecida e gera incerteza (ROGERS, 2003). Os

Figura 2 – Processo de transição sócio-técnica pela MLP



Fonte: Traduzido de Geels e Schot (2007)

indivíduos adotam as inovações em tempos diferentes e as espalham em diferentes taxas para outros indivíduos. Algumas inovações nunca são adotadas, enquanto outras são subsequentemente abandonadas (GREENHALGH *et al.*, 2004). Uma característica importante dos primeiros adotantes de uma inovação, ou seja, os inovadores, são seu alto grau de educação e alta posição socioeconômica em comparação com os demais adotantes (NOVI; MARENZI, 2019).

Algumas características das inovações podem ajudar a reduzir as incertezas por parte dos usuários para a decisão de adotar ou não, e as incertezas do sucesso da inovação do lado de quem a oferta (ROGERS, 2003). São estas as cinco principais

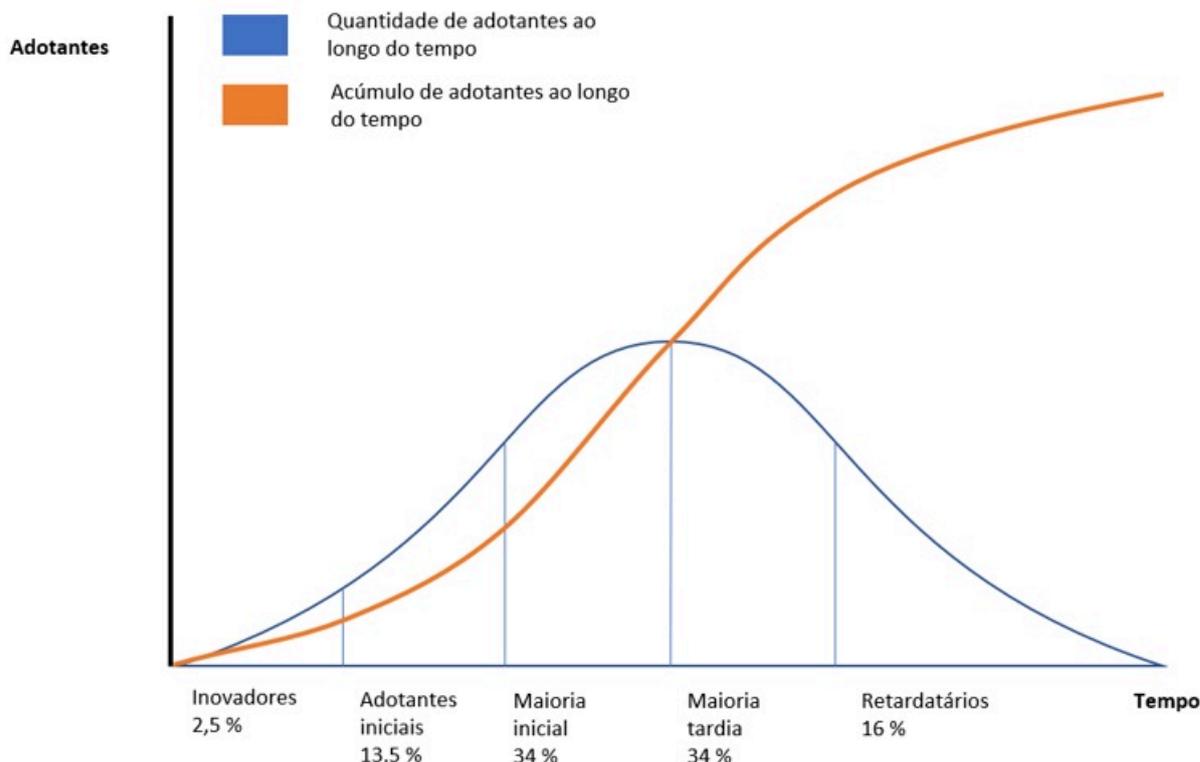
características (ROGERS, 2003; GREENHALGH *et al.*, 2004):

- a) Vantagem relativa: É o grau o qual uma inovação é percebida como melhor que a ideia anterior. O grau pode ser mensurado em termos econômicos, baixo custo inicial, redução de desconforto, prestígio social, salvar tempo e esforço e recompensa imediata;
- b) Compatibilidade: É o grau o qual uma inovação é percebida como consistente com os valores atuais, experiências passadas e necessidades dos adotantes. Uma ideia que não é compatível com os valores e normas do sistema social não serão difundidos tão rápidos quanto aqueles que o são;
- c) Complexidade: É o grau o qual uma inovação é percebida como difícil para entender e usar. Novas ideias que são mais simples de se entender são adotadas mais rapidamente do que aquelas que exigem o desenvolvimento de novas habilidades e conhecimento do adotante;
- d) Experimentabilidade: É o grau o qual uma inovação pode ser experimentada numa base limitada. Uma inovação que pode ser testada representa menos incerteza para o indivíduo que está considerando adotar, pois é possível aprender fazendo;
- e) Observabilidade: É o grau o qual os resultados de uma inovação são visíveis para os outros. Essa visibilidade estimula conversação sobre a inovação entre pares.

A difusão ocorre principalmente por dois canais de comunicação: mídia de massa e relacionamento interpessoal. Frank Bass elaborou um modelo matemático que utilizava esses dois fatores para explicar o processo de difusão (BASS, 1969). Sua premissa é que há uma certa probabilidade de pessoas adotarem uma inovação pela propaganda, a qual possui maior efeito no começo (MORECROFT, 2015). Quando a quantidade de adotantes aumenta, aumenta a probabilidade de contato por boca-a-boca, impactando num crescimento exponencial). No entanto, o mercado potencial possui um limite físico, tornando a curva em forma de “S” (MAHAJAN; MULLER; BASS, 1990). No final do período, o boca-a-boca é que possui maior impacto para a difusão da inovação (MORECROFT, 2015).

Na figura 3, a linha laranja representa a soma ou acúmulo de adotantes daquela inovação ao longo do tempo, enquanto a linha azul é a quantidade de novos adotantes por período. Portanto, um ponto na linha laranja significa a soma de todos os pontos anteriores na linha azul. As cinco categorias de adotantes identificadas no eixo horizontal da figura 3 são as divisões criadas por Rogers (2003) que identificou padrões de comportamento comuns entre os grupos de adotantes. Os inovadores, como já dito, são pessoas com maior nível educacional e socioeconômico, enquanto os retardatários normalmente são pessoas que vivem marginalmente no sistema social, possuem

Figura 3 – Curva "S" da Difusão de Inovação



Fonte: Adaptado de Rogers (2003).

menor renda e educação.

O canal de comunicação das mídias de massa tende a funcionar mais com inovadores, já para as adotantes subsequentes que possuem maior grau de ceticismos diante da inovação, a comunicação interpessoal é a que possui maior efeito no aumento do total de adotantes (ROGERS, 2003). Aqui é importante ressaltar a homofilia, que é o grau o qual dois ou mais indivíduos que interagem são similares em certos atributos, tais como: crenças, educação, status socioeconômico, entre outros (GREENHALGH *et al.*, 2004). A adoção da inovação é mais propensa a acontecer quando esta comunicação interpessoal ocorre por potenciais adotantes homofílios (WALKER, 1969).

Uma das críticas citada por Rogers (2003) é que os estudos de difusão investigam as inovações como independentes de outras inovações, formando o que o autor chama de “clusters tecnológicos”. Na realidade, inovações se difundindo ao mesmo tempo em um sistema provavelmente são interdependentes e é importante notar sua relação.

Novas tecnologias radicais requerem aplicação especializada na fase inicial

de desenvolvimento com experimentação para obter conhecimento e aprender, melhorando durante a fase de desenvolvimento (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998). A literatura de transições enxerga os experimentos como grande fonte de esperança, como sementes da mudança sustentável e possibilidade de troca de regimes, mas isso não garante que eles propiciam ideias perspicazes e informações úteis que auxiliem na transformação dos sistemas sócio-técnicos incumbentes (SENGERS; WIECZOREK; RAVEN, 2016).

Assim como a satisfação das outras características das inovações não garantem seu sucesso, a experimentabilidade também não o garante, mas aumenta a probabilidade de sucesso (ROGERS, 2003). Experimentos podem promover a difusão das tecnologias alvejando problemas relacionados a mudança climática (MATSCHOSS; REPO, 2018). E podem demonstrar a viabilidade ou não de uma nova tecnologia (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998).

A mudança de frotas públicos, por exemplo, para CE constrói experiência entre todos os tipos de atores e cidadãos, permitindo que os nichos influenciem o ambiente de seleção para novas tecnologias (NILSSON; NYKVIST, 2016). A exposição de frotas de CE tem se demonstrado como facilitador para mudanças rápidas de atitudes, pois o principal fator para a transição para CE é experiência e construção de conhecimento através da visualização, teste e aprender dos outros (NILSSON; NYKVIST, 2016). A utilização dos CE em frotas comerciais aumentarão a compreensão do uso dessa tecnologia e o acúmulo da experiência dos usuários resultou em cada vez mais longas viagens, com eles se acostumando com a tecnologia e demonstrando maior confiança em sua utilização (WIKSTRÖM; HANSSON; ALVFORS, 2014).

A exposição dos usuários de SCCE vem demonstrando mudar a opinião dos mesmos em relação a utilização de CEB, reduzindo barreiras psicológicas como a ansiedade com o alcance da bateria e de acreditar que esse tipo de carro não servirá para sua rotina diária (SCHLÜTER; WEYER, 2019; LANG; MOHNEN, 2019). Os usuários dos carros compartilhados relatam maiores intenções de comprar um carro elétrico de bateria após utilizarem um, tanto em comparação com sua opinião anterior quanto em comparação com usuários do sistema de compartilhamento que nunca dirigiram um carro elétrico ou devido ao boca-a-boca de amigos (SCHLÜTER; WEYER, 2019; SHAHEEN; MARTIN; BANSAL, 2015).

Esta introdução dos CE em frotas comerciais habilitam uma familiarização em larga escala com a nova tecnologia que pode influenciar a absorção e compreensão em geral (WIKSTRÖM; HANSSON; ALVFORS, 2014). Portanto, a promoção de soluções inovadoras em certas comunidades sociais ou áreas geográficas podem prover espaços protegidos para mudanças nas normas e cognição das pessoas, relacionando-se com maior familiarização com os CE, mas também experiências reais e mudanças mais profundas tais como novos modelos de posse de carros (NILSSON; NYKVIST,

2016).

3 PANORAMA DA MOBILIDADE ELÉTRICA

Os carros elétricos não são uma novidade. Eles surgiram no século XIX em meio a intensificação do crescimento urbano e aumento da demanda por outros meios de transporte além do cavalo e do trêm à vapor (HOOGMA, 2002). Sua história está relacionada com o desenvolvimento das baterias que tiveram início em 1800 com Alexandre Volta mostrando a possibilidade de estocar energia elétrica em energia química e, subsequentemente, a demonstração da primeira bateria de chumbo e ácido em 1859 por Gaston Planté (HØYER, 2008).

Essa evolução da bateria levou ao desenvolvimento de novas tecnologias como barcos, fontes de energia e carros elétricos, chamando a atenção de Thomas Edison em 1901 para o desenvolvimento desse tipo de veículo (HØYER, 2008). Neste contexto, alguns anos antes, German Benz demonstrou o primeiro carro com motor à combustão interna CCI (HØYER, 2008). Nessa época, os carros elétricos (CE) eram considerados limpos, quietos, confiáveis e fáceis de manejar se comparados com o CCI (HOOGMA, 2002). Carros com motor à combustão, por outro lado, eram cheios de problemas de "gargalo" e vistos como sujos (GEELS, 2005b). Ressalta-se que características como baixa velocidade máxima, baterias pesadas e baixa capacidade de alcance das baterias (quantidade de quilômetros feitos numa recarga) não eram tão importantes naquele contexto urbano (HOOGMA, 2002).

Esses novos meios de transporte implicaram numa revolução da mobilidade com novas preferências, instituições e regulações governamentais, e também uma nova cultura de mobilidade que incluíam apreciação da velocidade, turismo e liberdade individual (HOOGMA, 2002). Os carros elétricos passaram a ser utilizados em diversos nichos, como: táxi, luxo (para ricos que iam aos parques, festa de chá, entre outros), corridas (apenas as curtas, pois nas longas os carros à combustão eram superiores) e passeio (GEELS, 2005b). No entanto, os carros elétricos falharam nesta última devido à falta de infraestrutura para recarregar, alto tempo de recarga das baterias e o baixo alcance das mesmas (GEELS, 2005b).

No ano de 1900 os carros elétricos dominavam o mercado nos Estados Unidos, já em 1905 os carros com motor à combustão estavam liderando (GEELS, 2005b). O preço inicial dos CE era muito maior que dos carros à gasolina devido ao alto preço das baterias e as mudanças culturais que estavam ocorrendo facilitaram a vitória do CCI que passou a possuir uma imagem de veloz, juventude, aventura e novidade (HOOGMA, 2002). Essas circunstâncias culturais, avanços com melhorias continuadas dos carros com motor à combustão e o barateamento da gasolina, eles se tornaram a tecnologia dominante. Devido a dependência de trajetória, a tecnologia dos CCI cada vez mais se distanciaram dos CE, saindo do nicho e se tornando o regime sócio-técnico dominante até os dias de hoje (GEELS, 2005b).

A tecnologia fundamental que dá base aos carros elétricos atuais não diferencia muito da base tecnológica dos precursores da indústria automotiva do século XIX. E os mesmos principais problemas daquela época ainda são citados atualmente como as maiores barreiras para sua difusão, como: falta de infraestrutura de abastecimento, alcance das baterias e alto custo do carro e das baterias (MORTON *et al.*, 2018; GEELS, 2018; NIEUWENHUIS, 2018).

Apesar da similaridade, há algumas diferenças entre os tipos atuais de CE. São quatro os principais tipos de CE existentes (BOHNSACK; KOLK; PINKSE, 2015; DIJK; ORSATO; KEMP, 2013; WESSELING, 2016; KHALIGH; LI, 2010):

- a) Carros elétricos à bateria (CEB): funcionam através de um motor elétrico que obtém energia de uma grande bateria, geralmente de íon-lítio;
- b) Carros elétricos de células de combustível (Carro elétrico com célula de combustível (CECC)): são um tipo de carro elétrico com uma extensão alimentada por hidrogênio. Possui uma pequena bateria, mas com capacidade de recarregar rapidamente devido a ter como fonte primária de energia o hidrogênio. O hidrogênio ao misturar com gás oxigênio (O_2) gera uma corrente elétrica que carrega a bateria, fornecendo energia elétrica para o motor;
- c) Carros elétricos híbridos (Carro elétrico híbrido (CEH)): possuem um tanque de combustível, normalmente gasolina, e um motor à combustão que servem como geradores de energia elétrica para recarregar uma bateria de lítio que fornecerá energia para o motor elétrico. Este motor elétrico é que fornece a tração para as rodas;
- d) Carros elétricos híbridos *plug-in* (Carro elétrico híbrido *plug-in* (CEHP)): possuem as mesmas características dos carros híbridos, mas estes podem ter suas baterias de lítio também carregadas na tomada ou infraestrutura de recarga.

Geralmente, como consequência dos fatores de dependência de trajetória, uma tecnologia se torna dominante no regime sócio-técnico, pois cria barreiras à entrada e difusão das demais quando obtém vantagens que a fazem sair na frente na corrida pelo domínio do regime por meio de avanços tecnológicos, ganhos de escala, curva de aprendizagem, melhorias contínuas, entre outros fatores (PORTER, 2008; STRUBEN; STERMAN, 2008). Para melhor compreender a situação dos CE é preciso compreender como esses tipos diferentes de tecnologias estão atualmente em relação ao seu desenvolvimento e difusão.

3.1 ESTADO ATUAL

Hoje estamos vivenciando um processo de transição na mobilidade do CCI como principal tecnologia de transporte nos países ocidentais para os CE (BERKELEY *et al.*, 2017). Os CCI usufruíram dos fatores de *lock-in* que mantiveram a trajetória tecnológica dominante dessa tecnologia por décadas. Décadas atrás o CCI ganhou momento com vantagens iniciais que aumentaram suas vendas, gerando mais recursos para desenvolvimento que aumentaram a lacuna tecnológica com o CE, que acabou sendo abandonado como opção tecnológica.

O carro elétrico mais similar com o dominante no regime incumbente são os híbridos. Os CEH eram vistos como um primeiro passo de introdução com possíveis transbordos de conhecimento tecnológico para uma mais distante transição para carros elétricos de hidrogênio ou à bateria (AVADIKYAN; LLERENA, 2010). Mesmo com diversos experimentos realizados em parceria com as grandes montadoras e diversos tipos diferentes de modelos de negócios sendo testados, como pagamento por quilômetro percorrido, troca rápida de baterias e carros compartilhados, os CEB e CECC ainda eram vistos como tecnologias ainda imaturas (BREE; VERBONG; KRAMER, 2010).

Esta transição está sendo acelerada pelas pressões de agências internacionais e governos, como a preocupação com aquecimento global, poluição do ar local e segurança energética dos países. Entretanto, a mudança tecnológica não é simples, pois envolve diversos atores e fatores, como *lobby*, capacidades tecnológicas, interesses particulares de países e grandes montadoras, dentre outros. Uma mudança para CEH não seria a melhor escolha, pois apesar de aumentarem a eficiência com a utilização de uma pequena bateria e motor elétrico, reduzindo suas emissões por quilômetro, essa tecnologia ainda utiliza o motor de combustão interna como principal fator para tração (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013).

Com as recentes pesquisas do IPCC, os países desenvolvidos estão mais preocupados com os impactos dos problemas supracitados e estão cada vez mais pressionando as empresas para realizar uma transição de forma mais acelerada (IPCC, 2018; IEA, 2018a). O setor público incentiva a produção e adoção dessas tecnologias através de instrumentos de regulação como políticas de oferta como o estímulo à pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias com intuito de reduzir custos e aprimorar performance, como também com políticas de demanda através de subsídios para a compra do carro ou criação de nichos de mercado (BARASSA, 2015). Outras políticas como proibição de circulação dos carros em centros urbanos, facilitação no emplacamento do veículo, redução de taxas e impostos como o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores (IPVA)), utilização de faixas de transporte público nas rodovias, dentre outras também estão sendo utilizadas para incentivar a adoção por parte dos usuários (CONSONI *et al.*, 2018; IEA, 2018c).

Os incentivos foram no início, de forma geral nos países preocupados com esta transição, para o desenvolvimento e compra dos quatro tipos de tecnologias (BARASSA, 2015; CONSONI *et al.*, 2018; XUE *et al.*, 2016; TYFIELD, 2014; BAKKER; MAAT; WEE, 2014; BOON; BAKKER, 2016). Todavia, para atingir os objetivos de emissões indicados pelo IPCC para evitar grandes desastres naturais, mudanças drásticas são necessárias na sociedade. Estas mudanças vêm motivando o crescimento das pressões por parte dos governos e em combinação com os avanços tecnológicos da tecnologia de baterias em performance, preço e densidade energética (NYKVIST; NILSSON, 2015a; DIJK, 2016), países como China e Holanda estão retirando os incentivos para compras de CEH e incentivando as outras três principais tecnologias disponíveis (BOON; BAKKER, 2016; XUE *et al.*, 2016). Essa mudança se reflete no recente avanço rápido nas vendas de CEB e CEHP mundialmente.

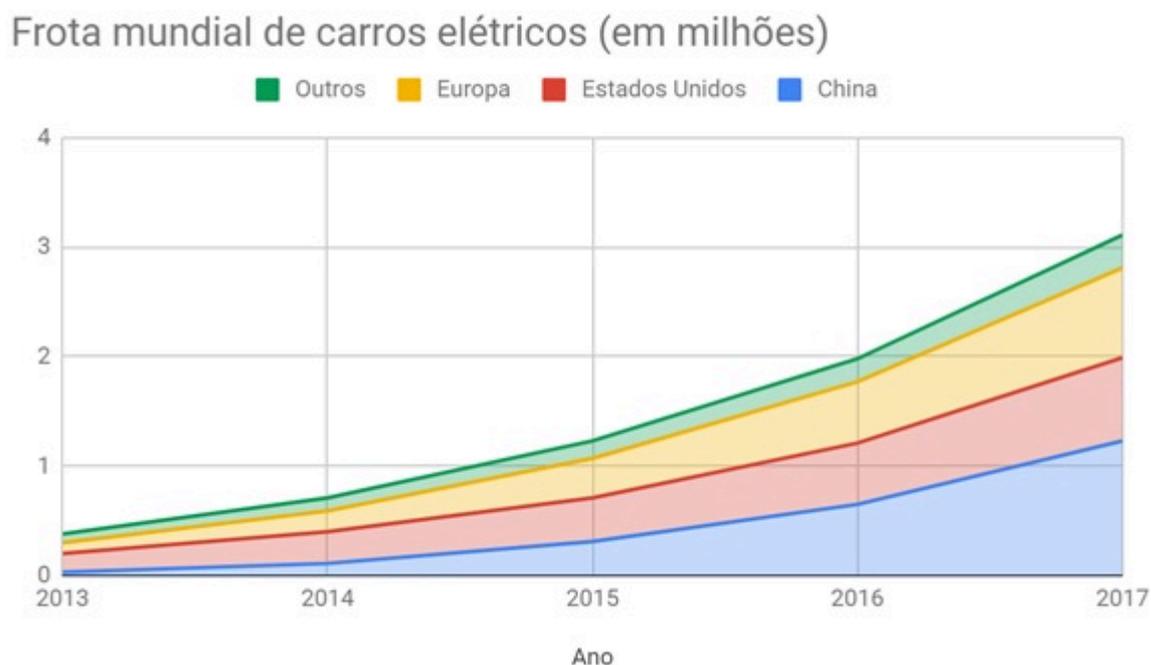
Segundo a Agência Internacional de Energia, em seu *Global EV Outlook Report 2018*, mostrou que cerca de 1,1 milhão de carros elétricos dos tipos CEB e CEHP foram vendidos globalmente no ano de 2017 e cerca de metade disso (aproximadamente 580 mil carros) foram vendidos na China apenas (IEA, 2018a). A China possui uma antiga familiaridade com a tecnologia dos carros elétricos, o que justifica sua importância atual no processo de difusão mundialmente. O país iniciou seus investimentos em pesquisa e desenvolvimento no ano de 1981, além dos incentivos para compra, pesquisa e produção, está investindo em infraestruturas de recarga de corrente direta e corrente alternada para que a difusão possa acontecer mais rápido (BOHNSACK, 2018). A 4 mostra o total de carros elétricos em circulação mundialmente até 2017.

Há duas formas de se enxergar a adoção de CE num país: por volume de vendas ou *market share*. Como se pode observar na 4, Estados Unidos e China possuem grande parte do volume de vendas mundialmente, mas que se reflete em porcentagem pequena do seu *market share*, pois são países o qual a população compra dezenas de milhões de carros anualmente. Entretanto, há países menores que estão mais avançados no processo de adoção da tecnologia de CEB e CEHP. A Noruega e Dinamarca estão investindo intensivamente na difusão de CEB com subsídios para compra e construção de infraestruturas de recarga futuramente (BOON; BAKKER, 2016). As vendas de CEB na Noruega, por exemplo, chegaram a 25% das vendas totais de veículos em março de 2015 (NILSSON; NYKVIST, 2016). Já a Holanda possuía políticas de incentivos apenas para CEB, pois não previam o surgimento de uma tecnologia híbrida como a dos CEHP, e passaram, a posteriori, a enxergá-la como uma tecnologia de transição para CEB (BOON; BAKKER, 2016).

A Figura 5 mostra os países mais avançados na difusão de carros elétricos e sua porcentagem na participação de mercado de cada país.

A região nórdica possuía cerca de 247 mil CE (considerando apenas os CEB e CEHP) em 2017, sendo 176 mil desses (aproximadamente 70%) apenas na Noruega

Figura 4 – Frota de carros elétricos em circulação mundialmente



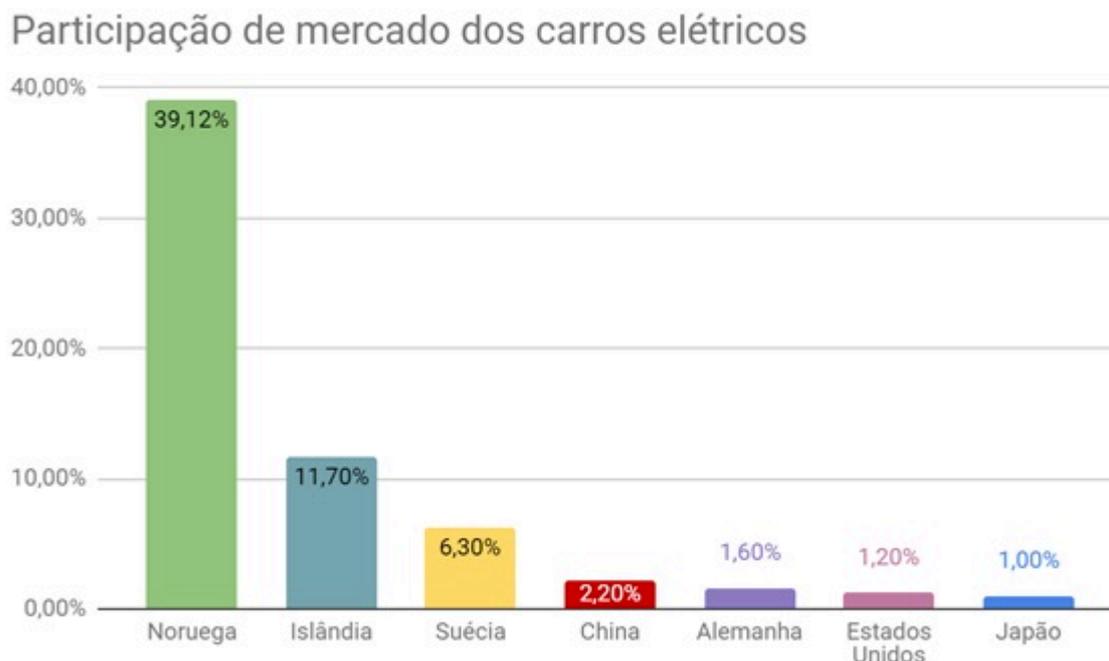
Fonte: Adaptado de IEA (2018a)

(IEA, 2018c). Pode-se ver que está ocorrendo um crescimento exponencial, característico do processo de difusão (BASS, 1969; ROGERS, 2003). A Noruega tem uma história de testes com carros elétricos desde 1990 criando nichos de mercado e testes de campo (FIGENBAUM, 2017).

Havia um ceticismo em relação ao sucesso dos CEB e CECC, principalmente pela lenta resposta da indústria automotiva perante estas tecnologias. E, se obtivessem algum sucesso, seria apenas no longo prazo (em 30 ou mais anos). Também não havia uma opinião decisiva formada sobre qual dos dois dominaria no longo prazo ou se até mesmo co-existiriam (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013; BREE; VERBONG; KRAMER, 2010). Com os recentes avanços nas vendas globalmente, como mostrado nas figuras 4 e 5, devido em parte ao esforço de novos entrantes Tesla e BYD que ajudaram a romper a crença de que os CEB possuíam sempre um baixo alcance, as grandes montadoras estão investindo no desenvolvimento dessa tecnologia.

As grandes montadoras, vistas como importantes atores no de mudança, pois possuem recursos e competências, carecem de inovações pertinentes e radicais para o sucesso desse nicho de CE (XUE *et al.*, 2016). Existe o receio de uma montadora correr o risco de se envolver definitivamente com uma tecnologia que pode "não ser a certa". O que ocorre, portanto, é um efeito manada. Assim como aconteceu no início

Figura 5 – Participação de mercado dos carros elétricos por país.



Fonte: Adaptado de IEA (2018a).

do século passado, quando os CCI obtiveram grande vantagem relativa aos CEB, o segundo fora abandonado em detrimento do desenvolvimento tecnológico do primeiro.

Este efeito manada é representado na Figura 6. Esta figura mostra um gráfico com o total de modelos de carros elétricos à bateria ou híbridos *plug-in* anunciados para fabricação pelas montadoras.

Em 2016 havia apenas 18 modelos no mercado. Já em 2018 passou para 22 modelos à venda e totalizaria mais de 40 até o final de 2019. A previsão, segundo divulgação das montadoras, é que em 2021 haverão mais de 100 modelos de CEB ou CEHP disponíveis no mercado. Já os CECC, mesmo usufruindo dos avanços no sistema de transmissão elétrica e das baterias, possuem uma trajetória tecnológica diferente, pois dependem dos avanços na tecnologia de produção e distribuição de hidrogênio (MCDOWALL, 2014). Um receio em relação a esta tecnologia é de que aconteça o mesmo que aconteceu com o CEB no início do século passado. Hoje, como mostrado nas figuras acima, os CEB e CEHP estão ganhando momento devido às suas vantagens iniciais já desenvolvidas e a cada ano mais investimentos e empresas se dedicando a essas tecnologias (IEA, 2018a). O que pode acontecer é o redirecionamento dos investimentos que estão indo para CECC, irem para essas outras duas tecnologias, visto que as empresas possuem recursos limitados e não querem ficar de fora da transição que está por vir. Esse assunto será mais discutido

Figura 6 – Total de modelos de CEB e CEHP anunciados pelas montadoras.



Fonte: Adaptado de TE (2018).

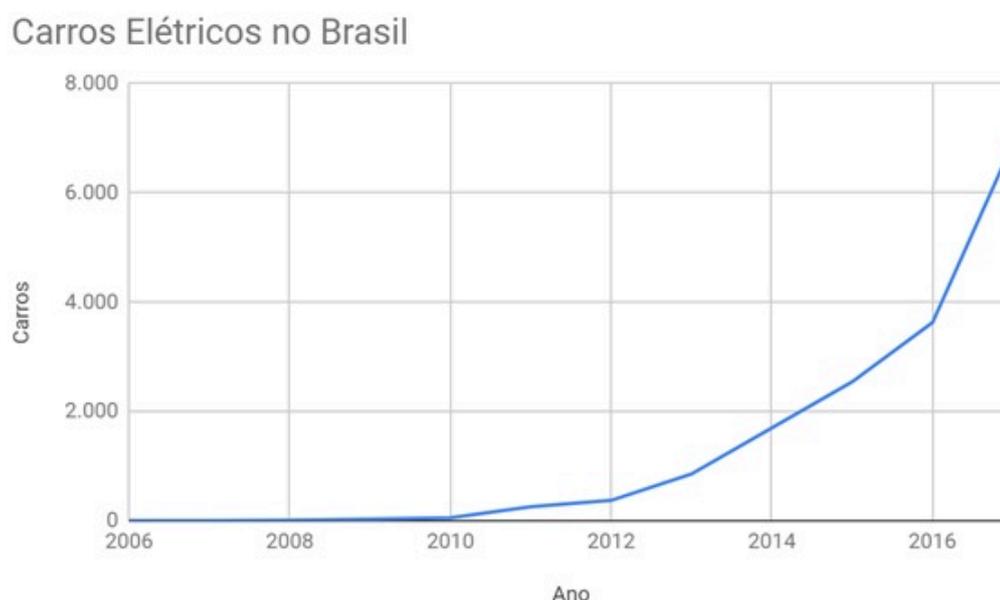
no capítulo do Artigo 1.

Existe também a possibilidade de outras trajetórias com alternativas sustentáveis para a mobilidade, como os biocombustíveis. No entanto, os biocombustíveis estão encarando sérias resistências políticas, tanto de ONGs quanto dos burocratas de Bruxelas e políticos (NILSSON; NYKVIST, 2016). O próximo capítulo abordará o tema das transições sustentáveis e serão apresentadas a base teórica que fundamenta a escolha dos carros elétricos como a solução mais provável. No início dos anos 1990, experimentos com carros elétricos se tornaram popular na Europa e algumas partes dos Estados Unidos. Esses experimentos eram focados em aprendizado e incorporação institucional a qual o conhecimento gerado era utilizado para melhoria da tecnologia e também resultando em efeitos de aprendizado de segunda ordem (HOOGMA, 2002).

A situação dos carros elétricos no mercado brasileiro é de um produto recém-chegado e que ainda ocupa uma pequena porção da frota total de carros, com aproximadamente 0,017% do total, atingindo um valor de quase sete mil veículos em 2017 (ANFAVEA, 2018). A 7 a seguir mostra a quantidade aproximada de carros elétricos no Brasil e seu crescimento ao longo dos últimos anos.

Por ser um bem ainda novo e com diversas barreiras à sua entrada, não se pode ter certeza do seu sucesso no longo prazo. O sucesso do motor de combustão interna suprime a emergência de alternativas, mantendo a dominância de seu mer-

Figura 7 – Frota brasileira de CE



Fonte: Adaptado de Anfavea (2018).

cado (STRUBEN; STERMAN, 2008). Essa é uma situação comum no processo de transição sócio-técnica, o qual o regime atual (no caso os carros e toda infraestrutura do motor à combustão e combustíveis fósseis) de maneira direta ou indireta suprime a mudança para uma tecnologia sendo desenvolvida no nicho (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

O sucesso da introdução e difusão de veículos com combustíveis alternativos é mais difícil e complexo do que o de outros produtos. Isso acontece, pois as dinâmicas são condicionadas por uma ampla ordem de retroalimentações positivas e negativas, incluindo boca-a-boca, exposição social, marketing, economias de escala e escopo, aprendizado de experiência, Pesquisa e Desenvolvimento (PD), transbordo de inovações, ativos complementares como o combustível e infraestrutura de serviços, interações com a cadeia de suprimentos e outras indústrias (STRUBEN; STERMAN, 2008).

O regime de mobilidade, por exemplo, inclui não somente designs tecnológicos paradigmáticos para os carros, mas também autoridades especializadas em planejamento de rodovias, instituições de carteira de motorista e seguros e garantias, capacidade de lobby das montadoras de carros, empresas de petróleo e a significância cultural da mobilidade (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). De fato, transições sócio-técnicas não somente modificam a estrutura dos sistemas existentes, como de transportes, mas também afetam outros domínios sociais, tais como: habitação, trabalho, produção e

trocas, planejamento e políticas (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

O trabalho de Mendonça, Cunha e Nascimento (2018) identificou que o projeto de criação de veículos elétricos liderado pela Itaipu realizado em nicho ainda não depreendeu uma mudança substancial no regime sócio-técnico. Por outro lado, os autores ressaltam que a busca por tecnologias mais limpas e busca por maior eficiência energética tem contribuído para o desenvolvimento do veículo elétrico. Desta forma, outras tecnologias vem surgindo nos nichos que possam contribuir para a difusão do veículo elétrico e a ruptura do paradigma atual que é o regime dos veículos com motor à combustão (MENDONÇA; CUNHA; NASCIMENTO, 2018).

Não basta apenas desenvolver uma tecnologia inovadora superior a que está sendo utilizada no regime. Estas mudanças ou reestruturação ecológica de padrões de produção e consumo requererão não apenas a substituição de tecnologias antigas por novas, mas mudanças radicais nos sistemas de inovação ou regimes tecnológicos incluindo a mudança de padrões de consumo, preferencias de usuário, regulamentos e artefatos (HOOGMA, 2002). Produtos como o carro necessitam de diversos outros produtos e serviços para que possam existir. Mendonça, Cunha e Nascimento (2018) abordam que é preciso não focar somente na montagem dos veículos elétricos, mas a difusão dos veículos elétricos envolve também a formação de pessoas capacitadas para lidar com essa nova tecnologia, produzir toda a infraestrutura para dar suporte aos pontos de recarga e à manutenção dos veículos, desenvolver fornecedores de peças e equipamentos para que o veículo se torne economicamente viável. No Brasil, diferentemente de outros países como a Suíça e outras regiões da Europa, nem os fornecedores de peças e serviços mais básicos existem ainda

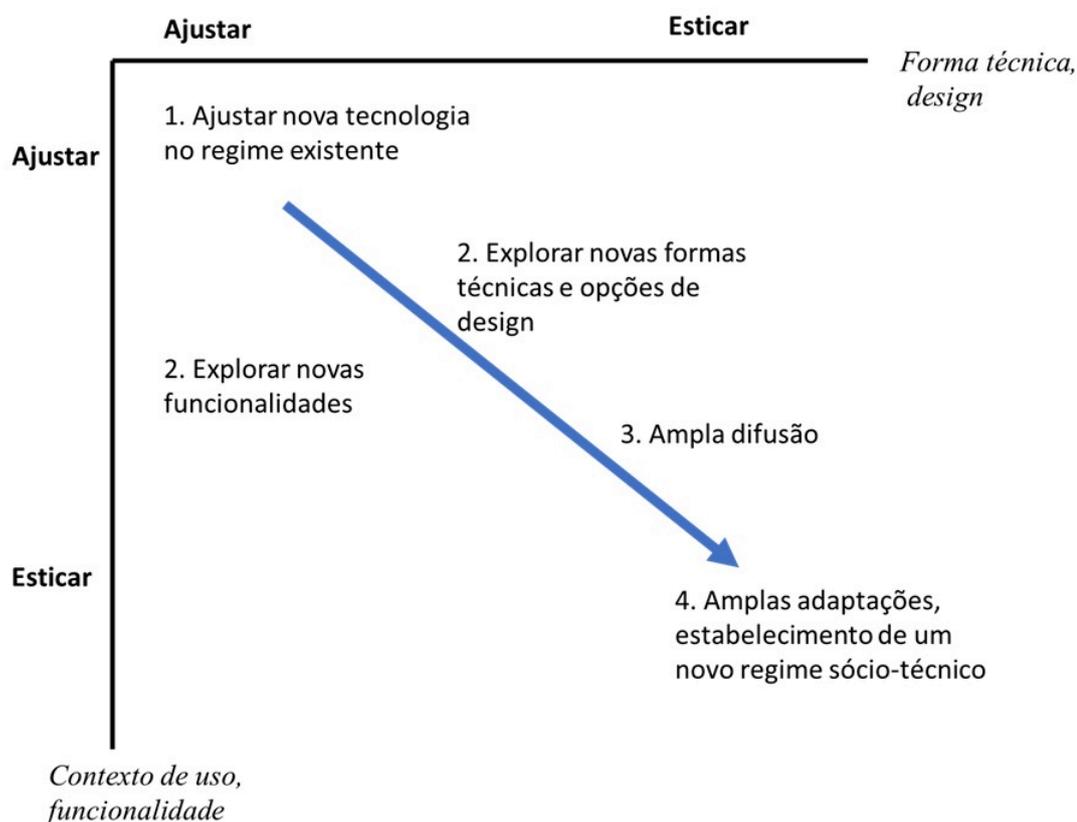
Um padrão que acontece nos sistemas de inovação e pode ser aplicado para o caso dos CE é o de "ajustar-esticar"(ORSATO *et al.*, 2012). A Figura 8 ilustra como o padrão geralmente ocorre num processo de transição. O eixo horizontal representa o ajuste ou esticamento de uma inovação em termo da forma técnica ou design e o eixo vertical representa o ajuste ou esticamento em termos de contexto do usuário ou a funcionalidade da inovação (ORSATO *et al.*, 2012).

Esse padrao demonstra a necessidade da co-evolução dos sistemas sociais e tecnológicos para que ocorra a substituição de uma tecnologia por uma inovação surgente (GEELS, 2005a). Na fase inicial de uma transição, tanto a forma quanto função de uma tecnologia se ajustam ao regime existente e gradualmente desenvolvimentos tecnológicos leval a novas formas tecnológicas e a experiência do usuário leva a novas funcionalidades - "esticando" a inovação (GEELS, 2005a).

Portanto, uma inovação que não siga esse padrão de primeiro se ajustar, assimilando-se com o regime existente e aos poucos ir se diferenciando, possui menores chances de obter sucesso (GEELS, 2005a; ORSATO *et al.*, 2012). O caso da empresa Better Place é um exemplo disso, o qual a empresa tentou esticar muito a

inovação, diferentemente de outras empresas que primeiro tentaram se ajustar para depois esticar (SOVACOOOL, 2017). Por esta razão, dentre outras já citadas, o modelo de posse do carro é o mais provável a obter sucesso no médio-prazo (GEELS, 2018).

Figura 8 – Padrões de ajustar-esticar.



Fonte: Adaptado de Geels (2005a).

Os SCCE esticam o regime em ambos os eixos ao modificar a tecnologia dominante de CCI para CE, como também o modelo de negócios da indústria, saindo de um modelo de posse individual do carro para um modelo que utiliza carros compartilhados entre diversos usuários. Como o mercado de seleção tecnológica do regime sócio-técnico no início de uma transição ainda considera características do *modus operandi* do regime anteriormente, é difícil que uma mudança do modelo de posse do carro aconteça brevemente. Os usuários de carro como modal de transporte para a mobilidade urbana ainda estão acostumados com a facilidade, disponibilidade e conforto de usar o carro próprio: da garagem para o trabalho e de volta para a garagem.

Já se utilizarem um carro compartilhado, muitas vezes teriam que se deslocar de locais distantes, pois há regiões específicas ou estações onde se deve estacionar os carros. O que acaba por reduzir o conforto e facilidade de uso. A mudança tecnológica dos CCI para CE, seja por bateria ou hidrogênio, exige menor mudança de comportamento e adequação ao uso por parte dos usuários em comparação a uma

mudança de modelo de negócios, como no caso da empresa Better Place que falhou ou para sistemas de compartilhamento de carros. Isso significa que os sistemas de compartilhamento devem continuar como um nicho por um longo tempo, mesmo após a transição de CCI para CE. A viabilidade dos SCCE, entretanto, podem ser aceleradas com o advento dos carros autônomos que facilitarão o seu uso e aumentarão o conforto (LANG; MOHNEN, 2019). Mas isto é assunto para trabalhos futuros. O potencial dos carros elétricos compartilhados em contexto de nicho são de experimentação e propagação de externalidades positivas, como argumentadas a seguir.

Um recente *report* da *Bloomberg News Energy Finance* identificou que as perspectivas de vendas para carros elétricos no longo prazo serão influenciadas pelo quão rápido as estruturas de carregamento (abastecimento) se espalharão por mercados-chave e também pelo crescimento da ‘mobilidade compartilhada’ (BNEF, 2018).

Os motoristas ainda possuem certo preconceito e são hesitantes ao comprar um carro elétrico (HARDMAN; SHIU; STEINBERGER-WILCKENS, 2015) por outro lado o compartilhamento de carros pode servir como um meio de acesso e potencial modo de refutar suas objeções (SCHLÜTER; WEYER, 2019). A possibilidade de teste de uma nova tecnologia tende a aumentar o sucesso de sua adoção no longo prazo, visto que o custo e risco de adotá-la sem muito conhecimento são grandes e nem todos estão dispostos a correr (ROGERS, 2003). Por outro lado, com a possibilidade de testar o produto e garantir sua confiabilidade e adequação ao uso, esta pode ser adotada com maior facilidade (MATSCHOSS; REPO, 2018).

Os sistemas de compartilhamento de carros elétricos podem servir, além de ser um novo tipo de modelo de negócios de transporte, também como uma plataforma para experimentação. Os carros elétricos compartilhados podem impactar a difusão de carros elétricos comuns (SCHLÜTER; WEYER, 2019). A experiência e construção de conhecimento através de visualização, teste e aprendizado por outros ao expor frotas de CEB (como as de carros compartilhados) se mostraram como fontes de mudanças rápidas nas atitudes das pessoas em relação a esta tecnologia (NILSSON; NYKVIST, 2016; TRUFFER; SCHIPPL; FLEISCHER, 2017).

Como citado, as frotas de carros compartilhados elétricos podem auxiliar também na característica da observabilidade. Ao implementar este tipo de frota nas cidades, elas se tornam alvo de conversas, busca de informações e conhecimento e esclarecimento por parte das pessoas em relação ao seu funcionamento. Isto pode gerar uma mudança no processo de decisão do potencial adotante, fazendo-o considerar a obtenção de um CE e analisar sua vantagem relativa diante dos carros comuns, agora com mais conhecimento.

Um estudo realizado por Morton *et al.* (2018) sobre a variação espacial da adoção de CE no Reino Unido identificou que os registros dos carros possuem correlação, assim como a adoção desses veículos também possui correlação com formação uni-

versitária, profissionais livres e renda pessoal acima da média. Essas características estão de acordo com a Teoria da Difusão de Rogers (2003), mostrando a importância do relacionamento interpessoal entre os moradores do mesmo bairro para conversação e troca de informações sobre a inovação, o que pode levar a um aumento da adoção pelo efeito boca-boca. Portanto, existe homofilia também no processo de difusão de CE.

Outro ponto do estudo de Morton *et al.* (2018) demonstra é que a presença de infraestruturas de carregamento para os CE também possui correlação espacial de crescimento e decréscimo com a adoção dos CE para bairros com características demográficas similares.

Esse efeito demonstra o que foi encontrado em diversos outros artigos desta revisão (ver por exemplo: Bakker, Leguijt e Lente (2015), Dijk (2016), Hussaini e Scholz (2017), Bohnsack (2018) e Mazur, Offer *et al.* (2018), entre outros). Isso acontece, pois a tecnologia não pode ser considerada isoladamente. Os carros, como diversas outras inovações, dependem de outras tecnologias para o seu funcionamento, como os postos de abastecimento, estradas, entre outros, tornando-se clusters tecnológicos. Por esta razão, mesmo que os CE possam obter vantagem relativa positiva em relação aos carros com motor à combustão, a presença ou ausência de outras tecnologias pode afetar seu processo de difusão.

Na cidade de Sydney na Austrália, por exemplo, o uso de carros compartilhados ajudou a cidade a inaugurar sua primeira estação de carregamento para veículos elétricos (DOWLING; KENT, 2015). Já no Brasil, temos o caso da cidade de Fortaleza com o projeto VAMO. Como descrito no sítio do projeto, o VAMO Fortaleza trata-se de “uma Iniciativa para promover a mobilidade urbana sustentável através de uma rede de compartilhamento de carros elétricos, disponibilizados na cidade de Fortaleza” (VAMO, 2019). Dentre as características previstas estão os conceitos de economia, mobilidade, sustentabilidade, integração, estacionamento próprio e mais vagas (PEREIRA, 2018).

Entretanto, processo de difusão e adoção no Brasil é lento. Benvenuti, Ribeiro e Uriona–Maldonado (2017) realizou um estudo com DS de difusão de CE no Brasil com a aplicação de algumas políticas. Seus cenários prospectivos para CE no Brasil para o ano de 2030 mostravam apenas 140 mil carros no total, resultando em apenas um quarto das vendas de CE na China em 2017. Isso indica que o Brasil está caminhando lentamente para uma transição para essa tecnologia e se faz necessária a aplicação de políticas que ajudem a acelerar este processo de transição para sustentabilidade.

3.2 SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO DE CARROS

Mesmo ganhando momento, o cenário atual ainda não é favorável para o sucesso e substituição do regime de CCI por CE. Ao menos não no curto ou médio prazo. Para Dijk (2016) e Truffer, Schippl e Fleischer (2017), entre outros autores, há

duas maneiras de mudar esta trajetória: (1) novos modelos de posse do veículo, como compartilhamento de carros e (2) com auxílio intenso de políticas públicas.

O fenômeno de tornar bens de indivíduos ou organizações que são pouco utilizados em recursos produtivos é chamado de economia compartilhada (WALLSTEN, 2015). Pode-se dizer que a economia compartilhada é um modelo econômico e cultural baseado em acesso aos produtos ao invés de sua exclusiva obtenção (PISCICELLI; COOPER; FISHER, 2015). Para se ter uma ideia, a maioria dos carros privados ficam cerca de 90% do seu tempo parados, estacionados sem utilidade e, muitas vezes, ocupando espaços públicos (SHOUP, 2005). Em contraste, carros em um sistema de compartilhamento possuem uma média de utilização diária que varia entre 25% e 40%, dependendo da localização e organização fornecedora do serviço (SHAHEEN; COHEN, 2012).

Avanços em tecnologias de informação e comunicação, GPS, redes sem fio de *internet*, computadores em nuvem e outras estão contribuindo para a economia compartilhada ao facilitar o compartilhamento de bens que senão seriam utilizados apenas por um indivíduo ou residência (SHAHEEN; BELL *et al.*, 2017). O valor é gerado ao combinar os bens com os consumidores que estão dispostos a pagar pelo serviço a ser provido (WALLSTEN, 2015)

Os sistemas de compartilhamento de carros Sistemas de compartilhamento de carros (SCC) são um caso típico de sistemas de produto-serviço SPS, no qual os usuários podem reservar carros quando necessitam e pagar as despesas do automóvel numa base variável, seja por tempo utilizado ou por distância percorrida (YANG *et al.*, 2009). Ao invés de comprar um carro, as pessoas utilizam carros compartilhados, substituindo a posse de um bem pelo serviço utilizado. Um SPS é um conjunto comercializável de produtos e serviços capazes de, juntos, satisfazer as necessidades dos usuários (GOEDKOOP *et al.*, 1999). Os SPS podem ser pensados como uma proposição mercadológica que estende a funcionalidade tradicional do produto ao incorporar serviços adicionais com a ênfase na venda do “uso” ao invés da venda da obtenção do “produto” (BAINES *et al.*, 2007).

Devido a pressões políticas, regulatórias e também dos consumidores, com um grande interesse em sustentabilidade, novos fenômenos como a economia compartilhada estão se tornando importantes para as empresas e para a sociedade como um todo (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016). Consequentemente, os sistemas de compartilhamento de carros que iniciaram com o objetivo de reduzir o impacto dos custos da compra de um carro particular, tiveram o foco voltado também para a sustentabilidade, principalmente ambiental (SHAHEEN; COHEN, 2012; YOON; KIM; RHEE, 2012).

O princípio do compartilhamento de carros é simples: pessoas obtém acesso a veículos privados, pagando por tempo de uso ou quilômetros rodados, oferecendo uma

alternativa “paga enquanto usa” (SHAHEEN; COHEN, 2012). Portanto, os usuários deste serviço obtêm acesso a veículos privados sem a necessidade de compra, podendo resultar em consideráveis ganhos financeiros (MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010) e mais flexibilidade e agilidade em relação a outros tipos de transporte (ALFIAN; RHEE; YOON, 2014). O provedor do produto-serviço geralmente é responsável por manutenção, reparação e controle (TUKKER, 2004). Ao vender a usabilidade do produto, a empresa é motivada a criar um PSS que maximize o uso do produto para que este atenda a demanda, estenda seu tempo de vida e reduza a quantidade de materiais necessários para sua produção (BAINES *et al.*, 2007).

Dentre os tipos de sistemas de compartilhamento de carros que existem, há dois que mais se destacam: os de flutuação livre e os baseados em estações ou não flutuação livre. Sistemas de flutuação livre permitem aos usuários estacionar o carro em uma certa área de cobertura, enquanto os de estações impõe restrições para os usuários de ter que estacionar o veículo em estações com um número limitado de espaços para estacionar espalhados numa região (BOYACI; ZOGRAFOS; GEROLIMINIS, 2017). Portanto, o SCC é um modo de transporte flexível e rápido, combinando estações ou não, veículos, serviços, estradas e tecnologia de informação num sistema integrado (MUGION *et al.*, 2018).

Os parceiros mais comuns dos SCC são os governos locais e regionais devido ao seu papel no planejamento de transporte urbano, transporte público, políticas de uso da terra, dentre outros (SHAHEEN; COHEN *et al.*, 2017). Compreendendo a mobilidade compartilhada, os criadores de políticas podem alavancar os impactos positivos, como redução de espaços para estacionamento, do congestionamento, dos gases de efeitos estufa, da poluição do ar local e provir acesso de mobilidade mais flexível para populações desassistidas (que não podem comprar um carro, por exemplo) ao mesmo tempo que domesticam os possíveis impactos negativos como um aumento no número de veículos individuais e sua intensidade de uso (COHEN; SHAHEEN, 2018). Para que se maximize os benefícios para a região, o setor público deve escolher quais programas de compartilhamento melhor coincidem com os objetivos da cidade e seu planejamento (SANTOS; BEHRENDT; MACONI *et al.*, 2010).

Devido ao uso compartilhado, a necessidade geral de capital no sistema é consideravelmente menor, diminuindo os custos iniciais e, conseqüentemente, reduzindo a barreira de acesso a novos consumidores (TUKKER, 2004). Isto é positivo, pois segundo Hardman, Shiu e Steinberger-Wilckens (2015), o custo total de se ter um carro elétrico à bateria (com manutenção, reparo e combustível) é menor que um CCI da mesma categoria, evitando um alto investimento considerado de risco pelo consumidor na compra de um CEB. É importante ressaltar que esse estudo supracitado comparava carros considerados de luxo. Entretanto, esta é uma verdade que vêm se mantendo com o barateamento das baterias de lítio (BERKELEY *et al.*, 2017; NYKVIST; NILS-

SON, 2015a).

Uma questão importante em relação ao aspecto ambiental é o efeito rebote, no qual se espera que o múltiplo uso de bens, como no caso do compartilhamento ou leasing, leve automaticamente a um baixo impacto ambiental (MONT, 2002). Porém, isto nem sempre é verdade. Os impactos ambientais dependem das circunstâncias, esquemas e condições de utilização (ANNARELLI; BATTISTELLA; NONINO, 2016; TUKKER, 2015). Para uma frota de carros compartilhados que são elétricos, seu impacto nas emissões de gases do efeito estufa menores, dependendo da fonte primária de energia podem ser até zero emissões (MUGION *et al.*, 2018).

Outro possível efeito rebote é o das pessoas deixando de utilizar o transporte público para usar um SCC, aumentando a quantidade de veículo-quilômetros viajados (VQV) e, conseqüentemente, as emissões de poluidores e congestionamento. Mesmo que este argumento seja sensato, as pesquisas acerca deste assunto tem mostrado o contrário. De fato, alguns usuários deixam de utilizar o transporte público e passam a utilizar o carro compartilhado enquanto outros mudam do carro próprio para este sistema (seja vendendo ou postergando a compra de um carro) (MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010). Mas na soma, os usuários reportam uma redução em VQV devido a conectividade para os primeiros e últimos quilômetros da viagem, aumentando o uso de outros modais para completar sua viagem, podendo ser a pé, por bicicleta ou transporte público (COHEN; SHAHEEN, 2018; MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010; SHAHEEN; COHEN *et al.*, 2017).

Além das políticas físicas, os SCC ainda podem receber políticas "leves" como subsídios e relacionadas ao conhecimento. Um exemplo são as políticas que buscam por mecanismos de mudanças comportamentais, como a distribuição de folhetos e manutenção de *websites* que providenciam informações, junto com subsídios para, por exemplo, funcionários do governo que utilizem os carros compartilhados, como é o caso da Zipcar dentro da Universidade da Califórnia (ZHOU, 2014).

Devido a necessidade de utilizar espaços públicos para estacionar, criar infraestruturas como estações para recarga de carros elétricos e fazer conectividade com outros modais de transporte, o SCC mesmo estando primariamente nas mãos do setor privado são fortemente dependentes das instituições e autoridades locais (ZHOU, 2014). Em outras palavras, para facilitar o compartilhamento de carros, autoridades locais devem garantir exclusividade de uso de espaços nominalmente públicos para um negócio privado. O que justifica o envolvimento público ou políticas públicas para o desenvolvimento de SCC são os potenciais benefícios para a sociedade (DOWLING; KENT, 2015).

Entretanto, devido ao seu tamanho e escopo, pode levar tempo para que os impactos de um SCC, após sua introdução na cidade, possam ser percebidos (FIRNKORN; SHAHEEN, 2016). Um exemplo é o caso da City CarShare na cidade de São

Francisco, EUA. Um estudo longitudinal identificou um aumento em VQV durante o primeiro ano do programa, os quais dois terços dos usuários vinham de residências sem casas (CERVERO, 2003). Já no segundo ano de pesquisa, o VQV reduziu entre os usuários (CERVERO; TSAI, 2004). Essa diferença ocorreu, pois os primeiros usuários eram pessoas que não possuíam carros ou com mais afinidade com aspectos ambientais que costumam ser entusiastas de bicicleta (CERVERO; TSAI, 2004). Com a maturidade do programa, outros usuários se acostumaram e passaram a usá-lo também.

Os problemas de mensuração e entendimento dos impactos dos sistemas de compartilhamento são em parte devido a uma abordagem estática ao invés de uma dinâmica. Para Firnkorn e Shaheen (2016) deve se considerar os aspectos dinâmicos e assimétricos do desenrolar dos impactos dos SCC, tais como redução de VQV, de CO_2 , dentre outros, através do tempo como base para políticas que maximizem a sustentabilidade de longo prazo. Por esta razão, dentre outras, que utilizo a DS na modelagem para compreensão dos possíveis impactos do projeto VAMO em Fortaleza.

No caso da mobilidade urbana, o compartilhamento de bens pode ser uma alternativa, uma transição do modelo atual para um contexto de sustentabilidade, reduzindo a necessidade de obter um bem e intensificando a utilização de bens já existentes. Contudo, devido aos fatores culturais da sociedade, dificuldade de acesso a estações de compartilhamento, problemas com remanejamento das frotas, entre outros fatores, o uso das carros compartilhados ainda é limitado (WAPPELHORST *et al.*, 2014; FIRNKORN; MÜLLER, 2011; DIJK; ORSATO; KEMP, 2013; AKYELKEN; BANISTER; GIVONI, 2018). Entretanto, esta realidade pode mudar com a introdução dos carros elétricos compartilhados autônomos (MAZUR; OFFER *et al.*, 2018).

Enquanto a tecnologia dos veículos autônomos não chega, o mais provável é o domínio do manutenção da posse privada do veículo por pessoas físicas - nosso modelo atual (GEELS, 2018). Entretanto, os carros elétricos compartilhados podem impactar a difusão de carros elétricos comuns (DOWLING; KENT, 2015; SCHLÜTER; WEYER, 2019). A experiência e construção de conhecimento através de visualização, teste e aprendizado por outros ao expor frotas de VEBs (como as de carros compartilhados) se mostraram como fontes de mudanças rápidas nas atitudes das pessoas em relação a esta tecnologia (NILSSON; NYKVIST, 2016; TRUFFER; SCHIPPL; FLEISCHER, 2017).

3.2.1 Projeto VAMO

Sob o contexto de busca por uma cidade sustentável em Fortaleza, Ceará, diversas iniciativas estão sendo observadas no transporte público da cidade, como é o caso das bicicletas compartilhadas, existentes também em outras cidades do país. Para esta pesquisa, o foco esteve no projeto Veículos alternativos para mobilidade

(VAMO), que utiliza esta sigla em referência à abreviação de Veículos Alternativos para Mobilidade Urbana (FORTALEZA, 2018). Trata-se de um projeto que se encontra em operação, que atua com o compartilhamento de veículos movidos à eletricidade (PEREIRA, 2018). A Figura 9 mostra um veículo da iniciativa e algumas informações acerca do seu funcionamento e objetivos.

Figura 9 – VAMO Fortaleza

Uma maneira mais inteligente e sustentável de se locomover pela cidade.

Iniciativa para promover a mobilidade urbana sustentável através de uma rede de compartilhamento de carros elétricos, disponibilizados na cidade de Fortaleza.

Economia

Evita a necessidade de aquisição e manutenção de carro próprio.



Mobilidade

Favorece uma mobilidade urbana, no qual o usuário poderá escolher o melhor meio de transporte em função de suas necessidades de deslocamento.



Sustentabilidade

Carro 100% elétrico, evitando a emissão de poluentes na atmosfera.



Mais vagas

Cada carro compartilhado, num sistema amplo, evita entre 6 e 9 carros particulares.



Integração

O sistema se integra aos demais modais de transportes.



Estacionamento

O sistema de carros compartilhados possui estacionamento exclusivo nas estações.

Fonte: VAMO (2019).

Como descrito no sítio do projeto, o VAMO Fortaleza trata-se de “uma Iniciativa para promover a mobilidade urbana sustentável através de uma rede de compartilhamento de carros elétricos, disponibilizados na cidade de Fortaleza” (VAMO, 2019). O VAMO possui relação com os planos de longo prazo para a cidade de Fortaleza em conjunto com o plano Fortaleza 2040.

O plano Fortaleza 2040 de cidade sustentável, apresentado pela Prefeitura da capital cearense no ano de 2014, cujo um dos pilares aborda a reconfiguração do sistema de mobilidade, atrelada ao conceito de cidades inteligentes (FORTALEZA 2040, 2019). Segundo o Fortaleza 2040, a taxa de crescimento da frota de veículos na cidade de Fortaleza foi 12% ao ano entre 2009 e 2013, chegando a um número maior que 900 mil unidades. Vê-se cerca de 6.500 novos veículos adicionados à frota a cada mês, ocasionando impactos à sustentabilidade no que se refere ao tema mobilidade.

Iniciado no ano de 2016, o VAMO possui atualmente 20 (vinte) carros em sua frota, sendo 15 (quinze) do modelo "Zhidou EEC L7e-80" e 5 (cinco) do modelo "BYD e6", que estão disponíveis em 12 (doze) estações espalhadas pela cidade de Fortaleza (VAMO, 2019; FORTALEZA, 2019). No dia 21 de setembro de 2018, o VAMO come-

Figura 10 – Tarifas do VAMO

TARIFAS POR TEMPO DE USO

Tempo de uso	Tarifa
Até 30 minutos	R\$ 15,00
31 a 60 minutos	R\$ 20,00
61 a 120 minutos	R\$ 30,00
121 a 180 minutos	R\$ 35,00
181 minutos a 300 minutos	+ R\$ 0,30 por minuto adicional
mais de 300 minutos	+ R\$ 0,50 por minuto adicional

EXEMPLOS

Tempo de uso	Valores
25 minutos	R\$ 15,00
40 minutos	R\$ 20,00
1h 30 minutos	R\$ 30,00
2h 30 minutos	R\$ 35,00
3h	R\$ 35,00
4h	R\$ 53,00
5h	R\$ 71,00
6h	R\$ 101,00
7h	R\$ 131,00

Fonte: VAMO (2019).

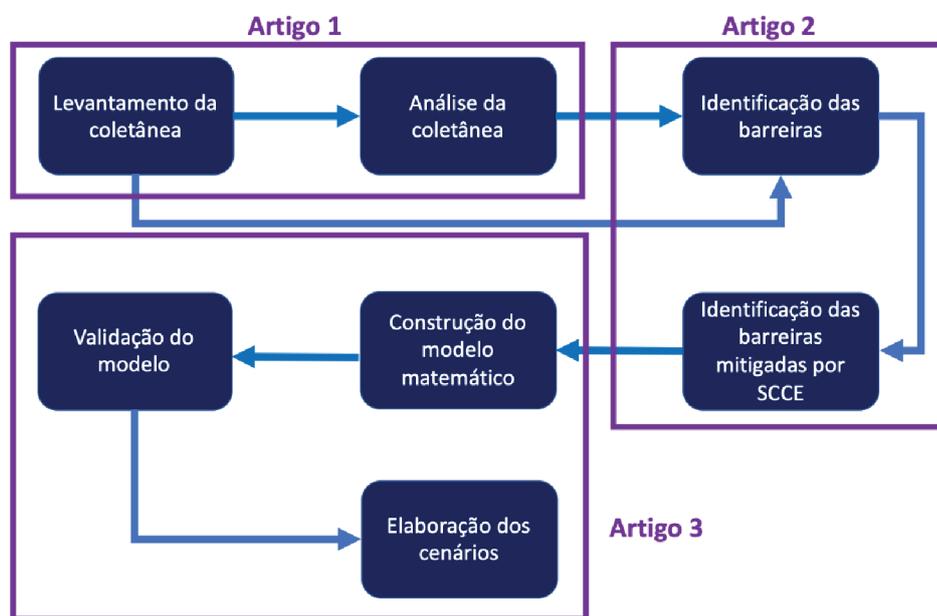
morou dois anos de atividade com mais de 3.753 viagens realizadas, 3.823 cadastros e 1.367 *test-drives* (FORTALEZA, 2019). A Figura 10 mostra uma imagem retirada do sítio do VAMO com informações sobre precificação e tarifa de utilização dos veículos por tempo de uso.

Além dos usuários dos carros compartilhados (sociedade civil), o sítio apresenta os seguintes atores no projeto: Prefeitura de Fortaleza, Serttel, Mobilidade e Hapvida, sendo o ator governamental aquele central na busca por mudanças na cidade. A utilização dos carros elétricos compartilhados por parte dos usuários ocorre por meio de aplicativos instalados em aparelhos móveis (celulares, tablets etc.) e, de maneira simplificada, é operacionalizado por meio de quatro etapas: cadastro prévio, solicitação do veículo, utilização do veículo e devolução do veículo.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão explicadas as etapas sucedidas para o cumprimento dos objetivos específicos que correspondem a esta dissertação. Com o intuito de evitar redundâncias desnecessárias, as etapas serão explicadas brevemente para que o leitor consiga acompanhar o passo a passo ocorrido para a realização do trabalho, enquanto os procedimentos metodológicos estão explicados mais a fundo na parte de metodologia de cada artigo, respectivamente.

Figura 11 – Etapas da metodologia



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 11 apresenta esquematicamente a sucessão das etapas e a cada artigo que as etapas se referem, mostrando a sequência lógica realizada.

4.1 LEVANTAMENTO DO CORPUS BIBLIOGRÁFICO

A etapa de levantamento da coletânea de artigos a serem lidos para a revisão de literatura tem como objetivo selecionar os artigos relevantes para o tema da dissertação.

Primeiramente, foram definidas as palavras-chave, identificadas no quadro 1. As palavras-chave foram divididas em palavras relacionadas com carros elétricos de um lado e palavras relacionadas a transições para sustentabilidade do outro, separadas por um operador booleano (e.g. *AND*). Em seguida foram escolhidas as bases de dados para a realização da busca, que foram *Scopus* e *Web of Science*.

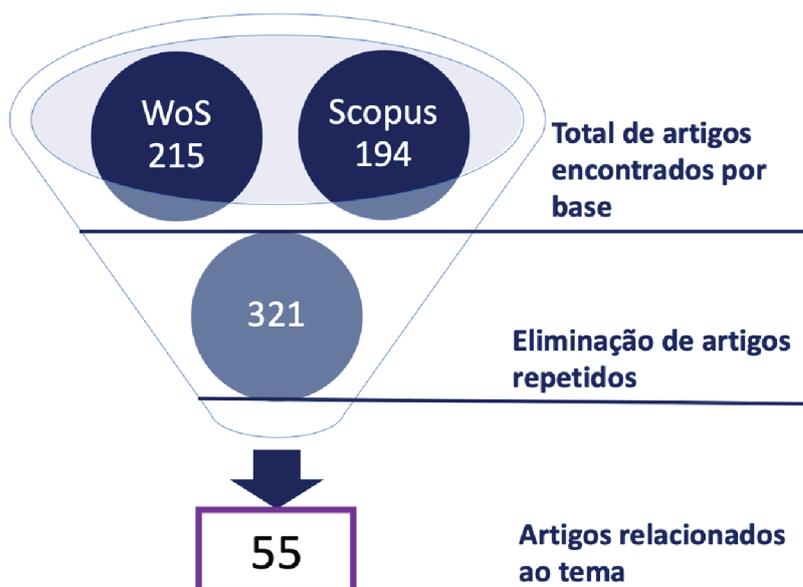
Quadro 1 – Palavras-chave utilizadas na busca da revisão sistemática.

Palavras relacionadas a transições	“Sustainab* transition”, “Sociotechnical transition”, “Multilevel perspective”, “Technological Innovation Systems”, “MLP”, “Low carbon transition” e “Transition Research”.
Palavras relacionadas a carros elétricos	“Electric vehicle”, “Electric car”, “Automotive industry”, “electric mobility”, “Passenger mobility”, “Hydrogen vehicle”, “Hydrogen car”, “Fuel cell”, “Hybrid vehicle”, “Hybrid car”, “Plug-in vehicle” e “plug-in hybrid”.

Fonte: Elaborado pelo autor

No total, foram encontrados 409 artigos, dos quais após eliminados os repetidos entre bases, sobraram 321. Em seguida, foram eliminados os lidos os títulos e resumos de todos os 321 artigos que sobraram, eliminando também aqueles artigos que apareceram na busca devido a algumas palavras-chave que também são utilizadas para temas diferentes. Também foram eliminados os artigos que não eram publicados em *journals* científicos, mas em congressos e eventos, com o intuito de manter rigorosidade científica para pesquisas já publicadas e revisadas por *peer-review*.

Figura 12 – Seleção de artigos para leitura



Fonte: Elaborado pelo autor

No final, sobraram 55 artigos científicos publicados, relacionados com o tema

de transições para sustentabilidade e carros elétricos e que foram lidos na íntegra uma ou mais vezes para realizar a análise de conteúdo. A figura 12 exemplifica a afunilação dos artigos encontrados.

4.2 ANÁLISE DA COLETÂNEA

A segunda etapa é a de análise da coletânea de artigos levantada na etapa 1. Ressalta-se que o objetivo desta análise era a compreensão dos fatores relevantes para o processo de transição para carros elétricos.

Como se tratou de uma busca exploratória pelo entendimento destes fatores, na análise de conteúdo, os fatores considerados relevantes da análise foram construídos e modificados ao longo da leitura de todos os artigos. Portanto, os fatores se limitaram àqueles considerados importantes pelo presente autor desse estudo, baseando-se nos fatores mais discutidos e também os considerados mais relevantes pelos autores dos artigos.

Os artigos foram lidos em ordem cronológica, do mais antigo para o mais recente, com o intuito de identificar as mudanças que ocorreram na literatura ao longo dos anos, as lacunas de pesquisas que não foram sanadas e poderiam ser aproveitadas como pergunta de pesquisa para esta dissertação e os principais fatores recentes relevantes a temática. Foram encontrados três principais fatores que afetam o processo de transição: (1) os atores sócio-técnicos e como se relacionam, (2) as tecnologias existentes e qual ou quais devem seguir o domínio do regime e (3) as políticas que podem acelerar o processo de transição.

Para informações aprofundadas sobre o procedimento metodológico, ir na seção de metodologia do Artigo 1 situado no capítulo 5.

4.3 IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS

A etapa 3 é a identificação das barreiras que impedem ou desaceleram o processo de transição para carros elétricos. Foi identificado na etapa 2 que os atores e tecnologias existentes são dois dos principais fatores relevantes para o processo de transição. Entretanto, as condições sócio-técnicas e a relação dos atores, das tecnologias e entre ambos criam barreiras para o processo de transição, necessitando das políticas para reduzir as diferenças das tecnologias de carros elétricos para a tecnologia dominante.

À partir desta compreensão, revisitou-se a coletânea de artigos construída, agora com o intuito de identificar quais são essas barreiras. Portanto, os artigos levantados foram lidos e fatores caracterizados como dificultadores para o processo de transição foram identificados como barreiras.

4.4 IDENTIFICAÇÃO DAS BARREIRAS MITIGADAS POR SCCE

A etapa 4 é a identificação das barreiras encontradas na etapa 3 que podem ser mitigadas pelo uso dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos (uma das políticas encontradas como facilitadoras para o processo de transição na etapa 2).

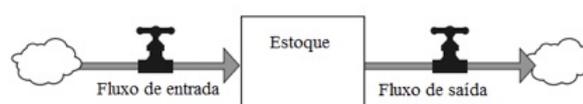
Com as barreiras para transição de carros elétricos encontradas, estas foram comparadas com as características dos sistemas de compartilhamento e identificadas de forma teórica, e sem mensuração de impactos ou relevância de cada barreira, como os SCCE poderiam mitigar algumas dessas barreiras e quais são essas barreiras passíveis de mitigação pela inserção desse modelo de negócios.

Mais informações sobre os procedimentos metodológicos das etapas 3 e 4 estão no Artigo 2 situado no capítulo 6.

4.5 CONSTRUÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

A etapa 5 é a construção do modelo matemático de Dinâmica de Sistemas. Segundo Sterman (2000), a DS é uma metodologia que serve para a melhoria do conhecimento sobre um sistema complexo, a qual o comportamento do sistema surge de sua estrutura. A estrutura é formada por enlaces causais, estoques e fluxos e não-linearidades criadas pela interação das estruturas físicas e institucionais do sistema com o processo de decisão dos agentes realizando ações neste sistema. A figura 13 apresenta um exemplo de um diagrama de estoque e fluxo.

Figura 13 – Representação de um diagrama de estoque e fluxo



Fonte: Traduzido de Meadows (2008).

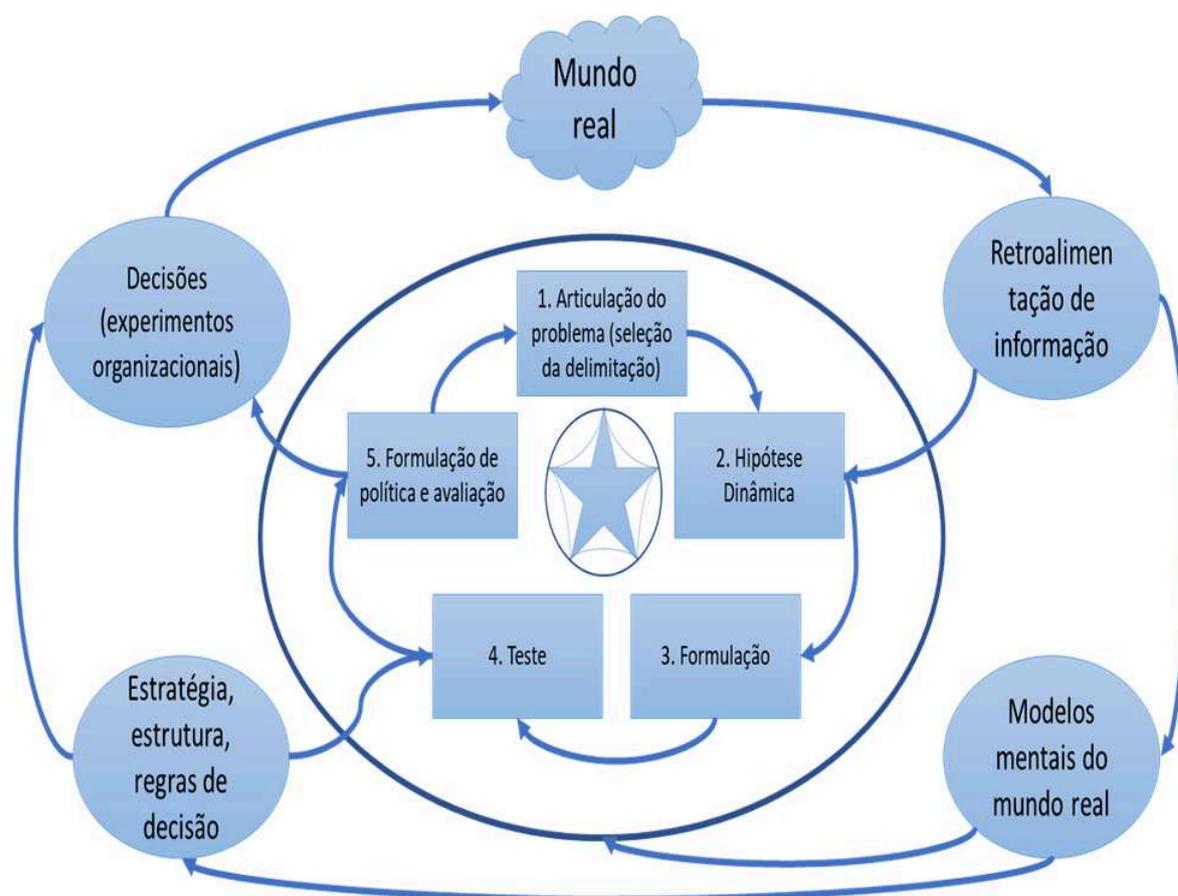
A construção do modelo segue passos lógicos, que são baseados no método científico (STERMAN, 2000). O primeiro passo é a articulação do problema. Neste momento é identificada a questão a ser estudada, o período de tempo que o modelo será rodado, o nível de análise (e.g. global, local, etc.) e as fronteiras do estudo e os fatores de escopo envolvidos (MORECROFT, 2015). Vale ressaltar a importância da delimitação das fronteiras, visto que um modelo é um substituto de um sistema real e são utilizados quando é mais fácil se trabalhar com o modelo do que com o sistema real (FORD, 2009). Portanto, a delimitação das fronteiras é a demarcação do limite de quais variáveis serão representadas explicitamente no modelo (endogenamente) em

termos de estoques e fluxos, quais variáveis serão representadas de maneira exógena e também quais serão exclusas do processo de modelagem (STERMAN, 2000).

Outro fator importante a ser considerado neste passo é a identificação se está lidando com um problema dinâmico e também a definição do modo de referência. O problema dinâmico é uma variável importante do sistema e que está mudando ao longo do tempo (FORD, 2009). Em outras palavras, a definição do problema dinâmico é a identificação do comportamento histórico dos conceitos e variáveis principais (STERMAN, 2000). Exemplos são o comportamento exponencial das emissões de gases de efeito estufa realizadas por atividades antropogênicas.

O segundo passo é o estabelecimento da hipótese dinâmica. Um esboço das principais interações e laços de retroalimentação causais que podem explicar a performance do sistema observado ou de maneira antecipada (MORECROFT, 2015). Aqui são estudadas as teorias atuais sobre o comportamento do sistema e o desenvolvimento dos diagramas de enlace causal e os diagramas de estoque-fluxo, formulando a hipótese dinâmica que deve explicar as dinâmicas do sistema endogenamente como consequências das relações da estrutura de retroalimentação (STERMAN, 2000).

Figura 14 – Processo de modelagem.



Fonte: Adaptado de Sterman (2000).

O terceiro passo é a formulação de um modelo de simulação, a transformação da hipótese dinâmica em um diagrama detalhado e sensato dos processos de retroalimentação e suas equações algébricas correspondentes (MORECROFT, 2015). Nesta etapa do processo de modelagem são definidas as regras de decisão do sistema e a especificação da estrutura, assim como a estimação dos parâmetros (STERMAN, 2000).

Os parâmetros são estimados um de cada vez, utilizando as fontes de informação consultadas, como artigos científicos, *reports* de instituições reconhecidas, dentre outros. Alguns parâmetros são estimados com nível máximo de certeza, como constantes físicas, por exemplo, enquanto outros possuem certo nível de incerteza (FORD, 2009).

O modelo criado foi baseado em dados reais da cidade de Fortaleza no Ceará, buscando identificar como algumas políticas relacionadas ao Programa VAMO de sistemas de compartilhamento de carros elétricos influenciaria nas emissões de gases de efeito estufa na cidade.

4.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

A etapa 6 é a validação do modelo de DS. Um modelo matemático serve para testar as premissas existentes acerca de um sistema real, principalmente quando há não-linearidades e efeitos de retroalimentação, como é o caso do modelo criado para esta dissertação. Ele é considerado útil quando representa com certo grau de fidedignidade a realidade a qual este se baseou (MORECROFT, 2015).

Para reduzir as incertezas são utilizadas técnicas estatísticas (SENIGE; FORRESTER, 1980). Para garantir a precisão do modelo simulado com os dados reais no modo de referência serão utilizados métodos estatísticos indicados na literatura de Dinâmica de Sistemas, como: coeficiente de determinação R^2 , Erro médio absoluto (MAE, do inglês *Mean absolute error*), Erro médio absoluto percentual (MAPE, do inglês *Mean absolute percent error*) e Raiz do erro quadrado médio (RMSE, do inglês *Root mean square error*) (BARLAS, 1996; FORD, 2009; STERMAN, 2000). Para os parâmetros com valores desconhecidos, foram realizadas análises de sensibilidade.

Também foram utilizados os métodos de validação da estrutura do modelo, explicado com maior profundidade no artigo 3 (SENIGE; FORRESTER, 1980; STERMAN, 2000). Os resultados do modelo são então comparados com variáveis importantes que se têm dados ao longo do tempo para verificar se os valores possuem validade estatística, estas variáveis chamadas de Modo de Referência.

4.7 ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS

A última etapa realizada para o cumprimento dos objetivos desta dissertação, foi a etapa 7 de elaboração dos cenários para o modelo à partir das políticas criadas.

Após validação estrutural e estatística de que o modelo consegue representar com fidedignidade a realidade, políticas podem ser testadas com baixo custo, identificando os impactos não-lineares de longo prazo. Foram escolhidas as políticas de: aumento da frota de carros compartilhados e aumento da taxa de aposentadoria de veículos velhos.

Com a aplicação dessas políticas no modelo, gerou-se cenários para a redução da frota convencional de carros (motor à combustão), redução nas emissões de CO_2 e aumento da frota de carros elétricos.

Informações mais aprofundadas sobre o procedimento metodológico das etapas 5, 6 e 7 estão no Artigo 3 situado no capítulo 7.

5 ARTIGO 1 - O ESTADO DA ARTE EM TRANSIÇÕES SÓCIO-TÉCNICAS PARA CARROS ELÉTRICOS: ATORES, TECNOLOGIAS E POLÍTICAS

RESUMO

A poluição do ar está afetando a vida de milhões mundialmente, junto com preocupações acerca dos efeitos do aquecimento global. Grande parte das emissões de partículas finas e gases de efeito estufa advém do setor de mobilidade, a partir da utilização dos combustíveis fósseis. Como são não renováveis, a dependência desses combustíveis para mobilidade e geração de energia elétrica também preocupa os países. Carros elétricos surgem como uma opção para redução desses problemas. Para compreender a situação dos carros elétricos mundialmente, o objetivo deste artigo é explorar como a literatura de transições sócio-técnicas compreende o fenômeno dos carros elétricos e os fatores que influenciam sua transição por meio de uma revisão de literatura utilizando o método SYSMAP. Encontrou-se três principais fatores que influenciam este processo de transição: tipo de tecnologia, principais atores e políticas. A tecnologia dos carros elétricos é dividida primordialmente em quatro tipos de tecnologias: carros elétricos à bateria, carros elétricos de célula de combustível, carros híbridos e híbridos plug-in. Estas tecnologias tiveram diferentes percepções sobre sucesso futuro nos últimos anos, sendo consideradas hoje a tecnologia de híbridos plug-in como tecnologia de ponte e os de bateria como tecnologia dominante no novo regime. Mesmo ganhando momento, ainda há a necessidade de envolvimento do governo com a utilização de políticas públicas de incentivos financeiros e ações para experimentação tecnológicas em nichos, como sistemas de compartilhamento de carros elétricos, para acelerar o processo de adoção dessas tecnologias devido às complexas interações entre os diversos atores do regime sócio-técnico de mobilidade e, agora também, o de energia elétrica. Os principais grupos de atores identificados foram: empresas de energia elétrica, de petróleo, grandes montadoras, consumidores, novos entrantes e o governo.

Palavras-chave: Transições sócio-técnicas; carros elétricos; transições de baixo carbono.

5.1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a sustentabilidade é um tema cada vez mais em pauta em nossa sociedade. Discussões relacionadas a poluição do ar local nos centros urbanos, emissão de gases efeito estufa, aquecimento global e seguridade energética dos países se tornam cada vez mais importantes em políticas públicas (BOON; BAKKER, 2016; NYKVIST; NILSSON, 2015b). O ar respirado por 95% da população mundial é considerado de má qualidade (HEI, 2018) e mais da metade da população que vive em

regiões urbanas está exposta a níveis de poluição 2,5 vezes maiores que o padrão de segurança recomendados pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2018). O fato de a utilização de combustíveis fósseis não ser renovável, significa que há a necessidade de se encontrar outras fontes de geração de energia para a mobilidade e elétrica.

Uma das possíveis maneiras para redirecionar estes problemas e trazer soluções é através de inovações tecnológicas com viés sustentável, como os carros elétricos que reduzirão estas emissões e podem ser combinados com energias renováveis para garantir a seguridade energética (WALWYN; BERTOLDI; GABLE, 2019; SOVACOOOL; ROGGE *et al.*, 2019). Com a tentativa de criação, desenvolvimento e difusão dessas tecnologias, aparecem dificuldades no caminho não apenas de cunho tecnológico ou técnico, mas também barreiras e restrições sociais e institucionais (STRUBEN; STERMAN, 2008).

O sistema de automobildade não se restringe apenas ao carro (tecnologia) por si, mas também a todas as outras infraestruturas físicas e sociais que se relacionam com ele e facilitam o funcionamento do sistema como um todo. Para que possam servir sua função social de mobilidade, os carros precisam de estradas, postos de abastecimento, leis de trânsito, Carteira Nacional de Habilitação (CNH), mecânicas de reparo e manutenção, concessionárias, fornecedores, entre outros (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). As infraestruturas já instaladas (e.g. fábricas, máquinas e postos de gasolina), conhecimento acumulado, rotinas da indústria e comportamento dos atores do sistema ajudam a reforçar a continuação da tecnologia dominante dos carros com motor de combustão interna (DOSI, 1982; MAZUR; OFFER *et al.*, 2018).

A lente teórica das transições para sustentabilidade surge a partir das teorias evolucionárias de inovação que se desenvolveram ao longo dos anos para abarcar problemas cada vez mais complexos, chegando hoje, principalmente aos problemas relacionados a sustentabilidade (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Portanto, essa lente teórica ajuda a melhor compreender como estes sistemas sócio-técnicos (sociais e tecnológicos), como de alimentos, água, energia e transporte, funcionam e se desenvolvem, com o intuito de ajudar a difundir tecnologias entendidas como mais sustentáveis (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

Por esta razão, o objetivo deste trabalho é explorar como a literatura de transições sócio-técnicas compreende o fenômeno dos carros elétricos e os fatores que influenciam sua transição

5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A reorientação estrutural da atividade econômica em direção a sustentabilidade tem sido rotulada como processos de mudanças sócio-técnicas, transformação industrial e transições (sócio) tecnológicas (GEELS, 2002). Grandes setores da economia como o de suprimento de águas, suprimento de energias ou transportes podem ser

conceitualizados como sistemas sócio-técnicos, pois envolvem redes de atores (indivíduos, empresas, entre outros) e instituições (normas, regulações e padrões sociais e técnicos), como também artefatos materiais (produtos, infraestruturas, entre outros) e conhecimento, além de se desdobrar por tempos consideravelmente longos (GEELS, 2002; MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

As tecnologias dominantes criam e recriam condições para sua continuação, ganhando estabilidade através de economias de escala e escopo, aprendizado social e custos não recuperáveis já investidos (DIJK, 2016). Essas condições são criadas, pois em momentos de quebras de paradigmas e mudanças tecnológicas, surgem diversas opções (ANDERSON; TUSHMAN, 1990). Geralmente, em dado contexto geográfico, uma das opções ganha vantagem inicial com melhores atributos e passa a ser adotada pelos consumidores e empresas (NELSON, 1995). Como os consumidores e produtores são avessos ao risco e sua capacidade de recursos é limitada, eles normalmente preferem investir na tecnologia considerada de maior sucesso naquele momento (NELSON; WINTER, 1977).

A adoção de uma tecnologia causa externalidades em rede. O conceito de externalidades vem dos efeitos diretos e indiretos da compra e uso de certos produtos, sua difusão e desenvolvimento (KATZ; SHAPIRO, 1985). O número de compradores de um produto afeta a qualidade e disponibilidade de serviços pós-venda os quais afetam a intenção de compra de adotantes potenciais (KATZ; SHAPIRO, 1986). Em outras palavras, a utilidade do produto depende do número de atores na mesma rede.

No final do século XIX e início do século XX, os carros elétricos e com motor de combustão interna competiam para se tornar a norma no processo de transição de cavalos para carros (GEELS, 2005b). Entretanto, devido a algumas vantagens obtidas anteriormente, os carros com motor de combustão interna passaram a ser mais adotados, recebendo maiores investimentos para melhoria tecnológica, criando um ciclo de retroalimentação positiva para a manutenção do domínio dessa tecnologia (HOOGMA, 2002; NELSON, 1995).

A literatura de transições ressalta a interdependência das instituições, infraestruturas e atores que constituem os sistemas sócio-técnicos e seus subsistemas, os quais criam diversos tipos de lock-ins que dificultam o sucesso de outras inovações (SMITH; STIRLING; BERKHOUT, 2005). Para compreender esses processos de transições, são dois os principais frameworks utilizados por esta lente teórica, sendo o Sistemas Tecnológicos de Inovação (TIS, do inglês Technological Innovation Systems) e a Perspectiva de Multiníveis (MLP, do inglês Multilevel perspective) (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012; KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019).

A TIS têm um caráter mais endógeno e se preocupa com o funcionamento do sistema, tendo focado nas funções essenciais de uma TIS para que obtenha sucesso que são: (1) atividades empreendedoras, (2) desenvolvimento de conhecimento, (3)

difusão de conhecimento pelas redes, (4) orientação de pesquisa, (5) formação de mercado, (6) mobilização de recursos e (7) criação de legitimidade para a tecnologia (HEKKERT; SUURS *et al.*, 2007). Bergek *et al.* (2008) ainda adicionam as externalidades positivas que um sistema pode gerar. Estas externalidades podem ser vistas como transbordo de conhecimento ou tecnologia, por exemplo, de um sistema de inovação para outro causando efeitos positivos.

Já a MLP possui uma visão mais abrangente, procurando compreender como uma transição ocorre, dividindo o framework de transições em três níveis: Ambiente sócio-técnico, regime e nicho (GEELS, 2002).

No ambiente sócio-técnico são os fatores exógenos e de nível macro como mudanças demográficas, novos paradigmas científicos, reestruturação econômica e desenvolvimentos culturais que geram pressões para que o regime mude (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Os regimes são estabelecidos como maneiras estáveis e dominantes de se realizar dada função social, no caso da mobilidade seriam os carros com motor à combustão interna (CCI) e todo sistema que existe para o servir (GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017).

Por último, os nichos são conceitualizados como espaços protegidos, com mercados específicos e aplicações em alguns domínios, o qual inovações radicais podem desenvolver sem estarem sujeitas a pressão de seleção do regime prevalente (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998). O que é o caso dos carros elétricos hoje. Os carros elétricos podem ser divididos em 4 (quatro) tipos diferentes (KHALIGH; LI, 2010):

- a) Carro elétrico à bateria (CEB): funcionam através de um motor elétrico que obtém energia de uma grande bateria;
- b) Carro elétrico de células de combustível (CECC): um carro elétrico com uma extensão alimentada por hidrogênio. Possui uma pequena bateria, com capacidade de recarregar rápido, pois tem como fonte primária o hidrogênio. O hidrogênio ao misturar com gás oxigênio (O_2) gera uma corrente elétrica que carrega a bateria que fornece energia elétrica para o motor.
- c) Carro elétrico híbrido (CEH): possui um tanque de combustível, normalmente gasolina, e um motor à combustão que servem como geradores de energia elétrica para recarregar uma bateria que fornecerá energia para o motor elétrico. Este motor elétrico é que fornece a tração para as rodas;
- d) Carro elétrico híbrido plug-in (CEHP): possui as mesmas características dos carros híbridos, mas estes podem ter suas baterias também carregadas na tomada.

Os carros elétricos já tiveram diversos momentos de otimismo e pessimismo (BOHNSACK; KOLK; PINKSE, 2015). Através de um olhar e arcabouço teórico sócio-técnico, tentar-se-á entender a situação atual dessas tecnologias hoje e o que se pode

esperar delas no futuro.

5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado para realizar as análises bibliométrica e de conteúdo foi o SYSMAP (Scientometric and sYStematic yielding MAPPING Process, que significa processo de mapeamento cientométrico e sistemático, tradução livre). O SYSMAP tem por objetivo apresentar de forma sistemática e estruturada o processo de uma revisão de literatura, principalmente quando o pesquisador possui pouco conhecimento no tema ou busca por detalhes específicos (VAZ; URIONA-MALDONADO, 2017). Uma revisão de literatura provê uma visão global numa área específica, trazendo consigo o material de forma clara e estruturada, adicionando valor através de conclusões interessantes (WEE; BANISTER, 2015).

Segundo Vaz e Uriona-Maldonado (2017), este método consiste em 4 etapas lógicas representadas na figura 15 a seguir.

Figura 15 – Metodologia SYSMAP



Fonte: Vaz e Uriona-Maldonado (2017)

Na etapa 1 para seleção dos artigos relevantes, foram buscados artigos utilizando as bases de dados Scopus e *Web of Science* e buscadas em título, *abstract* e palavras-chave. As palavras utilizadas se referiam aos temas globais da pesquisa: transições sócio-técnicas e carros elétricos. Primeiramente foram utilizadas palavras

relacionadas ao tema de acordo com o conhecimento dos autores e a partir do surgimento de artigos sobre o tema com novas palavras-chave, estas também eram adicionadas a busca. As palavras utilizadas estão mostradas no quadro 1 no capítulo 4 dessa dissertação. A primeira pesquisa foi realizada em 28 de novembro de 2018 e a última atualização em 30 de janeiro de 2020.

Foram encontrados um total de 194 artigos na base de dados Scopus e 215 na base de dados *Web of Science*, dos quais após filtragem por título, palavras-chave e resumo, foram eliminados aqueles que não estavam relacionados com o tema desta pesquisa. Restaram 55 artigos que foram lidos na íntegra. A etapa de cientometria foi realizada, mas não se encontraram resultados relevantes de relação entre as publicações e se optou por não os expor no presente trabalho.

Para a última etapa, de análise de conteúdo, os artigos foram lidos em ordem cronológica do mais antigo para o mais novo, a fim de identificar padrões de evolução na literatura de transições sócio-técnicas para carros elétricos. Buscou-se compreender quais os resultados das pesquisas e conclusões dos autores referentes aos quatro tipos de tecnologias de carros elétricos existentes, as principais razões citadas acerca da necessidade para que uma transição ocorra, os principais atores envolvidos no processo de transição, tecnologias e modelos de negócios emergentes (como *vehicle-to-grid* e sistemas de compartilhamento de carros) e quais são os países onde as pesquisas ocorreram.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma transição sócio-técnica é lenta e pode levar várias décadas (GEELS, 2002). Se há o objetivo de se realizar uma transição mais sustentável para a mobilidade, existem diversos fatores que precisam ser melhorados ou organizados de maneiras mais eficientes para o sucesso de longo prazo, ajudando o processo de adoção dessa tecnologia. Nas próximas páginas serão discutidos alguns desses fatores.

5.4.1 Expectativas sobre as tecnologias de carros elétricos

O carro elétrico com maior similaridade com o carro dominante no regime incumbente são os híbridos elétricos. Nas primeiras publicações encontradas, os CEH eram vistos como um primeiro passo de introdução com possíveis transbordos de conhecimento tecnológico para uma mais distante transição para carros elétricos de hidrogênio ou à bateria (AVADIKYAN; LLERENA, 2010). Mesmo com diversos experimentos realizados em parceria com as grandes montadoras e diversos tipos diferentes de modelos de negócios sendo testados, como pagamento por quilômetro percorrido, troca rápida de baterias e carros compartilhados, os CEB e CECC ainda eram vistos como tecnologias muito distantes que requeriam grandes mudanças estruturais que

provavelmente não ocorreriam tão cedo (BREE; VERBONG; KRAMER, 2010).

Do ponto de vista das empresas incumbentes (no caso, as grandes montadoras que ditam as regras do regime) era mais favorável investir na tecnologia de CEH para mitigação das emissões de gás carbônico devido a dependência de trajetória da indústria (AVADIKYAN; LLERENA, 2010). Isto ocorre, pois a indústria possui alto investimento em infraestruturas já existentes, como toda cadeia de suprimentos desde a retirada do petróleo e distribuição dos combustíveis e também as enormes e já estabelecidas cadeias de suprimentos de montagem dos carros (GEELS, 2018). Além disso, a performance tecnológica das baterias ainda era muito aquém do desejado, com CEB tendo alcance médio de apenas 150 quilômetros (WARTH; GRACHT; DARKOW, 2013). Na China, por exemplo, mesmo investindo nos quatro tipos diferentes de carros elétricos e enxergando os CEB e CECC como promissores no longo prazo, a maior parte dos seus investimentos estavam nos híbridos elétricos (OU; ZHANG, 2010). Ou seja, investimentos em mudanças incrementais ao invés de mudanças radicais que são necessárias para os objetivos de sustentabilidade.

O estudo com modelagem de Köhler, Whitmarsh *et al.* (2009) mostrava que, a partir das premissas e conhecimentos da época, os CEH começariam o processo de transição tecnológica e os CECC surgiriam como uma solução viável apenas a partir do ano 2030. Os autores desconsideraram os CEB, pois a tecnologia de baterias estava muito aquém do exigido pelo consumidor para veículos pessoais.

Entretanto, o investimento em híbridos elétricos conseguiria possibilitar o aproveitamento das infraestruturas existentes (e.g. fábricas para baterias de CEH), diminuindo o risco das montadoras em tecnologias que talvez não sejam aceitas ou não funcionem em larga escala e ao mesmo tempo prover investimentos, aprendizagem e melhorias ao longo do tempo para o barateamento das baterias. Tanto os CEB como CECC utilizam sistema de transmissão e trem de força similares aos do CEH, que estariam sendo desenvolvidos, barateando e abrindo caminho para uma futura adoção dessas tecnologias (KÖHLER; WHITMARSH *et al.*, 2009).

Estes fatores que alimentam a crença de que os híbridos elétricos serão uma ponte no médio-prazo (10 a 30 anos) para um futuro em que o regime será dominado por outras tecnologias, se dá também ao fato de as grandes montadoras, consideradas como os principais atores de mudanças do regime, estarem dando passos lentos em direção a uma transição. As grandes montadoras investem apenas em melhorias graduais, ainda focando em atividades de PD nos CCI (KÖHLER; SCHADE *et al.*, 2013). As melhorias graduais também funcionam como barreiras de entrada, aumentando ainda mais a lacuna de desempenho dos CE em comparação com os CCI.

Em seguida na literatura, apareceram os híbridos elétricos *plug-in* como tecnologia de meio para uma transição no longo prazo para CEB ou CECC (BREE; VERBONG; KRAMER, 2010; WELLS; NIEUWENHUIS, 2012) ou até mesmo uma tecnologia domi-

nante no longo prazo, caso as outras se mostrem como inviáveis pelos limites tecnológicos e altos custos. Devido às lacunas tecnológicas que inviabilizam uma maior difusão de CE, como baixo alcance das baterias, alto tempo de recarga, falta de infraestrutura de recarga ou reabastecimento de hidrogênio (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013; WARTH; GRACHT; DARKOW, 2013; AUGENSTEIN, 2015) e barreiras sociais como “ansiedade de alcance” (sensação do usuário que o alcance das baterias não será suficiente para o percurso, mesmo que seja na maior parte das ocasiões), adaptação para novos padrões de consumo, como ter que recarregar em casa ou no trabalho e o próprio preconceito ou desconhecimento do usuário em relação a capacidade e performance real dos veículos (NYKVIST; NILSSON, 2015b; STEFANO; MONTES-SANCHO; BUSCH, 2016; KÖHLER; TURNHEIM; HODSON, 2018), ainda não estava claro se serão os CEHP, CEB ou CECC que dominarão no longo prazo ou será um regime dividindo as três tecnologias (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013; KÖHLER; SCHADE *et al.*, 2013). Entretanto, a literatura modificou sua visão de CEH como uma ponte para tecnologias superiores para a crença de que os CEHP é que serão esta tecnologia transitória.

Surge então o questionamento que se refere ao futuro da tecnologia de CEH. Será que ela está sendo e será abandonada em prol do CEHP? Enquanto os CEHP podem também ser recarregados na tomada ou numa infraestrutura de recarga, os CEH funcionam apenas utilizando a queima de combustível pelo motor de combustão interna. A parte elétrica serve para aumento da eficiência energética. Portanto, é intuitivo que, se os custos de se obter um CEHP em comparação com CEH não forem proibitivos, os consumidores optarão pela primeira opção, visto que podem utilizar tanto o combustível para garantia de uso em longas distâncias, quanto a possibilidade de utilizar o carro apenas no elétrico para distâncias curtas, recarregando na tomada ou infraestrutura de recarga. Por esta razão, a China que possuía incentivos para produção e compra dos quatro tipos de CE, excluiu o CEH, pois não fazia parte do escopo para melhoria do ar local (XUE *et al.*, 2016). A Holanda também é outro país que passou a focar mais na tecnologia de CEHP (BOON; BAKKER, 2016).

Entretanto, o mercado mundial de carros é grande e a escolha de diferentes trajetórias tecnológicas em alguns países mais avançados no processo de produção ou adoção, como China e Holanda, não significa que todos os demais seguirão especificamente a mesma trajetória. Diversos outros países como os latino-americanos estão lentos no processo de transição e poderão usufruir por mais tempo das tecnologias mais “atrasadas”. Um exemplo é o caso do Brasil que além da gasolina, utilizava o biocombustível etanol (KAMIMURA; SAUER, 2008). Continuando com o exemplo do Brasil, uma possível trajetória futura é a utilização do etanol para CEH *flex fuel*, permitindo o país ser pioneiro na utilização dessa tecnologia (CONSONI *et al.*, 2018). Para comparar as informações da literatura, fomos atrás também de *reports* técnicos e bases de dados. A base de dados mundial para vendas de veículos elétricos “EV

Volumes” divulgou que no primeiro trimestre de 2019, entre CEB, CEH e CEHP, na China foram vendidos aproximadamente 53%, 30% e 17%, respectivamente (IRLE, 2019). Mas essa não é a realidade em todas as regiões, visto que na Europa mais de 60% foram CEH, nos Estados Unidos aproximadamente 75%, no Japão mais de 95% e no resto do mundo aproximadamente 80% (IRLE, 2019). Portanto, ainda não está definido que a tecnologia de CEH será abandonada em sucessão dos CEHP como tecnologias híbridas de transição para um futuro de baixas emissões de carbono, visto que diferentes regiões geográficas podem selecionar diferentes trajetórias de acordo com as montadoras dominantes, políticas de incentivos, interesses nacionais, dentre outros fatores.

Conclui-se que as tecnologias de CEH e CEHP passaram de únicas opções no curto e médio prazo e até mesmo no longo prazo, para vistas como apenas pontes de acesso ou tecnologias intermediárias para uma futura transição para CEB ou CECC em pouco mais de duas décadas. Se CEB e CECC são vistos atualmente na literatura como soluções de longo prazo, qual tecnologia provavelmente dominará?

Ressalta-se que nem todos os países enxergam os CEH e CEHP como pontes para uma transição futura, mas sim os ignoram e são mais radicais, investindo nas tecnologias previstas para dominar no longo prazo. A Noruega e Dinamarca estão investindo intensivamente na adoção de CEB com subsídios para compra e construção de infraestruturas de recarga (BOON; BAKKER, 2016). As vendas de CEB na Noruega, por exemplo, chegaram a 25% das vendas totais de veículos em março de 2015 e continuam crescendo em *market share* (NILSSON; NYKVIST, 2016). Entretanto, esses resultados não podem ser generalizados para os demais países em seus processos de transição, visto que estes dois são considerados países ricos e avançados conscientemente em políticas públicas em prol da redução das emissões de gases de efeito estufa e uma das principais barreiras é o alto custo dos CEB.

Inicialmente, havia um ceticismo na literatura em relação ao sucesso dos CEB e CECC, principalmente pela lenta resposta da indústria automotiva na adoção dessas tecnologias. E, se obtivessem algum sucesso, seria apenas no longo prazo (em 30 ou mais anos). Também não havia uma opinião decisiva formada sobre qual dos dois dominaria no longo prazo ou se até mesmo coexistiriam no regime sócio-técnico. Para Dijk, Orsato e Kemp (2013) os CEB teriam viabilidade apenas se forem utilizados com outros modais para completar a viagem do usuário, como num sistema de compartilhamento de carros. Já se, ao invés de a sociedade adotar este tipo de modelo de negócios de compartilhamento, continuarmos com a cultura de posse do carro, os autores citam que os CECC serão a solução para redução das emissões e segurança energética.

Todavia, devido ao sucesso de alguns novos entrantes, como as empresas BYD e Tesla com carros de alcance comparados aos CCI, junto com o aumento da

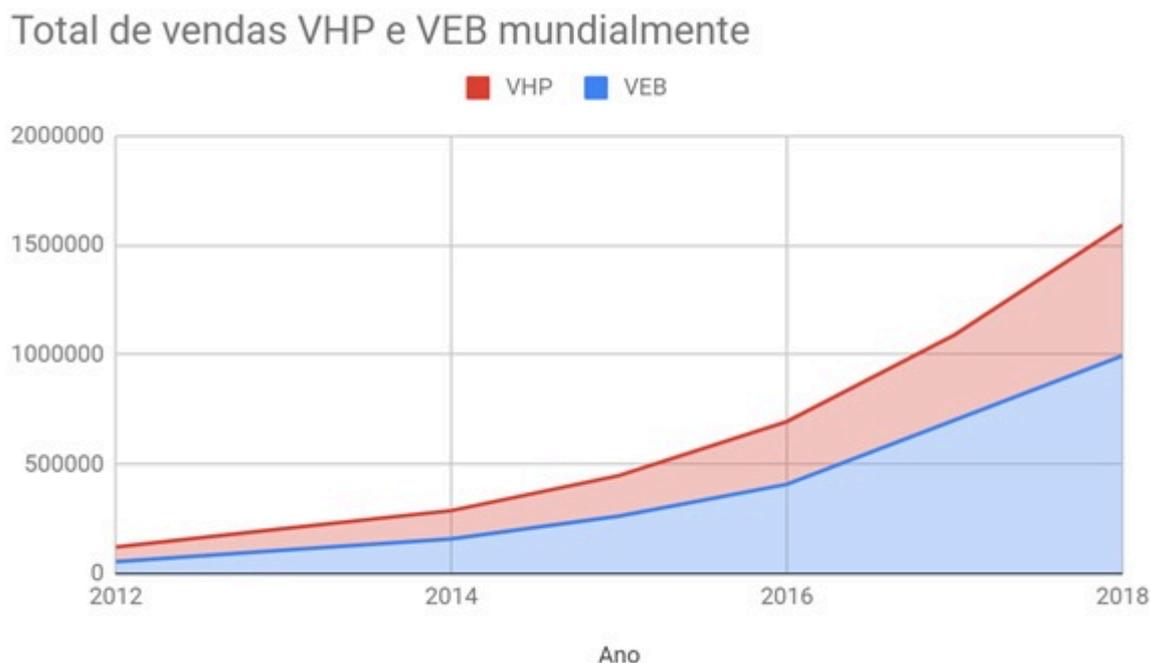
preocupação com aquecimento global e pressões públicas que geram políticas como o banimento de veículos poluidores nos centros urbanos (principalmente na Europa), aumentou-se a necessidade de uma solução imediata (KANGER *et al.*, 2019). O CEB, que é a tecnologia mais desenvolvida dentre as duas, começou a ganhar momento e já possui valores significativos em questão de volume produtivo na China e EUA, e de *market share* em países menores como Noruega, Holanda e Dinamarca (IEA, 2018a). Portanto, estas pressões favoreceram o ambiente sócio-técnico a “empurrar” uma transição para CEB, o que encorajou e facilitou comprometimento de algumas montadoras (BERKELEY *et al.*, 2017).

Em 2017, as vendas ultrapassaram 1 milhão de unidades globalmente, o que representa um crescimento de 54% se comparados com 2016, e que somadas com as vendas anteriores ultrapassou o volume em estoque de 3 milhões de carros elétricos (IEA, 2018a). Já os CECC possuem volumes irrelevantes se comparados com CEB (IEA, 2018a). De forma geral, há concordância na literatura que os CEB estão ganhando momento e os CECC estão ficando para trás (ver Hussaini e Scholz (2017) e Nilsson e Nykvist (2016)). O estudo de modelagem matemática de Mazur, Offer *et al.* (2018) mostra que em nenhum dos cenários testados os CECC conseguiram alcançar dominância no regime devido aos altos custos de armazenagem, produção e transporte de hidrogênio. Apesar de muito estudados, a tecnologia dos CECC ainda está décadas de ser escalável, pois não consegue desenvolver um mercado de nicho (NYKVIST; NILSSON, 2015b; KÖHLER; TURNHEIM; HODSON, 2018). Em contrapartida, o CEB que possui seu custo elevado devido ao alto preço das baterias de lítio, vem usufruindo do decaimento exponencial característico da curva de aprendizado tecnológico a partir da alta produção de baterias nos últimos anos para tecnologias de smartphones, tablets, notebooks, dentre outros (NYKVIST; NILSSON, 2015a).

Na figura 16 pode-se ver o crescimento das frotas de CEHP e CEB mundialmente. Nota-se que os CEB estão crescendo mais rapidamente suas vendas que os CEHP. Entretanto, ressalta-se que a maior adoção de carros elétricos está ocorrendo nos países mais ricos e por pessoas mais ricas, o que não necessariamente significa que continuará no mesmo padrão de crescimento entre as duas categorias, visto que os CEB são relativamente mais caros por possuírem uma bateria maior. E as baterias ainda são um gargalo para as vendas devido ao alto custo. Portanto, pode ser que na difusão para países considerados “em desenvolvimento”, os CEHP ou CEH obtenham maior sucesso previamente.

Além dos custos, outro fator crítico para a difusão das tecnologias de carros é a presença de infraestruturas de recarga ou reabastecimento. Enquanto em 2017 havia 320 mil carregadores lentos e 110 mil carregadores rápidos públicos distribuídos globalmente para os CEB e CEHP, havia apenas 330 estações de reabastecimento de hidrogênio e sua grande maioria no Japão (IEA, 2018a). Este achado corrobora

Figura 16 – Total de vendas mundiais de CEB vs CEHP.



Fonte: Adaptado de BNEF (2018).

com as conclusões da literatura de que provavelmente os CEB devem vir a dominar no longo prazo (cerca de 30 anos) e os CECC, apenas em algumas aplicações de regiões geográficas específicas como no Japão ou daqui a muitas décadas.

Estes fatores inviabilizam a tecnologia de CECC de vir a dominar nas próximas décadas ao invés da de CEB? Não. Pode surgir inovações radicais que reduzam significativamente a hidrólise de hidrogênio, sistemas de distribuição, dentre outros aspectos que poderiam acelerar esta transição. Entretanto, utilizamos a lente teórica das transições para tentar se fazer compreender os fatores que levam a uma tecnologia obter sucesso ou não. Geralmente, para essas tecnologias que realizam uma importante função social, tende-se a encontrar uma solução única ótima devido aos fatores de aversão ao risco das empresas que possuem recursos finitos, externalidades de rede, lock-in, dependência de trajetória e custos.

Os fatores supracitados impulsionam a uma solução dominar o regime em um contexto geográfico específico ou até mesmo como principal solução global, não necessariamente excluindo aplicações de nicho em outros contextos ou outros tipos de domínios em outras regiões. Um exemplo é o uso da gasolina como principal combustível global, mas aplicações com gás natural ou etanol em outros locais. O que buscamos entender aqui é qual, baseando-se no conhecimento atual, deve vir a dominar globalmente.

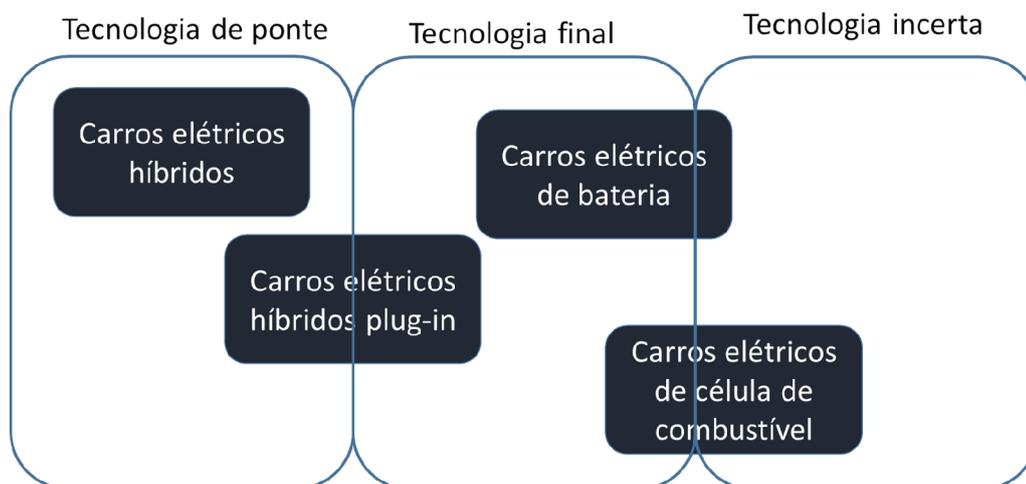
O avanço recente na produção e adoção dos CEB, com diversos países possuindo investimentos de PD e políticas de incentivo para produção e compra desses carros em conjunto com o decaimento exponencial dos custos das baterias e a aproximação de performance tecnológica dos CEB com CCI nos carros de luxo e semi-luxo (e.g. carros da Tesla Motors) e que devem continuar para as demais categorias seguindo uma curva de aprendizado com ganhos de escala e escopo, está fazendo também as grandes montadoras a optarem para onde redirecionarão seus recursos. Em 2016 havia apenas 18 modelos de CEB e CEHP, já para o final de 2019 é estimado que existirão mais de 40 (TE, 2018). Segundo divulgação das montadoras, estima-se que até 2021 serão mais de 100 modelos de CEB e CHP à venda, indicando o direcionamento que essas empresas estão seguindo (TE, 2018).

Quanto mais modelos de CEB existirem, mais opções de compra para os consumidores que comprarão mais esse tipo de tecnologia. Mais CEB rodando incentivará as empresas fornecedoras de infraestrutura de recarga a construírem estações, que incentivarão mais pessoas a adquirir esta tecnologia. Também mais serviços pós-venda como de mecânica, peças para reparo, dentre outras que gerarão os efeitos de rede, retroalimentando a dominância dessa tecnologia no longo prazo. Assim como aconteceu com a competição por dominância do regime entre carros elétricos e carros com motor de combustão interna no século passado. Há um trade-off que acontece ao investir em uma tecnologia, podendo-se gerar lock-ins cedo, inibindo investimento em outras tecnologias que poderiam ser mais adequadas e competitivas para aplicações no longo prazo. As empresas agem seguindo um tipo de efeito manada, as quais umas copiam as outras. O que faz sentido: ao escolher um design dominante, acúmulos de conhecimento que coincidem com reduções de seus custos e riscos. A figura 17 resume o posicionamento da literatura em relação aos 4 tipos de tecnologias, sendo o espaço ocupado pelo tipo de carro em cada divisão indicando a probabilidade identificada na literatura de sua posição.

Como demonstrado na figura 17, a tecnologia de CEH é considerada uma tecnologia de ponte. Entretanto, discordando da literatura, como argumentado acima, em alguns países com interesses no desenvolvimento dessa tecnologia, como Japão e Brasil, ela pode ser não somente uma tecnologia de ponte, mas dominante do regime ou então dividindo o domínio com as outras opções. Consequentemente, posicionando esta tecnologia mais a direita, entre tecnologia de ponte e tecnologia final. Já os carros elétricos híbridos *plug-in* são enxergados como potenciais tecnologias de ponte ou até mesmo tecnologias finais em algumas situações.

Já a tecnologia de CEB é indicada pela literatura como a mais provável de dominar o regime no longo prazo. Utilizando como base o argumento do acúmulo de conhecimento, curvas de aprendizado e outros fatores que culminam na dominância de uma tecnologia específica e única, como ressaltado pela literatura em transições sócio-

Figura 17 – Tipos de tecnologias e sua função na transição



Fonte: Elaborado pelo autor

técnicas, é mais provável que esta tecnologia que esta ganhando momento (massa e velocidade) saia na frente e elimine os investimentos e potencial de desenvolvimento tecnológico das demais. Principalmente, sua dominância pode vir a ser uma ameaça para os CECC e, por isto, estes são vistos pela literatura como uma tecnologia incerta. Entretanto, além do processo "natural" de domínio tecnológico, não se pode ignorar o interesse estratégico de alguns países ou regiões perante algumas tecnologias, como o caso dos CEH e etanol citados anteriormente. Esta influência, principalmente do governo por meio de políticas públicas, afeta a trajetória tecnológica natural, podendo levar a caminhos antes não esperados pela literatura sócio-técnica.

5.4.1.1 Críticas ao modelo de posse do carro

A direcionalidade do futuro dos sistemas de mobilidade dependem nas maneiras específicas as quais incorporarmos os carros elétricos (KANGER *et al.*, 2019). O próprio modelo de negócios atual baseado na posse, com o carro como principal meio de mobilidade e símbolo de status são uma restrição a mudança (WELLS; NIEUWENHUIS, 2012). Será que a transição para carros elétricos à bateria é sustentável?

Uma importante discussão trazida é se essa tecnologia é realmente sustentável, se é uma transição de mobilidade que queremos que ocorra, pois este é o caminho que está sendo tomado (AUGENSTEIN, 2015). O potencial ambiental dos CEB não depende apenas das emissões zero, mas também da fonte primária de energia, reciclagem das baterias, motores, entre outras peças que ainda não estão resolvidos (NYKVIST; NILSSON, 2015b). Ao utilizar diversos recursos da natureza, os CEB ainda causarão problemas futuramente. Um fator que parece óbvio no momento é que fabricar 70 milhões de carros ou mais por ano no mundo é insustentável por qualquer tipo

de mensuração feita (NIEUWENHUIS, 2018).

Os carros elétricos são inovações radicais do nicho que substituem componentes do carro, mas não alteram substancialmente o papel da mobilidade no sentido mais amplo do sistema de mobilidade e é por isso que a indústria automotiva e o governo preferem este caminho para obter uma profunda descarbonização (GEELS, 2018). Para sair deste caminho, o compartilhamento de carros pode ser o primeiro passo para a mudança do desejo de se obter a posse do carro, abrindo possibilidade para outras formas de transporte público (KÖHLER; TURNHEIM; HODSON, 2018). Outros países como Irlanda, Holanda e Portugal estão focando outras estratégias de mobilidade que não somente a posse do veículo, como o já citado sistema de compartilhamento e melhoria do transporte público (WELLS; NIEUWENHUIS, 2012).

Os sistemas de compartilhamento de carros fornecem o carro como um produto-serviço e a posse dos veículos é de uma organização (NIEUWENHUIS, 2018). Isto é positivo, pois segundo Hardman, Shiu e Steinberger-Wilckens (2015) o custo total de se ter um carro elétrico à bateria (com manutenção, reparo e combustível) é menor que um CCI da mesma categoria, evitando um alto investimento considerado de risco pelo consumidor na compra de um CEB. Vale ressaltar que este estudo supracitado comparava carros considerados de luxo, mas é uma verdade que vêm se mantendo com o barateamento das baterias de lítio (NYKVIST; NILSSON, 2015a; BERKELEY *et al.*, 2017).

Outro fator interessante é que a experiência e construção de conhecimento através de visualização, teste e aprendizado por potenciais usuários ao expor frotas de CEB (como as de carros compartilhados) se mostraram como fontes de mudanças rápidas nas atitudes das pessoas em relação a esta tecnologia (NILSSON; NYKVIST, 2016; TRUFFER; SCHIPPL; FLEISCHER, 2017). Espera-se também que com a introdução de veículos autônomos, haja suporte para um rápido crescimento de esquemas de carros compartilhados baratos e de táxis, pois motoristas ficarão "obsoletos", reduzindo o valor de uma viagem realizada (MAZUR; OFFER *et al.*, 2018).

5.4.2 Políticas públicas

Mesmo ganhando momento, o cenário atual ainda não é favorável para o sucesso e substituição do regime de CCI por CE. Pelo menos não no curto ou médio prazo. Para Dijk (2016), há duas maneiras principais de mudar esta trajetória: (1) novos modelos de posse do veículo, como compartilhamento de carros citados anteriormente e (2) com auxílio intenso de políticas públicas.

Em seu estudo comparando Japão, Estados Unidos e Europa, Bohnsack, Kolk e Pinkse (2015) mostraram que de acordo com os padrões geográficos relacionados ao desenvolvimento e difusão de CE, a trajetória deles não é resultado apenas de desenvolvimento tecnológico, mas também de intervenções de políticas. Os subsídios

financeiros são a ação protetiva mais importante para que o nicho de CE se desenvolva, pois serve para dar segurança tanto aos consumidores quanto às empresas que têm receio a arriscar a adoção do produto (XUE *et al.*, 2016).

Como discutido anteriormente, as montadoras e outros atores do sistema sócio-técnico possuem aversão ao risco, investimentos presos em infraestruturas existentes, cadeias de suprimentos complexas já montadas, conhecimento da tecnologia dominante e conflitos de interesses. Um dos papéis do governo e suas políticas públicas é incentivar a mudança de regime por meio de subsídios de PD ou para compra, definir padrões, regulamentações, entre outros fatores, fornecendo orientação de pesquisa e legitimização para a TIS, além de responder às pressões no regime sócio-técnico.

Os principais mercados para carros elétricos por volume (China com mais da metade das vendas mundiais) e porcentagem nas vendas (Noruega) possuem forte incentivo com políticas (IEA, 2018a). Pode-se dividir os tipos de políticas em quatro principais: (1) para a produção, (2) desenvolvimento tecnológico, (3) infraestrutura e (4) consumo (CONSONI *et al.*, 2018).

Na China, tanto o governo central como os governos locais fornecem subsídios e outros incentivos para o desenvolvimento de nichos de carros elétricos. Isso faz sentido, visto que o país quer se tornar líder global neste ramo e está preocupado com a segurança energética para sua população em um país em crescimento econômico. Por outro lado, o fornecimento de subsídios locais gerou disputas a qual cada cidade ou província direcionava os subsídios e políticas para empresas locais, criando padrões locais e gerando incompatibilidade de tecnologia entre as regiões, causando barreiras para a difusão e *lock-ins*, como na utilização de *plugs* específicos para se conectar às estações de recarga (BOHNSACK, 2018). Lam *et al.* (2018), em sua pesquisa estimou que a China teria apenas 10% de participação de mercado de CE (principalmente CEHP e CEB) em sua frota até 2050 sem o auxílio desses incentivos. Já com alguns incentivos, como aumento das taxas de consumo, de combustível e de registro para outros tipos de carros poluidores essa participação seria próxima de 30%. E por último, com diversos tipos de incentivos como, além dos já citados, a adição da criação de iniciativas de nicho que estimulem o desenvolvimento tecnológico, como os esquemas de compartilhamento de carros, subsídios para compra dos CE e facilidade no licenciamento de placas há a possibilidade deste valor ser de até 70% no mesmo período.

Dos quatro principais tipos de políticas, a China possui todas. O país iniciou programas de PD em 1981 com ampliações no ano de 2001 para reduzir sua dependência em tecnologia externa, produzindo os próprios carros, ao mesmo tempo melhorando a qualidade do ar local (BOHNSACK, 2018). O país também investiu na instalação de dezenas de milhares de carregadores do tipo devagar e rápido, além de subsídios com mecanismos de eliminação progressiva (como o famoso exemplo dos painéis fotovol-

taicos na Alemanha) para a compra dos carros para gerar momento no processo de difusão enquanto a tecnologia de CEB e CEHP ainda está inferior em performance e alcance se comparada com o CCI (XUE *et al.*, 2016; BOHNSACK, 2018).

A Noruega começou experimentos com CE com a criação de pequenos nichos e testes de campo em 1990 (FIGENBAUM, 2017). Em 2017, 39% das vendas de carros no país foram CE, mostrando uma alta taxa de adoção que vem crescendo ao longo dos anos (IEA, 2018a). Alguns fatores justificam essa alta taxa de adoção. O país não tem produção de CCI e, conseqüentemente, não sofre pressões de *lobby*, tem alto preço dos combustíveis fósseis, energia elétrica de fonte limpa e barata, alta taxação em pedágio, novos veículos e registro para carros poluentes, além de ser um país considerado rico e com alto nível educacional que se reflete na preocupação ambiental (FIGENBAUM, 2017). Diferentemente da China, o país optou por focar os subsídios na compra do carro (cerca de 96% foram para este fim), equiparando seu custo total de compra dos CEB com os CCI (WESSELING, 2016).

Diversos outros países também possuem incentivos, como Alemanha e Japão, entretanto não obtiveram ainda o mesmo sucesso que China e Noruega em termos de volume ou *market share*, por exemplo. Wesseling (2016), buscou compreender as políticas relacionadas a CEHP e CEB e seus possíveis efeitos em quatro países: Japão, Alemanha, Noruega e Holanda. O que se notou é que países com mais montadoras e que possuem grande dependência delas no Produto Interno Bruto (PIB) ofereceram mais subsídios para PD, como Japão e Alemanha (88%). Enquanto os países com menor importância da indústria automotiva, além de terem uma maior porcentagem do PIB aplicados a esses subsídios (cerca de quatro vezes mais na Noruega e Holanda em comparação com Japão e Alemanha), tiveram a maior parte aplicada para incentivos nas vendas. O que se pode concluir é que países com indústrias automotivas com grande representatividade no PIB industrial nacional tendem a incentivar as indústrias locais com incentivos para PD para o desenvolvimento da tecnologia, enquanto aqueles que não possuem grandes montadoras nacionais tendem a focar mais em incentivos na compra dos carros para formação de nichos de mercados cedo. Por comparação, a China por outro lado focou em todos os aspectos de políticas de incentivos para vir a dominar o mercado mundial.

Por outro lado, a Suécia que é um país reconhecido com seu comprometimento com a sustentabilidade e por esta razão se esperava que estivesse entre os mais avançados em porcentagem de estoque de carros e vendas, assim como a Noruega. Devido a investimentos falhos no passado e testes com biocombustíveis, há uma relutância na escolha de uma trajetória tecnológica específica (CEB ou CECC, por exemplo). A política nacional e atores da do regime de mobilidade no país estão cada vez mais relutantes e ambivalentes em direção às incertezas tecnológicas, resultando numa lacuna de sinal para onde seguirá (NYKVIST; NILSSON, 2015b). Isto ajuda a

explicar por que o país está mais atrasado no processo de adoção se comparados com Noruega e Holanda, com apenas 1% do estoque de carros sendo CEHP ou CEB.

O exemplo da Suécia demonstra a importância da inclusão do governo com políticas de incentivos se o objetivo é de realizar uma transição na mobilidade para tecnologias menos poluentes. A importância das políticas não é apenas localmente, mas seus efeitos podem repercutir também entre países até mesmo de diferentes continentes. Alguns fatores globais que levaram ao desenvolvimento dos CE, como o programa *California Zero Emission Vehicles (Zero Emission Vehicles (ZEV))*, preocupação com aquecimento global e protocolo de Kyoto que fizeram diversos governos a incentivar o desenvolvimento de tecnologias mais limpas, tentativas de aplicar estas tecnologias pela indústria (mesmo que pequenas), os carros híbridos da Toyota e Honda, subsídios para compra, parceria das empresas com fornecedores de baterias, *Vehicle-to-Grid*, compartilhamento de carros, dentre outros (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013).

Na literatura estudada, destaca-se o papel do ZEV na Califórnia que fora mencionada em grande parte dos artigos lidos como um programa que influenciou e inspirou diversos países, como Canadá (HALEY, 2015), Japão e Coreia (BOHNSACK; KOLK; PINKSE, 2015), Noruega (FIGENBAUM, 2017), entre outras iniciativas mundialmente a adotarem práticas similares de incentivo e desenvolvimento de veículos menos poluidores. Outras políticas que tiveram impacto internacional, seja na aplicação ou “derramamento” foram Protocolo de Kyoto e *Top runner programme* do Japão (BOHNSACK; KOLK; PINKSE, 2015) e a proibição dos veículos poluidores (principalmente a diesel) nos grandes centros urbanos, como Londres (BERKELEY *et al.*, 2017).

O estudo de Figenbaum (2017) identificou que as políticas de sucesso na Noruega não teriam funcionado senão pelos desenvolvimentos de longo prazo no ambiente mundial, como o barateamento das baterias de lítio, regulações estritas da União Europeia nas emissões de CO_2 , negociações políticas sobre o clima global e o programa ZEV que levaram ao desenvolvimento de CEB pela Nissan e outras montadoras tradicionais, além de ajudar atores entrantes do sistema sócio-técnico que estão empurrando a transição, como a Tesla Motors. Este estudo também serve para mostrar a complexidade e a quantidade de fatores envolvidos numa transição sócio-técnica. Mesmo que as autoridades públicas sejam os maiores diretores de mudança em grandes substituições tecnológicas (WARTH; GRACHT; DARKOW, 2013), diversos outros fatores e atores devem ser trabalhados para o sucesso de uma transição.

As políticas por si não são capazes de fazer a aceleração da difusão de CE acontecer. Outro exemplo é a pesquisa de Haley (2015) sobre Québec, no Canadá, mostrando que outros fatores como o histórico da cidade com hidroeletricidade teve um impacto particularmente importante na promoção de legitimidade de políticas e primeiros processos de inovação relacionados aos CE (principalmente CEB), como troca de conhecimento e desenvolvimento. Eles utilizaram de conhecimento local para

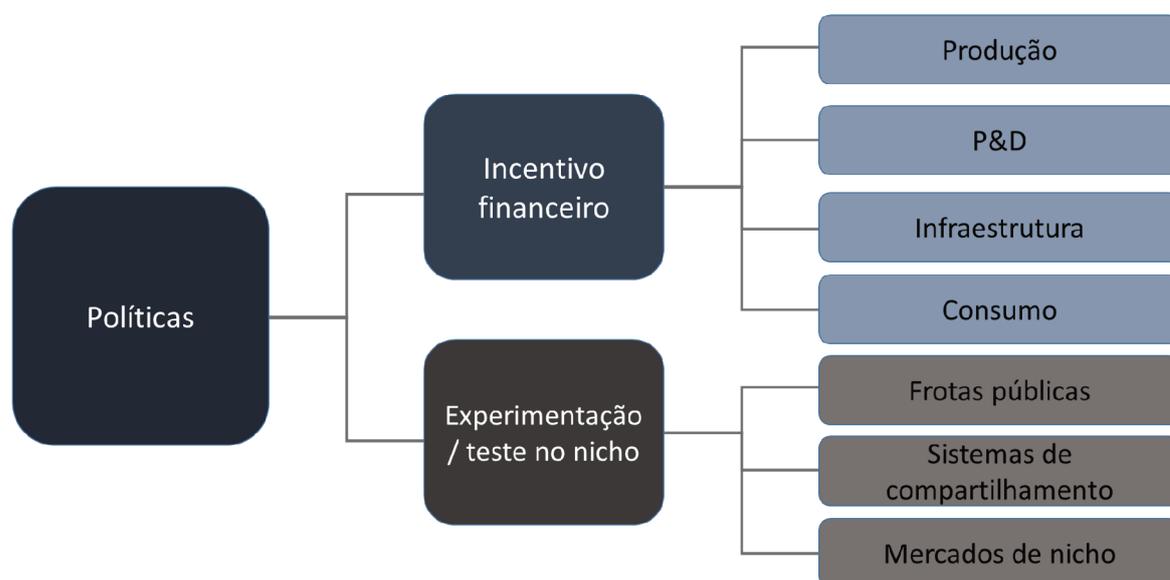
ajudar no desenvolvimento da tecnologia. Québec considerou não apenas as necessidades da TIS de CE, mas também como poderia utilizar recursos locais (conhecimento de hidroeletricidade, por exemplo) para ajudar o sistema. Mostraram a possibilidade de inovação cruzar por diferentes regimes (CE pelo elétrico e mobilidade, por exemplo) e ativar interações entre eles, com possibilidade de derramamentos tecnológicos. Com isto, especialistas em baterias e motores elétricos foram direcionados para aplicações de CEB (HALEY, 2015).

Por último, o resultado da pesquisa de Xue *et al.* (2016) mostrou que os subsídios financeiros, para PD, compra dos carros, criação de infraestrutura e produção, são a ação protetiva mais importante para que a tecnologia do CE se desenvolva, pois serve para dar segurança tanto aos consumidores quanto às empresas que possuem receio de arriscar a adoção e desenvolvimento do produto. Porém, apenas focar o suporte no desenvolvimento de conhecimentos para a tecnologia dos carros elétricos por si não é suficiente. Uma mistura de políticas voltadas a combinação de intervenções mirando desenvolvimento e difusão de conhecimento, criação de mercado, experimentação empreendedora e moldando uma legitimização mais abrangente para CE são necessárias, pois mesmo que estes carros cheguem a preços competitivos em comparação aos CCI, a sua aceitação mais ampla pode ainda ser dificultada porque as empresas privadas sub-investem em infraestruturas de recarga ou reabastecimento em grande escala, por exemplo (RAVEN; WALRAVE, 2018). Há também as barreiras psicossociais existentes citadas anteriormente, como possíveis necessidades de mudança de hábitos do consumidor (como recarregar o CEB em casa ou no trabalho), desconfiança com performance, receio da durabilidade da bateria, riscos de fornecimento do hidrogênio, dentre outros.

Apesar desses subsídios, portanto, fora identificado que a criação de nichos protegidos para aplicação da tecnologia para o aprendizado dos potenciais usuários e produtores, como no caso de Québec citado anteriormente. Outros exemplos é a utilização de carros elétricos em frotas públicas ou, principalmente, em sistemas de compartilhamento de carros. Este último sendo o mais citado na literatura pesquisada e considerado como um dos principais fatores para aceleração da transição, até mesmo com possibilidade de modificar ainda mais o regime sócio-técnico para um futuro utilizando os carros como um serviço ao invés de adquirindo eles como um produto. A figura 18 resume os tipos de políticas identificadas na literatura.

Em suma, as políticas financeiras, explanadas no texto acima, são aquelas que possuem incentivos financeiros direto para os autores, seja na produção dos carros, para pesquisa e desenvolvimento, abatimento na compra ou taxas pelos consumidores e em infraestrutura, como a construção de eletropostos, por exemplo. Já as políticas de teste ou experimentação são aquelas que buscam modificar a opinião do público por meio da experimentação da tecnologia ou também a provisão de testes com usuários

Figura 18 – Tipos de políticas



Fonte: Elaborado pelo autor

para o desenvolvimento tecnológico.

5.4.3 Atores estabelecidos e emergentes

O processo de incorporação social de uma tecnologia como a dos carros resalta que os novos compradores, motoristas e passageiros são importantes, mas também as montadoras e seus funcionários, concessionárias de franquia, reguladores nacionais, fornecedores de eletricidade e combustível, lobistas e grupos da sociedade civil e políticos locais (KANGER *et al.*, 2019).

Em relação aos consumidores, na Noruega e Reino Unido, os adotantes de CEB são pessoas de alta renda, bem educadas, que querem guardar dinheiro e preocupadas com o meio-ambiente (BERKELEY *et al.*, 2017; FIGENBAUM, 2017; MORTON *et al.*, 2018). Isto ocorre, pois a adoção de uma nova tecnologia incorre risco de incerteza sobre a confiabilidade de performance, durabilidade, dentre outros fatores. E pessoas com maiores níveis socioeconômicos estão mais dispostas a correr o risco em prol de possíveis benefícios pessoais e socioambientais. Por outro lado, uma crítica que ocorre é devido a equidade e impactos sociais dos subsídios de compra e outros benefícios adquiridos na compra de um carro elétrico (SOVACOOOL; KESTER *et al.*, 2019). Transições sustentáveis tem um foco maior em tecnologia, mas pouco em sociedade, pois devido às iniciativas com carros elétricos ainda estarem imaturas, em estado de nicho, apenas pessoas com maior poder aquisitivo têm condições de os comprar e são elas que estão se beneficiando das políticas financiadas com dinheiro público (WELLS; NIEUWENHUIS, 2012).

Nem todos os atores favorecem uma transição para os carros elétricos. O regime apresenta grande estabilidade e as grandes montadoras são atores cruciais que possuem a capacidade de mantê-la. Melhorias de processos e tecnologia permitiram resistências à mudança, melhorando a tecnologia dominante do motor à combustão. Com essas melhorias graduais de performance, as montadoras conseguiram evitar uma necessidade de mudança radical para acompanhar as melhorias solicitadas pela sociedade, atingindo as metas impostas de reduções de emissões até então (WELLS; NIEUWENHUIS, 2012). Operações complexas, baixas margens e alto risco leva as empresas de automóveis a favorecer mais o regime incumbente que novas inovações radicais como CEB ou CECC (STEFANO; MONTES-SANCHO; BUSCH, 2016).

As montadoras ou também chamadas de Fabricantes Originais de Equipamento, como Ford, Volkswagen, Toyota, Nissan, Tesla e outras, são responsáveis pelas inovações radicais no setor de carros, segundo a literatura sócio-técnica. Por outro lado, algumas delas tentam fazer *lobby* para que não sejam obrigadas por regulamentações a aplicar inovações radicais, podendo manter a estabilidade e reduzir os riscos (BAKKER; MAAT; WEE, 2014). As montadoras alemãs, por exemplo, estão apenas iniciando o desenvolvimento de híbridos e elétricos a bateria, a previsão é que não haja nenhuma mudança significativa pelo menos nas duas próximas décadas em relação a dominância do regime incumbente (MAZUR; CONTESTABILE *et al.*, 2015).

A Alemanha possuía o objetivo de ter 1 milhão de carros elétricos (CEB e CEHP) rodando até 2020, mas em 2015 possuía apenas 30 mil. Apenas em 2016 que o governo concordou em dar suporte aos CEB e CEHP com subsídios de compra, reduzindo taxas e desenvolvendo infraestrutura de carregamento (TRUFFER; SCHIPPL; FLEISCHER, 2017). Anteriormente os incentivos iam apenas para PD, buscando fortalecer a indústria local, mas os quais tiveram pouco impacto na difusão de CE. Essa mudança foi incentivada também pelo escândalo de corrupção denominado *Dieseldgate*, o qual a Volkswagen implementou dispositivos que burlavam os testes de emissões, objetivando atingir as metas de reduções de emissões com a tecnologia dominante do CCI (BERKELEY *et al.*, 2017).

Esta preocupação com as grandes montadoras é devido a crença de que mudanças no regime não acontecerão se as grandes montadoras não se envolverem. Porém, o estudo de Warth, Gracht e Darkow (2013) mostrou que para os acadêmicos em sua análise Delphi, muito provavelmente atores de fora do regime incumbente que vão empurrar a difusão de CE no mercado. Espera-se agora das montadoras que interajam com provedores de eletricidade e de infraestrutura, sofrendo pressões crescentes para a criação de novos modelos de negócios para adição de valor nesta emergente cadeia de valor para CEB (XUE *et al.*, 2016). Isso tudo significa que grandes e disruptivas mudanças acontecerão, e é por isso que alguns novos entrantes como a Tesla e BYD podem obter sucesso em uma indústria que tradicionalmente possui grandes barreiras

de entrada (NIEUWENHUIS, 2018). A Tesla foi a primeira empresa a oferecer CEB de alto alcance, fazendo até 500 quilômetros numa recarga (NILSSON; NYKVIST, 2016) e que são comparáveis aos CCI (NYKVIST; NILSSON, 2015b; DIJK, 2016). Outros entrantes que estão se envolvendo são: Google, Apple, Panasonic, LG e BYD (esta última com expertise em baterias de celular e notebook, utilizaram seu know-how para fazer CEB) (NIEUWENHUIS, 2018).

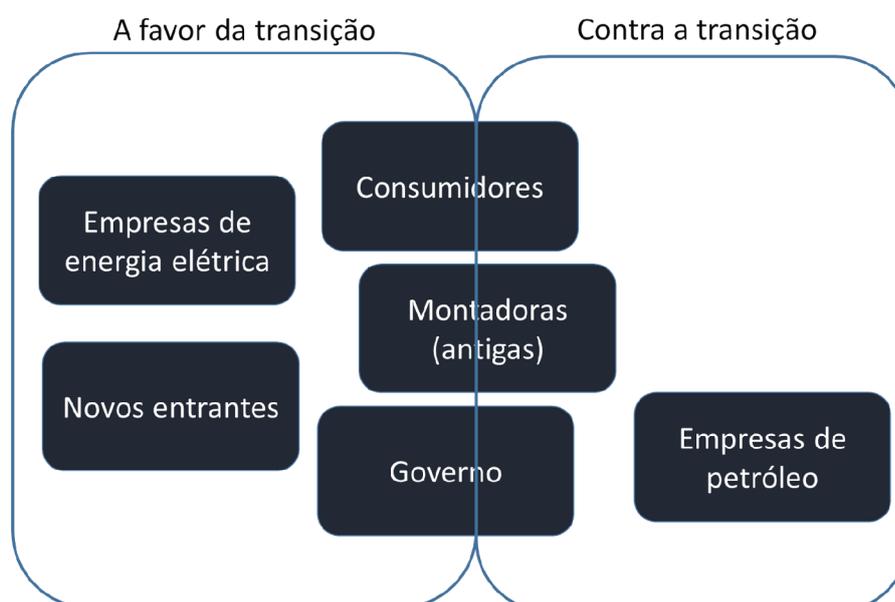
Outro novo entrante que foi importante para o desenvolvimento do nicho de CEB foi a empresa Better Place. Esta empresa fornecia o serviço de troca rápida de bateria ao pagar uma mensalidade e, em último plano, seu objetivo era que os carros deixassem de ser pagos e existisse apenas este serviço de *leasing*. Entretanto, a empresa faliu. Segundo Sovacool (2017), o problema é que a empresa possuía uma visão e estratégias independentes de outros atores importantes do cenário como a Tesla Motors, tentando criar inovações de nicho muito radicais em comparação ao regime. Para os autores a empresa “esticou” muito suas inovações, mas inovações de nicho que são menos radicais devem se adequar com mais facilidade em contextos existentes. Por outro lado, a inovação da Tesla e BYD foi basicamente a mudança de fonte de combustível, para eletricidade ao invés de petróleo, mas não mudanças mais radicais no modelo de negócios ou design do carro (KANGER *et al.*, 2019). Mesmo com o sucesso dos novos entrantes, a capacidade produtiva de CE mundialmente ainda é mínima se comparada com CCI (IEA, 2018a). Enquanto nichos são importantes no começo desta transição, outros grandes atores precisam se envolver para que ela de fato aconteça de forma acelerada (BERKELEY *et al.*, 2017).

Em um novo regime de mobilidade com predominância de CEHP e CEB haverá um cruzamento entre os regimes de mobilidade e energia. Portanto, novos atores deste outro regime podem e irão atuar no nicho atual. O estudo de (BAKKER; MAAT; WEE, 2014) analisou os pontos de vista e base lógica do interesse de dois grandes atores do sistema sócio-técnico na Holanda: produtores de energia e operadores do grid elétrico. Devido a consequências legais, operadores de *grid* e fornecedores de energias estão relutantes em investir em infraestruturas de recarga públicas. Outra discussão é sobre os direitos de fornecimento os carregadores rápidos nas rodovias holandesas, o qual os operadores e fornecedores de energia disputam entre si e também com donos de postos de gasolina. Esses últimos dizem que deveriam ser eles apenas os fornecedores, pois já tem direito a operar postos. Porém, outros atores dizem que estas empresas entraram na disputa apenas para retardar o processo de licenciamento para os carregadores rápidos. Já os operadores de *grid* também estão relutantes, pois apenas um dispositivo já é suficiente para desestabilizar o sistema de energia de uma área específica, quiçá diversos.

As disputas entre atores acabam por atrasar o processo de difusão, visto que as infraestruturas de recarga são importantes para os potenciais usuários. Por este

motivo, é necessário o envolvimento do governo e órgãos públicos para direcionar o caminho a seguir, por meio de políticas públicas e regulações. Mesmo que o governo não possua capacidade para fazer uma transição ocorrer sozinho, ele tem um papel fundamental como suporte para desenvolvimento tecnologias de nicho e aumentar o reconhecimento do público perante a tecnologia (HUSSAINI; SCHOLZ, 2017). A figura 19 resume os principais atores e seu posicionamento em relação a transição, conforme interpretado pela literatura.

Figura 19 – Principais atores - contra ou a favor da transição



Fonte: Elaborado pelo autor

A figura 19 divide os atores em dois grupos: aqueles que são a favor do processo de transição e direcionam seus esforços para acelerar essa transição versus aqueles que são contra o processo de transição e direcionam seus esforços para impedir ou desacelerar este processo. Alguns atores se encontram entre as divisões, isto se dá devido a diversidade de grupos, empresas e pessoas que estão representadas por um conjunto grande e único de ator, mas que na verdade não podem ser simplificados dessa forma se a intenção é descobrir o posicionamento específico de cada um. Em suma, esta figura é um resumo desse posicionamento de forma a ajudar o leitor a compreender os resultados aqui obtidos desta revisão.

5.5 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou mostrar como está ocorrendo a evolução, estado atual e perspectivas no cenário mundial para carros elétricos a partir da lente teórica das

transições sócio-técnicas. Ressalta-se que há um viés, principalmente europeu e asiático, pois são de lá a maior parte das publicações científicas encontradas. Abrindo oportunidades e necessidade de pesquisa para compreender como estas transições sócio-técnicas estão ocorrendo em outros locais, como o Brasil, Estados Unidos e a Índia, por exemplo.

Esta revisão encontrou três aspectos principais influenciadores do processo de transição para carros elétricos, segundo a literatura estudada. São eles: tipos de tecnologias, atores do sistema sócio-técnico e políticas capazes de influenciar as mudanças necessárias para acelerar o processo de transição.

Em relação aos tipos de tecnologias, foram encontradas quatro tipos de tecnologias de carros elétricos que podem vir a dominar o regime ou servirem como uma ponte de transição para uma das outras tecnologias. As quatro tecnologias podem ser divididas em: carros elétricos híbridos, híbridos plug-in, a bateria e a célula de combustível por hidrogênio.

Os carros elétricos híbridos, nos primeiros artigos da revisão efetuada, eram vistos como a principal solução no médio e longo prazo para a possibilidade de redução das emissões de particulados e gases de efeito estufa e uma possível ponte tecnológica a partir de aprimoramentos em sistemas de bateria e transmissão para o desenvolvimento de tecnologias mais avançadas de CCEC e CEB futuramente. Porém, em poucos anos, devido a rápidos avanços e aprendizado com smartphones, notebooks e até mesmo nichos para carros elétricos que seguiram uma curva de decaimento exponencial no preço das baterias em conjunto com o surgimento de novas empresas entrantes como Tesla e BYD, além de pressões e políticas públicas no ambiente sócio-técnico, a tecnologia de CEH está aos poucos sendo rejeitada como possibilidade sustentável através de políticas governamentais que exigem carros ainda menos poluentes, como os CEB e CECC.

Devido ao fato de ainda continuar realizando emissões de poluentes e gases de efeito estufa, pois apesar de possuir um motor elétrico auxiliar com uma bateria, tendo como sua principal fonte de combustível os poluentes como gasolina, os CEH estão cada vez mais sendo vistos como uma não possibilidade de tecnologia para redução destes impactos. Os carros elétricos híbridos plug-in surgiram logo em seguida nos textos científicos como a tecnologia mais provável para servir de ponte de transição entre os CCI para CEB ou CECC, pois podem utilizar tanto gasolina, não se fazendo necessário mudanças tão abruptas no modus operandi do regime e ao mesmo tempo abrindo espaço para utilização do carro apenas no modo elétrico para baixas quilometragens, a qual o carro pode ser recarregado na tomada ou infraestrutura de recarga.

Previamente, não se sabia qual tecnologia seria a dominante no regime após a ponte de transição dos CEHP. As baterias ainda estavam muito caras e possuíam

pouca densidade, e os custos de distribuição e produção de hidrogênio para a célula de combustível também. Com os recentes desenvolvimentos das baterias de lítio e orientação de pesquisa de alguns países como Holanda, Noruega, China e Alemanha e a dificuldade do nicho de CECC em se desenvolver (há pouco desenvolvimento e majoritariamente concentrado apenas no Japão), existe uma inclinação para os CEB. Devido aos efeitos de *lock-in* e dependência de trajetória, os acúmulos de conhecimento sendo adquiridos com produção de CEH, CEHP e CEB que precisam de baterias e a aversão ao risco das grandes montadoras em seguir trajetórias diferentes das outras empresas devido aos efeitos de externalidades de rede, provavelmente os CEB dominarão o novo regime. Uma inovação de rompimento pode acontecer para o abastecimento de hidrogênio ou até mesmo aplicações em contextos regionais específicos como Japão, entretanto ao analisar as pesquisas da literatura em transições sócio-técnicas com os reports e bases de dado, acredita-se que os CEB dominarão globalmente de forma genérica. Entretanto, a não escolha de uma trajetória e legitimização de uma tecnologia específica pode retardar o processo de adoção e confundir os atores sobre qual delas adotar, como ocorreu no exemplo da Suécia citado no texto.

Como ressaltado anteriormente, a literatura tem foco europeu e asiático, além de que alguns países demoram mais que outros no processo de transição. Diferenças em contextos geográficos, como já ocorreu no passado no Brasil com a utilização do etanol no motor de combustão interna, podem significar diferentes tecnologias dividindo regimes específicos ou até mesmo dominando, como os híbridos *flex fuel* que podem vir a dominar o cenário brasileiro ou CECC e CEH no Japão.

As transições sócio-técnicas são assim chamadas, pois consideram fatores não apenas tecnológicos, mas também sociais no processo de transição tecnológica. Isso fica claro quando se discute o envolvimento dos atores no processo de transição, os quais podem criar barreiras ou agir de forma sinérgica para acelerar a transição. Mesmo se os CEB, por exemplo, fossem mais baratos e melhores em performance, não é certo se dominariam ou não o regime. Isso ocorre, pois para realizar suas funções de mobilidade, o carro precisa de diversos outros serviços e infraestruturas, como mecânicas para conserto e troca de peças e infraestrutura de recarga para abastecer.

Em relação aos atores, foram encontrados alguns grupos de atores principais que influenciam o sistema sócio-técnico e divididos entre a favor ou contra a transição. São esses atores: as grandes montadoras atuais, novos entrantes como Tesla e BYD, o governo que possui papel fundamental ao utilizar políticas para influenciar a transição, os consumidores, as empresas de energia elétrica que beneficiam de maior uso de eletricidade e as empresas de petróleo que tem muito a perder se esta transição de fato ocorrer.

Para ajudar a resolver o conflito de interesses entre atores, adotar padrões regulatórios e políticas de incentivo para acelerar o processo de transição é necessário

o envolvimento do governo. Seu envolvimento é justificado pelos benefícios sociais e ambientais que a transição pode levar, mitigando as emissões de poluentes e gases de efeito estufa ao mesmo tempo que aumenta a segurança energética ao incentivar mutuamente fontes renováveis. O envolvimento do governo foi citado como fator crucial para o sucesso na produção e adoção das tecnologias de carros elétricos, como mostrado nos exemplos da China e Noruega, principalmente.

Pode-se dividir em dois tipos principais de políticas utilizadas pelo governo para viabilizar a transição: (1) políticas financeiras, como abatimento na compra e taxas, investimentos para PD, produção de CE e na construção de infraestrutura; e (2) políticas para experimentação ou teste no nicho sócio-técnico que buscam por meio do aprendizado mudar a opinião dos usuários e produtos, além de fornecer um espaço protegido para se realizar testes e desenvolvimento tecnológico com dados empíricos.

Países considerados mais ricos, com populações pequenas e com pouca ou sem indústria nacional de carros, tendem a oferecer mais subsídios para compra dos CE. Enquanto países que possuem grandes montadoras, devido ao *lobby* e interesse de manter o domínio do mercado mundial, tendem a fornecer mais subsídios para PD e produção. Entretanto, a China que é o país que mais produz e compra carros elétricos utiliza uma combinação dos tipos de incentivos com políticas. Isso ocorre, pois o país quer se tornar líder mundial na produção de carros elétricos e também quer diminuir sua dependência de importação de combustíveis fósseis, aumentando sua segurança energética. O objetivo deste artigo era dar um panorama geral e, portanto, não foi estudado a fundo e comparados os impactos dos diferentes tipos de políticas públicas na adoção de CE. Todavia, os artigos citados vão mais a fundo nos assuntos aqui tratados separadamente.

A criação de nichos de mercado para aplicação e aprendizado por experiência tanto pelos produtores quando potenciais usuários também é citada como um fator que ajuda o processo de transição. Isso ocorre devido a aversão ao risco desses atores que ocorre devido a limitação de recursos existentes. Os sistemas de compartilhamento de carros foram citados como a principal ou uma das principais aplicações de nicho. Isso ocorre, pois nos sistemas de compartilhamento o preço mais alto dos carros elétricos (principalmente CEB) são diluídos quando usados com maior intensidade devido aos seus baixos custos de manutenção e operação.

Um artigo de revisão de literatura pode ter diversos objetivos. Aqui mostrou-se um panorama geral do que se está sendo tratado na literatura de transições sócio-técnicas sobre as quatro principais tecnologias de carros elétricos, os tipos de políticas e os principais atores envolvidos neste processo. Entretanto, o trabalho é limitado pelas suas palavras-chave utilizadas na busca e não necessariamente aqui foi apresentado todo o conteúdo da literatura de forma exaustiva, mas sim os pontos considerados mais importantes pelos autores do artigo. Esse panorama geral pode ajudar os pes-

quisadores para onde focar seus esforços nas próximas pesquisas de transições para carros elétricos. Como também servir de guia através dos artigos aqui citados para assuntos mais específicos, além de compreender como a literatura de transições está enxergando este processo. Buscou-se também comparar os resultados obtidos da análise de conteúdo com dados empíricos e comparar se é possível chegar às mesmas conclusões, o que pode implicar uma maior confiança nos resultados.

Para futuras pesquisas, recomenda-se realizar estudos quantitativos dinâmicos para buscar entender quais políticas podem maximizar o processo de transição, servindo como base para a tomada de decisão dos formuladores de políticas públicas. Fala-se da criação de nichos para experimentação, como frotas públicas ou sistemas de compartilhamento, mas não se encontrou nenhum estudo que identificasse seus impactos no processo de transição, abrindo esta lacuna para pesquisas futuras. Diversos artigos falam das barreiras existentes para o processo de transição, entretanto falta um olhar através da lente das transições sócio-técnicas de como essas barreiras se formam pela interação entre os atores sócio-técnicos (barreiras sócio-técnicas) e como estas podem ser mitigadas.

Como a literatura possui viés europeu e asiático, tanto para melhor compreender o processo de transição local como para auxiliar formuladores de políticas destas regiões, é interessante a realização de estudos voltados para as regiões do Sul Global, onde esta transição pode ocorrer de forma diferente devido às características demográficas e socioeconômicas diferentes destas regiões.

6 ARTIGO 2 - BARREIRAS PARA A TRANSIÇÃO DE CARROS ELÉTRICOS: SISTEMAS DE COMPARTILHAMENTO COMO FATOR MITIGADOR

RESUMO

Há três grandes problemas a respeito da mobilidade que podem ser em parte ou totalmente resolvidos com uma transição para carros elétricos. O processo de transição envolve não somente o desenvolvimento tecnológico, mas outras características que envolvem uma tecnologia que supre uma função social importante como a dos carros com a mobilidade. Apesar de diversos esforços com investimentos, pesquisas e subsídios, além de políticas de incentivo e regulação para emissões, os carros elétricos ainda estão em processo lento de transição. Isto ocorre devido a existência de diversas barreiras que impedem ou desaceleram o processo de transição. É também discutido na literatura, diversas formas de se mitigar estas barreiras, como os sistemas de compartilhamento de carros elétricos. Este trabalho buscou identificar quais barreiras existem para este processo de transição para carros elétricos e quais barreiras podem ser mitigadas por estes sistemas de compartilhamento por meio de uma revisão de literatura baseada na lente teórica de transições sócio-técnicas para os carros elétricos. Após identificadas, as barreiras foram separadas em seis diferentes categorias: tecnológicas, psicológicas ou cognitivas, financeiras, de infraestrutura, institucionais e regulatórias, e por último, as que envolvem os efeitos de *lock-in* e dependência de trajetória tecnológica pelas relações entre nicho e regime, chamadas de barreiras sócio-técnicas. Foi construído um *framework* com as barreiras genéricas identificadas a fim de auxiliar os tomadores de decisão a saber de antemão as possíveis dificuldades a serem encontradas neste processo, independentemente da região ou país. Em seguida, foram identificadas quais barreiras podem ser mitigadas pelos sistemas de compartilhamento de carros elétricos. Identificou-se que a partir da experimentação que gera aprendizado para usuários e produtores, é possível mitigar algumas barreiras, principalmente as psicológicas e auxiliar no desenvolvimento tecnológico para mitigação de outros tipos de barreiras.

Palavras-chave: transições sócio-técnicas; carros elétricos; sistemas de compartilhamento; barreiras.

6.1 INTRODUÇÃO

A respeito de mobilidade, a sociedade possui principalmente três grandes preocupações: o aquecimento global causado pelas emissões de gases de efeito estufa, a poluição do ar local por partículas finas e a seguridade energética, visto que hoje o principal meio de mobilidade dos países do oeste é o carro e este utiliza da queima de combustíveis fósseis para gerar energia (GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017).

Uma possível solução para esses problemas é a utilização de carros com baixas ou nulas emissões de carbono e partículas finas, mais precisamente os carros elétricos (BOON; BAKKER, 2016). Entretanto, os carros elétricos já tiveram diversos altos e baixos em expectativa de vingarem, mas até recentemente seu sucesso foi mínimo. Em 1990 foi lançado o programa “*Zero emission vehicles*” (ZEV) no estado da Califórnia, EUA com o intuito de incentivar a produção de carros de baixa emissão de poluentes (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013).

Segundo Bohnsack, Kolk e Pinkse (2015), um reflexo dessa iniciativa foi um período de três principais fases: exploração com bateria, onde houve algumas tentativas com carros híbridos, *plug-in* e de bateria até o ano de 1997, mas sem sucesso. Em seguida o foco virou para os carros de célula de combustível até 2006, mas outra vez sem sucesso. E, por último, as expectativas voltaram para os carros de bateria coma redução dos custos dessa tecnologia. Mesmo com um sucesso direto relativamente baixo, a iniciativa ZEV influenciou programas de desenvolvimento de carros elétricos em diversos outros países na Europa, a China, Canadá, dentre outros (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013; HALEY, 2015).

Apesar das diversas iniciativas e investimentos para o desenvolvimento dessas tecnologias, ainda é incerto qual ou quais terão sucesso no longo prazo. E devido ao alto poder da indústria automotiva e sua estabilidade, investimentos já comprometidos com a tecnologia de motor à combustão, conhecimento, mão-de-obra especializada e treinada, entre outros fatores, a transição tecnológica ainda anda lentamente. Uma mudança desse impacto num sistema que exerce uma função social importante, como o de mobilidade, costuma levar décadas e é afetada por diversos outros fatores além apenas do desenvolvimento de custo e performance da tecnologia substituta (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Isso ocorre devido às diversas barreiras não apenas tecnológicas, mas também sociais que envolvem um processo de transição. Por essa razão, é importante uma lente teórica que abarque as complexidades não apenas tecnológicas, mas sociais envolvidas nesse processo de transição. A lente teórica das transições sócio-técnicas buscam entender como ocorre este processo de transição e a complexidade de fatores envolvidos (GEELS, 2018).

Este trabalho busca identificar quais são as principais barreiras que dificultam o processo de transição no sistema sócio-técnico de mobilidade, realizando uma revisão de literatura sobre o tema de transições sócio-técnicas e carros elétricos. Um sistema complexo como esse não apresenta apenas algumas barreiras, mas sim diversas. Portanto, ações simplistas não conseguem superá-las. Na literatura revisada, citou-se que os principais fatores que podem acelerar o processo de transição são o auxílio das autoridades públicas com políticas de subsídios, incentivos e investimentos, e criação de nichos para experimentação tecnológica, principalmente sistemas de carros compartilhados (DIJK, 2016). A utilização das políticas já foi bastante estudada na

literatura (WELLS; NIEUWENHUIS, 2012; BOHNSACK; KOLK; PINKSE, 2015; BOON; BAKKER, 2016; FIGENBAUM, 2017), já os sistemas de compartilhamento, apesar de muito citados como aceleradores da transição, há poucos estudos.

Portanto, após a identificação das barreiras e elaboração de um framework genérico de barreiras por meio de um quadro para auxílio no processo de transição dos tomadores de decisão, o presente trabalho identifica e discute as possibilidades dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos na quebra ou mitigação de algumas das barreiras encontradas.

6.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O modelo econômico dominante hoje, o capitalismo, é por natureza, uma forma ou método de mudança econômica que não é e nunca poderá ser estacionária com processos de destruição criativa no qual o novo destrói o antigo causando ciclos (SCHUMPETER, 1934). As inovações estão relacionadas com o crescimento econômico dos países e, por esta razão, são relevantes para o desenvolvimento de um país (FREEMAN, 1995). Sobre os efeitos cíclicos, têm-se o período de crescimento econômico e períodos de crises econômicas (NELSON, 1995). No início de um novo ciclo, após uma crise, diversas soluções tecnológicas com novos designs competem para satisfazer uma função social ou necessidade e, normalmente, um se torna dominante devido a ganhos de custos ou características superiores para o momento (ANDERSON; TUSHMAN, 1990). Um exemplo foi o surgimento dos carros elétricos, com motor à combustão por gasolina, dentre outros designs que surgiram no século XIX com a transição do cavalo para outro tipo de meio de transporte (HOOGMA, 2002; HØYER, 2008).

Um período de incerteza, chamado de “era de fermentação”, sucede uma competição de performance entre diversas variantes, incluindo redução de custos e *market share* (UNRUH, 2000). Entretanto, a escolha do design dominante não necessariamente resulta na melhor opção tecnológica no longo prazo, seja em termos técnicos ou sustentáveis, como no caso dos carros elétricos versus os de motor à combustão, mas sim naquelas que obtém oferta de valor superior no período de fermentação tecnológica (ANDERSON; TUSHMAN, 1990; GEELS, 2005b). Dado o fator intrínseco de risco acerca da incerteza associada ao resultado de um design, não é possível saber de antemão qual será a melhor solução a longo prazo, favorecendo assim a escolha da opção de menor risco, i.e. da opção que já mostrou resultados e viabilidade inicialmente (NELSON; WINTER, 1977).

A descontinuidade tecnológica destrói competências, tornando obsoleto o conhecimento prévio, introduzindo novos métodos, processos, componentes, dentre outros fatores que modificam o paradigma tecnológico (ANDERSON; TUSHMAN, 1990). A especialização e definição de um tipo de design dominante a ser seguido cria rotinas de engenharia (DOSI, 1982) que reforçam esta dominância através de repetições,

ganhos de escala e uma curva de aprendizado que reduz custos e melhora o produto ofertado (ARGOTE; EPPLÉ, 1990). As rotinas de engenharia, ao reforçar esta dominância, criam trajetórias naturais para o desenvolvimento tecnológico através de melhorias incrementais que aumentam a discrepância da tecnologia dominante com as demais possíveis soluções (NELSON; WINTER, 1977).

Quando um design tecnológico se torna dominante, cria-se um paradigma tecnológico em torno dele. Um paradigma tecnológico é análogo a ideia de paradigmas científicos que pode ser definido como uma perspectiva, um padrão de inquérito, uma série de procedimentos, a definição dos problemas relevantes e o conhecimento específico relacionado a suas soluções (DOSI, 1982). Segundo Dosi (1982), um paradigma tecnológico possui fortes prescrições nas direções de mudança tecnológica a ser perseguida e quais negligenciar. Assim, os paradigmas tecnológicos possuem um forte poder de exclusão, pois os esforços e imaginação tecnológica dos engenheiros e organizações estão focados em direções precisas de melhoria (a trajetória natural), cegando-os de outras possibilidades tecnológicas.

Estes fatores culminam numa dependência de trajetória tecnológica, pois os desenvolvimentos e esforços colocados sobre uma tecnologia dominante, por exemplo o motor de combustão interna para os carros, ganham cumulatividade e geram os chamados “*lock-ins*” (STRUBEN; STERMAN, 2008). Designs inferiores podem ficar presos através deste processo de dependência de trajetória no qual tempo, estratégia e circunstâncias históricas, tanto quanto a adequação, determinam a vencedora (ARTHUR, 1989). Isto ocorre também devido às tecnologias vencedoras exibirem maiores retornos de escala crescentes durante seu desenvolvimento e comercialização que podem acelerar melhorias em relação as demais (UNRUH, 2000). As dinâmicas de retornos crescentes empregadas a uma tecnologia aumentam sua atratividade. Este é o caso dos carros de gasolina que vieram a dominar uma corrida “de sorte” que, por alguma razão ganhou a liderança inicial e isso se tornou um mecanismo de bola de neve que reforçava seu domínio (NELSON, 1995). Portanto, a superioridade tecnológica e os esforços colocados no desenvolvimento de um design específico criam barreiras para novas tecnologias substitutas surgirem.

6.2.1 Transições sócio-técnicas

O conceito de transições sócio-técnicas evoluiu a partir das teorias evolucionárias da inovação que se desenvolveram para lidar com problemas cada vez mais complexos relacionados à inovação, problemas socioambientais e o processo de substituição tecnológica (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). A reorientação estrutural da atividade econômica em direção sustentabilidade tem sido rotulada como processos de mudança sócio-técnicas, transformação industrial e transições (sócio) tecnológicas (GEELS, 2002).

O processo de substituição tecnológica não pode ser visualizado levando em conta apenas as características técnicas e de custo do produto, pois outros fatores também afetam este processo. Grandes setores da economia como o de suprimento de águas, energia elétrica ou transportes podem ser conceitualizados como sistemas sócio-técnicos, pois envolvem redes de atores (indivíduos, empresas, entre outros) e instituições (normas, regulações e padrões sociais e técnicos), como também artefatos materiais (produtos e infraestruturas, por exemplo) e conhecimento (GEELS, 2004; MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

Uma tecnologia por si só não apresenta relevância. Apenas em associação com agências humanas, estruturas sociais e organizações é que uma tecnologia é capaz de cumprir funções relevantes (GEELS, 2002). Estes sistemas sócio-técnicos consistem em uma mistura interdependente e em co-evolução de tecnologias, cadeias de suprimentos, infraestruturas, mercados, regulações, práticas dos usuários e significados culturais (GEELS; SCHOT, 2007). É a interação entre esses diferentes elementos do sistema que fornecem serviços específicos para a sociedade (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012). Um produto, como é o exemplo do carro, não possui muita funcionalidade sem os diversos serviços e produtos complementares que o suportam, desde o processo de compra, emplacamento, leis de trânsito, regulamentações, manutenção, estradas e reabastecimento.

Grandes mudanças nos sistemas sócio-técnicos, como a mudança dos cavalos como meio de transporte para os carros, são chamadas de transições sócio-técnicas. Mais especificamente, transições sócio-técnicas são conjuntos de processos que levam a uma mudança fundamental nos sistemas sócio-técnicos (GEELS, 2004). Devido a complexidade e infinidade de fatores envolvidos, as transições normalmente se desdobram por tempos consideravelmente longos, costumando levar décadas (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

A Perspectiva de Multiníveis (MLP, do inglês *Multilevel Perspective*) argumenta que as transições ocorrem através de processos dinâmicos em três níveis analíticos, chamados de nicho, regime e ambiente (GEELS, 2002). A MLP oferece uma visão sistêmica do processo de transição sócio-técnica com interações ocorrendo dinamicamente entre os diversos componentes de um sistema sócio-técnico junto com uma visão de longo-prazo (GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017; KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019). Por esta razão, a MLP é uma boa ferramenta teórico-analítica para compreensão sistêmica do processo de transição ocorrendo.

Esta perspectiva busca discutir a mudança ou substituição das inovações tecnológicas como um processo não somente técnico, mas também social de assimilação dessas inovações que transformam a situação existente ao modificar regras, mostrando a interação dos atores nos três níveis descritos e analisando (SAFARZYŃSKA; FRENKEN; BERGH, 2012). As diferenças entre os níveis não são descrições objetivas

da realidade, mas conceitos analíticos e heurísticos para entender a complexidade das dinâmicas de mudanças sócio-técnicas (GEELS, 2002). Assim, a MLP divide um sistema sócio-técnico em três níveis: nicho (micro), regime (meso) e ambiente (macro).

Os nichos são espaços protegidos, ou seja, com mercados específicos e aplicações em alguns domínios, o qual inovações radicais podem desenvolver sem estarem sujeitas a pressão de seleção do regime prevalente (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998). Estas inovações tecnológicas conseguem ganhar uma base sólida nas aplicações específicas, áreas geográficas, mercados ou como alvo de políticas de suporte (GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017). Estes espaços são necessários para a fase inicial de desenvolvimento da tecnologia, oferecendo proteção para que haja experimentação por parte dos usuários para que haja melhorias e desenvolvimento tecnológico, pois estas tecnologias não conseguem competir diretamente com tecnologia dominante do regime (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998).

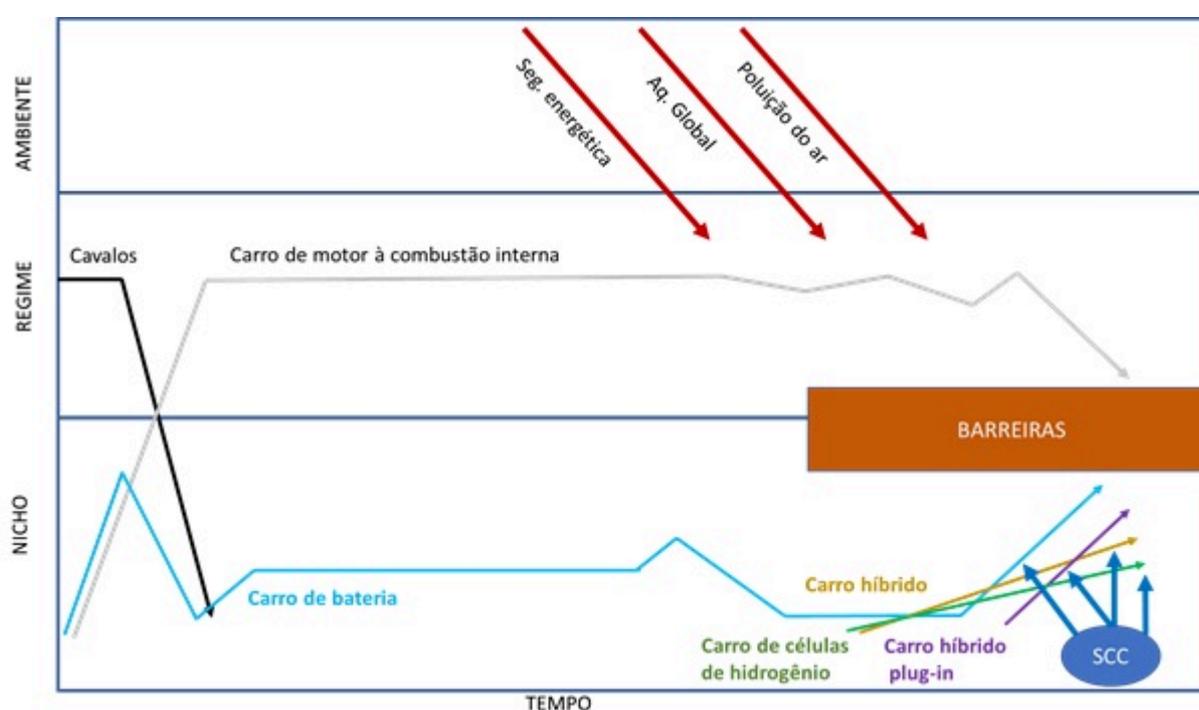
Os regimes são estabelecidos como maneiras estáveis e dominantes de se realizar dada função social. Regimes sócio-técnicos são constituídos de acúmulos e alinhamento de conhecimento, investimentos, objetos, infraestruturas, valores e normas que abrangem a relação de produção e consumo (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). A solução tecnológica dominante está firmemente integrada na sociedade e na economia, e todos os atores, infraestruturas e instituições estão voltadas para essa única solução, como é o caso dos carros com motor à combustão para o sistema sócio-técnico de mobilidade (BAKKER, 2014). E as transições estruturais do regime são conseqüentemente vistas como uma acumulação de uma ampla variedade de processos interagindo, não somente por fatores de base de conhecimento ou mercados (GEELS, 2005b).

É nos regimes onde os *lock-ins* e dependência de trajetória ocorrem. Portanto, os regimes exercem forças estruturais em cima das novas alternativas que estão surgindo nos nichos, suprimindo-as (SMITH; VOSS; GRIN, 2010). Enquanto os regimes normalmente geram inovações incrementais seguindo a trajetória natural, as inovações radicais são geradas nos nichos (GEELS, 2002).

Por último, o ambiente sócio-técnico é composto por grandes forças, tendências e fatores macro de influência no regime. Estes fatores macro incluem mudanças ambientais e demográficas, novo movimentos sociais, mudanças na política ideológica geral, reestruturação econômica abrangente, paradigmas científicos emergentes e desenvolvimentos culturais, como também choques exógenos como guerras, crises econômicas e grandes acidentes (SMITH; VOSS; GRIN, 2010; GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017). Neste contexto, o ambiente sócio-técnico se refere aos desenvolvimentos contextuais amplos que influenciam o regime sócio-técnico e o qual os atores do regime possuem pouca ou nenhuma influência (GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017). Mudanças no ambiente servem como fonte de pressão para que mudanças ocorram no regime

atual. Essa pressão acaba incitando respostas do regime, o que pode abrir oportunidades ou brechas para os nichos (GEELS, 2004). Para a MLP, as transições ocorrem devido ao alinhamento dos processos dentro e entre os três níveis (GEELS; SOVA-COOL *et al.*, 2017). Isso envolve tanto o crescimento de alternativas sócio-técnicas fortes nos nichos e aberturas favoráveis ou janelas de oportunidade que acontecem por perturbações de regimes causadas pelas pressões do ambiente, surgindo de desenvolvimentos no ambiente sócio-técnico (GEELS; SCHOT, 2007). A figura 20 mostra um exemplo esquemático da MLP.

Figura 20 – Perspectiva de Multiníveis do sistema de mobilidade individual



Fonte: Elaborado pelos autores

No ambiente sócio-técnico há a preocupação com a segurança energética dos países, aquecimento global causado pelos gases de efeito estufa e a poluição do ar local devido às partículas finas emitidas pela queima de combustíveis fósseis (LAM *et al.*, 2018; NIEUWENHUIS, 2018). Estes problemas ou crises causam pressões no regime e incitam ação dos atores, como o programa *Zero Emission Vehicles* California, Protocolo de Kyoto, *Top Runners Programme* e outros que abrem oportunidades de criação de nichos e pesquisas tecnológicas com novas opções mais sustentáveis (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013; BOHNSACK; KOLK; PINKSE, 2015; HALEY, 2015).

Iniciativas foram criadas globalmente, com quatro principais tipos de carros elétricos: (1) os carros elétricos de bateria (CEB), (2) os carros elétricos híbridos (CEH), (3) os carros elétricos híbridos *plug-in* e (4) os carros elétricos de células de hidrogênio

(CECC). O primeiro possui uma bateria, normalmente de lítio, que alimenta o motor elétrico (DIJK; ORSATO; KEMP, 2013). Já o CEH possui um motor de combustão interna e uma pequena bateria e motor elétrico para melhorar sua eficiência, enquanto o CEHP é similar, mas pode ter sua bateria recarregada na tomada (BREE; VERBONG; KRAMER, 2010). E por último, o CECC é abastecido com hidrogênio que alimenta uma célula de combustível, gerando energia para o motor elétrico (BREE; VERBONG; KRAMER, 2010). Vale ressaltar que não necessariamente apenas uma tecnologia precisa dominar o regime, mas há diversos tipos de caminhos de transição com diversas combinações possíveis (GEELS; SCHOT, 2007; HUSSAINI; SCHOLZ, 2017).

Assim como na transição dos cavalos para os carros, havia a opção de CCI e CEB, neste momento de fermentação para uma transição, existem diversas opções possíveis (GEELS, 2005b). Apesar de não ser a transição mais sustentável, pois produzir mais de 70 milhões de carros anualmente não é sustentável em qualquer tipo de mensuração (NIEUWENHUIS, 2018), o mais provável é que continuemos com o modelo de mobilidade centrada no carro nos países do oeste (GEELS, 2018). Hoje, os carros somam entre 80%-85% dos quilômetros-pessoas nestes países (GEELS; SOVACOOOL *et al.*, 2017).

Este sistema é sustentado por instituições formais e informais, como as preferências e hábitos dos motoristas, as associações culturais da mobilidade do carro com liberdade, modernidade, identidade individual, habilidades e premissas dos planejados de transportes e as capacidades técnicas das fabricantes de carros, fornecedores e lojas de reparos e serviços pós-venda (HOOGMA, 2002; GEELS, 2012). A figura 21 abaixo apresenta uma ilustração esquemática deste sistema.

Figura 21 – Representação esquemática do sistema sócio-técnico de auto-mobilidade.



Fonte: Adaptado de Geels, Sovacool *et al.* (2017)

Como se pode observar na imagem acima, há uma diversidade de fatores que

incluem este sistema sócio-técnico. A transição para uma tecnologia substitutiva, requer não somente a mudança da tecnologia, como em outras partes do sistema que estão bem estruturadas, com altos investimentos já colocados, entre outros fatores que acabam por criar barreiras à entrada de uma nova tecnologia. Uma transição para CECC, por exemplo, incorreria em novos investimentos para máquinas produzindo novas peças, uma nova infraestrutura de distribuição de combustíveis, novos conhecimentos necessários, dentre outras possíveis mudanças necessárias. No início de uma mudança de regime tecnológico, o mercado de seleção ainda define a qualidade de uma inovação se baseando no regime incumbente, podendo criar barreiras para alguns designs tecnológicos que estão tentando sair do nicho para o regime (NELSON; WINTER, 1977). Portanto, a dependência de trajetória e lock-in no regime não ocorrem apenas pelo lado do suprimento (i.e. fabricantes), mas por outros atores via incorporação de expectativas do usuário, como a de fazer tantos quilômetros com tanque cheio de combustível e esperar o mesmo da tecnologia de baterias (KANGER *et al.*, 2019).

6.2.2 Sistemas de compartilhamento de carros

O princípio do compartilhamento de carros (SCC) é simples: pessoas obtêm acesso a veículos privados, pagando por tempo de uso ou quilômetros rodados, oferecendo uma alternativa “paga enquanto usa” (SHAHEEN; COHEN, 2012). Portanto, os usuários deste serviço obtêm acesso a veículos privados sem a necessidade de compra, podendo resultar em consideráveis ganhos financeiros (MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010) e mais flexibilidade e agilidade em relação a outros tipos de transporte (ALFIAN; RHEE; YOON, 2014). O provedor do SCC geralmente é responsável por manutenção, reparação e controle (TUKKER, 2015). Ao vender a usabilidade do produto, a empresa é motivada a criar um produto-serviço que maximize sua utilização para que este atenda a demanda, estenda seu tempo de vida e reduza a quantidade de materiais necessários para sua produção (SOVACOOOL; KESTER *et al.*, 2018).

Devido ao uso compartilhado, a necessidade geral de capital no sistema é consideravelmente menor, diminuindo os custos iniciais e, conseqüentemente, reduzindo a barreira de acesso a novos consumidores (TUKKER, 2004). Visto que apenas um carro consegue reduzir entre 4,6 e 20 veículos privados, dependendo da região (GOED-KOOP *et al.*, 1999; MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010; FAGNANT; KOCKELMAN, 2014). Esta é uma boa opção para a inserção de carros elétricos CEB, CEH e CEHP na sociedade, pois quanto mais intenso o uso desses tipos, mais diluído é seu custo total e como o custo variável deles é significativamente menor que o CCI, podem se tornar mais lucrativos para os operadores de SCC.

Dentre os tipos de sistemas de compartilhamento de carros que existem, há dois que mais se destacam: os de flutuação livre e os de não flutuação livre. Sistemas de flutuação livre permitem aos usuários estacionar o veículo em uma certa área de

cobertura, enquanto os de não flutuação livre impõe restrições para os usuários de ter que estacionar o veículo em estações com um número limitado de espaços para estacionar (BOYACI; ZOGRAFOS; GEROLIMINIS, 2017).

Os sistemas de compartilhamento de carros elétricos (SCCE) não deve se tornar o principal modelo de negócios nos próximos anos, pois a cultura de posse do carro ainda deve permanecer dominante (GEELS, 2018). Entretanto, aplicação de carros elétricos como um nicho para experimentação, desenvolvimento e conscientização das pessoas sobre a tecnologia pode causar efeitos de externalidades positivas. Sua utilização no nicho acumula experiências entre todos os tipos de atores e cidadãos, permitindo que os nichos influenciem o ambiente de seleção para novas tecnologias e a exposição de usuários para frotas de carros elétricos tem se mostrado como rápida modificadora de atitudes e percepções (NILSSON; NYKVIST, 2016). Segundo Schlüter e Weyer (2019) e Shaheen, Martin e Bansal (2015), usuários de SCC expostos a carros elétricos estão mais propensos a obter um futuramente.

6.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado para realizar as análises bibliométrica e de conteúdo foi o SYSMAP (*Scientometric and sYStematic yielding MApping Process*, que significa processo de mapeamento cientométrico e sistemático, tradução livre). O SYSMAP tem por objetivo apresentar de forma sistemática e estruturada o processo de uma revisão de literatura, principalmente quando pesquisador possui pouco conhecimento no tema ou busca por detalhes específicos (VAZ; URIONA-MALDONADO, 2017).

Para a construção da coletânea a ser analisada, foram buscadas as palavras-chave indicadas no quadro 1 abaixo relacionando o tema de transições sócio-técnicas com carros elétricos. As transições sócio-técnicas podem ser divididas em quatro grandes grupos: Perspectiva de Multiníveis (MLP), Sistemas tecnológicos de inovação (TIS), Gestão das transições e Gestão estratégica dos nichos (KÖHLER; GEELS *et al.*, 2019). Foram utilizadas palavras-chave sobre MLP e TIS, pois estas representam uma visão mais ampla e holística do processo de transição sócio-técnica (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

As bases de dados escolhidas foram “Scopus” e “*Web of Science*” para a busca, e selecionados apenas artigos científicos para a leitura. Foram encontrados um total de 194 artigos na base de dados Scopus e 215 na base de dados Web of Science, dos quais após filtragem por título, palavras-chave e resumo, foram eliminados aqueles que não estavam relacionados com o tema desta pesquisa. Sobraram 55 artigos que foram lidos na íntegra.

Para a análise de conteúdo, buscou-se por problemas, barreiras, impedimentos, restrições, desaceleradores, dentre outros fatores que, aqui são simplificados como barreiras. Para nós, barreiras são todo e qualquer fator que dificulta a transição

sócio-técnica para as tecnologias de carros elétricos. As barreiras encontradas foram classificadas como de cunho tecnológico, psicológico ou cognitivo, financeira, infraestrutura, institucional ou regulatória e, por último, sócio-técnicas. Esta última se refere às relações de pressões do ambiente, supremacia do regime e fatores de interação entre nicho e regime, como os *lock-ins* e dependência de trajetória que dificultam o processo de transição.

Por último, as barreiras encontradas foram comparadas com as características ofertadas pelos sistemas de compartilhamento de carros elétricos e se há possibilidade de superação ou mitigação de algumas das barreiras.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As barreiras encontradas não necessariamente serão encontradas em todos países ou regiões que pretendem realizar uma transição para carros elétricos. A intenção da identificação destas barreiras é servir de um *framework* para que os mais atrasados no processo de transição consigam aprender com os erros e acertos daqueles mais avançados, como a Noruega e a China, por exemplo, e elaborar políticas visando superar ou mitigar o efeito destas barreiras.

O quadro 2 é a síntese das barreiras encontradas na análise de conteúdo da revisão de literatura.

As barreiras foram divididas em sua colocação no nível da MLP, sendo a nível de regime ou nicho sócio-técnico. Como também aos tipos de carros elétricos que elas se aplicam. A seguir está a descrição das barreiras.

6.4.1 Barreiras tecnológicas

A maior parte dos problemas encontrados na literatura em relação a dificuldade de adoção dos carros elétricos se referem às baterias. Isso ocorre devido ao seu alto custo e por ser um dos principais componentes do veículo ao fornecer a energia para que o motor elétrico possa funcionar, elas são um gargalo na viabilidade desta tecnologia dos carros elétricos.

A durabilidade da bateria se refere a quanto tempo de vida útil esta tem para seu uso no veículo automotivo, quando acaba sua vida é necessário substituir a bateria degradada por outra nova. Estima-se que até 80% de sua capacidade original a bateria ainda pode ser utilizada no carro, já quando reduz deste valor sua relação de capacidade de armazenamento de energia por peso fica baixa, limitando a viabilidade de utilização do veículo no dia-a-dia, pois reduz seu alcance estimado (AHMADI *et al.*, 2014; CASALS; GARCIA; CREMADES, 2017). Esta preocupação está relacionada com o alto custo da bateria e uma possível necessidade de substituição durante a vida do veículo (HUSSAINI; SCHOLZ, 2017).

Quadro 2 – Barreiras para carros elétricos.

Tipo	Barreira	Nível	CEB	CEH	CEHP	CECC
Tecnológica	Durabilidade da bateria	Nicho	Sim	Sim	Sim	Sim
	Tempo alto de recarga	Nicho	Sim	Não	Sim	Não
	Alcance da bateria	Nicho	Sim	Não	Não	Não
	Reciclagem da bateria	Nicho	Sim	Sim	Sim	Sim
Psicológica	Visto como de baixa performance	Regime	Sim	Não	Não	Não
	Preconceito do usuário	Regime	Sim	Não	Não	Não
	Desconhecimento da tecnologia	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
	Mudança comportamental	Regime	Sim	Não	Não	Não
	Ansiedade com alcance	Regime	Sim	Não	Não	Não
Financeira	Alto custo da bateria	Nicho	Sim	Sim	Sim	Sim
	Alto custo do carro	Nicho	Sim	Sim	Sim	Sim
	Cultura de posse	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
Infraestrutura	Incerteza sobre fonte energética	—	Sim	Não	Sim	Sim
	Falta de infraestrutura de abastecimento	Nicho	Sim	Não	Sim	Sim
	Capacidade limitada do grid	Regime	Sim	Não	Sim	Não
	Capacidade das fornecedoras de energia	Regime	Sim	Não	Sim	Sim
	Pouca cadeia de suprimentos	Nicho	Sim	Sim	Sim	Sim
Institucional	Falta de padrão dos plugs	Nicho	Sim	Não	Sim	Não
	Inexistência de incentivos	Nicho	Sim	Sim	Sim	Sim
	Proteção da indústria local	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
	Modelo de negócios da indústria	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
Sócio-técnica	Melhoria contínua dos processos CCI	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
	Inércia organizacional das montadoras	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
	Estabilidade do regime	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
	Dificuldade em integrar regimes	Regime	Sim	Não	Sim	Sim
	Conflito de interesses dos atores	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
	Necessidade de reeducar mão-de-obra	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
	Rotinas da indústria	Regime	Sim	Sim	Sim	Sim
Inexistência de nichos	—	Sim	Sim	Sim	Sim	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Outra preocupação é a de reciclagem das baterias utilizadas nos carros elétricos (BERKELEY *et al.*, 2017). Quando a bateria deixa de ser útil para a utilização nos veículos, elas podem ter quatro principais destinos: descarte em aterros ou lixos, reciclagem, remanufatura ou reuso em outras aplicações, como baterias estacionárias (DEROUSSEAU *et al.*, 2017; WINSLOW; LAUX; TOWNSEND, 2018). A principal tecnologia de baterias utilizada nos carros elétricos são as de íon-lítio que possuem uma taxa de 95% de aterramento. Este é um fator que pode gerar tanto problemas ambientais quanto preocupações com a viabilidade de a tecnologia se sustentar por eras.

Em relação ao tempo de recarga, os consumidores estão acostumados com o que é ofertado hoje, sua base para tomada de decisões é afetada pelas condições do regime atual. Os consumidores esperam que o tempo de recarga para carros elétricos

seja similar ao tempo de abastecimento de um carro à gasolina. O tempo esperado por eles é de 10 a 15 minutos, o que ainda está aquém para muitas tecnologias de baterias e carregadores atualmente (EGBUE; LONG, 2012; NILSSON; NYKVIST, 2016; GEELS, 2018). Este tempo é principalmente importante nas rodovias, pois para uso diário para o trajeto casa-trabalho-casa, os carros podem abastecer em estacionamentos públicos, no trabalho ou na garagem de casa, visto que os carros ficam parados na maior parte do seu tempo (BOON; BAKKER, 2016).

A preocupação com alcance das baterias está diretamente relacionado com a disponibilidade de infraestruturas de recarga (abordado mais adiante) e o tempo de recarga (NIEUWENHUIS, 2018). Assim como o tempo de recarga, esta barreira é mais preocupante nas longas viagens nas rodovias, pois para o uso cotidiano de baixa quilometragem nos centros urbanos um baixo alcance das baterias é funcional. Para longo alcance, os carros de luxo e semi-luxo da Tesla são os únicos CEB a oferecer alto alcance, fazendo até 500 quilômetros por recarga (NILSSON; NYKVIST, 2016), fato este que é comparável com os CCI (DIJK, 2016).

6.4.2 Barreiras psicológicas

A estética de muitos CEB deixam a desejar na opinião dos consumidores, aumentando o preconceito do usuário com esta tecnologia (BERKELEY *et al.*, 2017). Alguns modelos não “parecem um carro de verdade”, segundo os consumidores, representando a relutância do usuário em adotar uma mudança radical de regime (BERKELEY *et al.*, 2017; NIEUWENHUIS, 2018). Os consumidores tendem a resistir a novas tecnologias que são consideradas estranhas ou não provadas, por isto é importante que políticas considerem esses aspectos para obter alto nível de sucesso (EGBUE; LONG, 2012). O aspecto estético em conjunto com características como aceleração, baixo alcance, baixa velocidade máxima, dentre outros aspectos que são característicos dos CEB (excluindo-se os modelos da Tesla e BYD), os CEB são vistos como carros de baixa performance (KÖHLER; SCHADE *et al.*, 2013; NYKVIST; NILSSON, 2015b).

Existe a necessidade de se fazer mudanças comportamentais por parte dos consumidores para a transição para carros elétricos. Os hábitos de abastecer em postos de gasolina poderão continuar para CEH, CEHP e CECC, entretanto para os modelos a bateria isto pode mudar. Como a energia elétrica está disposta de forma mais descentralizadas, em praticamente todas as construções, existe a possibilidade de se carregar as baterias na garagem de casa, durante o trabalho no estacionamento ou até em estações de recarga dispostas nos estacionamentos a céu aberto e nos estacionamentos públicos nas ruas. Entretanto, a mudança de comportamento é complexa e pode levar anos (KÖHLER; TURNHEIM; HODSON, 2018).

Algumas barreiras podem ser efeitos ou causas de outras barreiras. Um exemplo

é a de ansiedade de alcance (também conhecida como seu nome em inglês, *range anxiety*) que, devido ao baixo alcance de alguns modelos de carros elétricos, falta de infraestrutura de recarga disponível e o desconhecimento do usuário em relação a situação atual da tecnologia, estes acreditam que podem ficar sem energia no meio de uma rodovia e sem local para poder recarregar o veículo para continuar sua viagem, causando ansiedade com a capacidade de alcance do veículo em relação à distância de sua viagem (KÖHLER; TURNHEIM; HODSON, 2018; MORTON *et al.*, 2018). Esta e as demais barreiras citadas acima, são efeitos em parte do desconhecimento do usuário sobre o estado atual da tecnologia que, apesar de ainda não ser comparável com o CCI, vem melhorando nos últimos anos (BERKELEY *et al.*, 2017).

6.4.3 Barreiras financeiras

O alto custo do carro elétrico se refere ao custo inicial de compra, pois este é mais caro se comparado com carros à combustão da mesma classe (HARDMAN; SHIU; STEINBERGER-WILCKENS, 2015) e também ao alto custo de utilização, no caso do CECC em relação ao seu uso e abastecimento (WALWYN; BERTOLDI; GABLE, 2019). O alto custo de compra é devido ao alto custo das baterias de lítio são caras, mas estão reduzindo seguindo uma curva de decaimento exponencial (NYKVIST; NILSSON, 2015a). Segundo Nilsson e Nykvist (2016), a paridade entre custo inicial dos CCI e CEB, por exemplo, devem acontecer em 2025. Já para os CECC, não há perspectiva de grandes melhorias no médio prazo (WALWYN; BERTOLDI; GABLE, 2019).

Já se comparados os custos de utilização, os CEB requerem menos manutenção, pois não há troca de óleo e há menos partes móveis, além do custo do combustível por quilômetro ser superior na gasolina se comparado com a energia elétrica (HARDMAN; SHIU; STEINBERGER-WILCKENS, 2015). Portanto, se utilizados em modelos de negócios ou situações as quais os carros possuem maior frequência de uso, como em frotas policiais, Uber, táxis, carros compartilhados, veículos de entrega, entre outros, os elétricos (CEB e CEHP) podem ter seu custo reduzido. Em outras palavras, o custo fixo do carro elétrico é superior, entretanto o custo variável é inferior. Com maior uso, o carro elétrico se torna mais barato na utilização que um com motor à combustão interna, exceto para o CECC que ainda possui um custo variável maior devido ao combustível utilizado.

6.4.4 Barreiras de infraestrutura

Os carros elétricos são uma possível solução mitigadora de efeitos como a poluição do ar local, segurança energética e emissão de gases de efeito estufa. Isto ocorre se a fonte geradora de energia elétrica que alimenta os CEB e CEHP é não emissora e renovável. Já se a energia possui como fonte termelétricas que queimam combustíveis fósseis, haverá emissões de gases de efeito estufa, continuará a dependência energé-

tica em fontes não renováveis e apenas a redução de emissões de particulados em áreas urbanas pode reduzir parcialmente. Esta incerteza sobre a fonte gera dúvidas na mente do consumidor em relação ao quão sustentável são realmente os carros elétricos e se vale a pena os comprar (WARTH; GRACHT; DARKOW, 2013).

A falta de infraestrutura de abastecimento para os veículos alimentados a hidrogênio, os CECC, diferentemente dos CEB que ainda podem ser recarregados na tomada comum. Entretanto, sua inexistência para os CEB é uma das causadoras da ansiedade de alcance, citada anteriormente. Por esta razão, existe uma correlação entre disposição de infraestruturas de recarga e carros elétricos disponíveis em diversas regiões (MORTON *et al.*, 2018). No entanto, como há poucos CEB e CEHP nas ruas, as empresas que constroem infraestrutura de recarga estão relutantes em construí-las devido ao seu alto custo. Por outro lado, a falta de infraestrutura desacelera a adoção desses carros elétricos, causando um problema do tipo “ovo e galinha” (STRUBEN; STERMAN, 2008).

Todavia, o *grid* elétrico pode ser desestabilizado apenas pela instalação de um carregador rápido numa região (BAKKER, 2014), havendo necessidade de criação e melhoria de infraestrutura em algumas regiões. A quantidade de energia elétrica gerada ainda não é uma barreira, mas pode vir a ser caso a demanda devido a utilização em massa dos carros elétricos ultrapasse a capacidade de oferta das geradoras (BAKKER; MAAT; WEE, 2014). Hoje a infraestrutura criada é para abastecer os CCI com a extração do petróleo, refinarias e distribuição pelos postos de gasolina. Caso haja uma transição para os elétricos, esta infraestrutura terá que ser modificada.

As partes de um CEH e CEHP são similares às dos CCI, podendo-se aproveitar da infraestrutura da cadeia de suprimentos existente. Entretanto, já os CEB e CECC são diferentes. Para que possam ser produzidos estes tipos de veículos, é necessário a criação ou reestruturação da cadeia de suprimentos existente, o que pode levar bastante tempo, exige capital e trabalho. Os CEH, CEHP, CEB e CECC possuem componentes diferentes dos CCI, como as baterias por exemplo. É necessária, portanto, a criação ou reforma da cadeia de suprimentos para peças de reposição, produção de novos componentes e serviços de pós-venda como os consertos. Entretanto, hoje é inexistente ou pequena esta cadeia, o que desestimula a compra desses tipos de veículos pelos consumidores (AUGENSTEIN, 2015).

6.4.5 Barreiras institucionais

Os *plugs* são os conectores utilizados nos CEB e CEHP para recarga das baterias. A diferença dos *plugs* por região não necessariamente são um problema, por exemplo: *Type 1* utilizado nos EUA e *ChaDeMo* no Japão. O problema existe quando múltiplos *plugs* co-existem em uma mesma região, tornando-se uma barreira para a adoção dos veículos nesta região, visto que os recursos para investimento em

infraestrutura de recarga são limitados e a diferença entre *plugs* exigiria multiplicar a infraestrutura existente e planejada pela quantidade de diferentes tipos de *plugs* existentes para satisfazer todos os tipos de veículos (AUGENSTEIN, 2015; BAKKER; LEGUIJT; LENTE, 2015). Em outras palavras, falta de padrão dos *plugs* pode significar menos possibilidades de infraestrutura de recarga para os CEB e CEHP em relação a se houvesse padronização.

As autoridades públicas são vistas como os maiores diretoras de mudança em transições sócio-técnicas (WARTH; GRACHT; DARKOW, 2013). E elas realizam as mudanças através de incentivos e regulações, como incentivos fiscais, incentivos para PD, metas de emissões, dentre outros (BAKKER; MAAT; WEE, 2014). Como as autoridades públicas são vistas como diretoras de mudança, sua falta de apoio e incentivos significa uma barreira para a mudança tecnológica.

Um exemplo é o caso da Suécia. A Suécia um país conhecido por suas políticas de vanguarda em prol do meio-ambiente e sustentabilidade. Entretanto, devido a problemas no passado com tecnologias de biocombustíveis, as políticas nacionais e atores do sistema sócio-técnico de carros estão significativamente mais relutantes e ambivalentes em relação às tecnologias de carros elétricos, ao não saber qual das opções escolher para investimentos e políticas, resultando em uma falta de direcionamento (NYKVIST; NILSSON, 2015b). Outro exemplo é o da China, segundo o estudo de Lam *et al.* (2018), o país teria apenas 10% de market share de carros elétricos em 2050 sem o auxílio de políticas públicas. Já com estes incentivos e criação de nichos sócio-técnicos, há a possibilidade desse valor ser de 70% do mesmo período.

A proteção da indústria local também pode ser uma barreira a uma adoção mais acelerada de carros elétricos. Uma pesquisa comparativa entre Alemanha, Japão, Noruega e Holanda identificou que países que dependem mais das montadoras para seu PIB, como a Alemanha e Japão, possuem subsídios e incentivos oferecidos para PD, enquanto países com menor importância da indústria automotiva possuem a maior parte aplicada para incentivos na compra dos veículos (WESSELING, 2016). Isto faz sentido, visto que um país sem ou com poucas montadoras não possui muitas opções de investimentos em PD.

Entretanto, o que pode ser indicado é que enquanto alguns países tentam fortalecer as montadoras locais, outros se preocupam com uma formação de nicho de mercado mais cedo (WESSELING, 2016). Na China, por exemplo, foram criados diversos nichos locais, em que cada cidade ou província incentivava ou direcionava seus subsídios para empresas locais, criando padrões locais e gerando incompatibilidade de tecnologia entre as províncias, gerando proteção da indústria local em contrapartida uma barreira para adoção da tecnologia em outras localidades (BOHNSACK, 2018).

6.4.6 Barreiras sócio-técnicas

As barreiras sócio-técnicas são barreiras criadas à partir da interação entre regime e nichos sócio-técnicos, relacionando os ciclos de reforço para que o regime se mantenha (trajetória natural, lock-ins, rotinas da indústria, entre outros) e fatores que ajudam o nicho a obter relevância.

Wells e Nieuwenhuis (2012) realizaram um estudo buscando entender como os regimes se estabilizam, utilizando como exemplo a indústria automotiva. Os autores encontraram que melhorias de processos e tecnologia permitiram resistências à mudança, melhorando a tecnologia dominante. Com essas melhorias graduais de performance, as montadoras conseguiram evitar uma necessidade de mudança radical para acompanhar as pressões exercidas pela sociedade. As empresas estão relutantes em adotar carros elétricos com uma inovação radical, mas preferem utilizar esta tecnologia de maneira gradual (KÖHLER; SCHADE *et al.*, 2013). As melhorias graduais são o desenvolvimento da trajetória natural dos CCI e, ao conseguir cumprir as exigências mínimas das pressões da sociedade, conseguem manter por mais tempo seu domínio no regime incumbente, afastando a possibilidade de alternativas mais radicais como os CEB ou CECC, por exemplo.

As organizações incumbentes possuem segurança no domínio tecnológico e podem procurar manter e prolongar sua existência no regime, tornando-se uma barreira para inovações que modificam a mudança no regime (BERKELEY *et al.*, 2017). Além disso, operações complexas, baixas margens e altos riscos fazem com que essas organizações tendam a favorecer o design dominante do que inovações (STEFANO; MONTES-SANCHO; BUSCH, 2016). Devido também aos receios de perdas de receitas pós-venda, pois os CEB por exemplo, são menos complexos que os CCI e requerem menos manutenção, há relutância em mudança (NYKVIST; NILSSON, 2015b).

Os altos investimentos já realizados, seja em infraestrutura, treinamento, maquinário, fábricas e conhecimento, junto com as incertezas das novas tecnologias, ajudam a manter a inércia organizacional (GEELS, 2018). E devido ao grande poder que as montadoras possuem no regime, sem grandes investimentos de sua parte para adoção de novas tecnologias, é provável que o regime se mantenha estável (MAZUR; OFFER *et al.*, 2018).

As rotinas de engenharia designadas pelo paradigma tecnológico existente no regime incumbente, ou seja, a forma pela qual os engenheiros, técnicos e demais funcionários da indústria são treinados para resolver problemas reforçam rotinas já bem estabelecidas como a melhoria da eficiência do motor à combustão que mantém a trajetória natural de desenvolvimento tecnológico, evitando a entrada de inovações radicais no regime. Apesar de haver mudanças ocorrendo na indústria automobilística, estas ainda caminham vagarosamente (FIGENBAUM, 2017). Para que a adoção de carros elétricos se torne mais atrativa, é necessário que as rotinas mudem e os atores

do setor adquiram novas habilidades para lidar com este tipo de veículo (NIEUWE-NHUIS, 2018). Não somente suas habilidades terão que mudar, mas a convivência e negociação com novos atores também. Nesse processo de mudança, boa parte do conhecimento gerado pelo regime de CCI se tornará obsoleto. Portanto, será necessário reeducar a mão-de-obra existente (AUGENSTEIN, 2015).

Para ocorrer uma mudança tecnológica para CEB e CEHP, por exemplo, seria necessária a criação de conexões simbióticas entre os regimes de mobilidade e eletricidade (GEELS, 2018). Agora novos atores terão que interagir num futuro de carros elétricos. Esses novos atores querem ter papel nas escolhas do sistema sócio-técnico, como produtores de energia e operadores do grid sobre quem deve vender e gerenciar os eletropostos (BAKKER, 2014). Conflitos de interesses desses atores, como ocorreu na China (XUE *et al.*, 2016) e Holanda (BAKKER; MAAT; WEE, 2014), atrasam o processo de criação e operacionalização dessas infraestruturas de recarga e, conseqüentemente, afetam a velocidade da adoção das tecnologias de CEB e CEHP.

A presença de nichos sócio-técnicos para acúmulo de experiência dos usuários, desenvolvimentos tecnológicos, retornos financeiros para as empresas, entre outros para que a tecnologia ganhe momento é essencial para que a tecnologia possa evoluir para o regime. Sua inexistência, portanto, é uma barreira a ser superada para que a transição ocorra. A China e Noruega, por exemplo, possuem nichos das tecnologias de carros elétricos há décadas (principalmente CEB) e em conjunto com outros fatores como políticas de incentivos e investimentos em PD, adquiriram experiência com as tecnologias e estão relativamente avançados no processo de transição se comparados com outros países (FIGENBAUM, 2017; BOHNSACK, 2018).

Inovações de nicho muito radicais que desviam em muitas dimensões do regime atual frequentemente encontram maiores dificuldades em serem aceitas pelos atores incumbentes (SOVACOOOL, 2017). Os carros elétricos podem ser considerados inovações radicais de nicho que substituem os componentes do carro, mas não alteram substancialmente o papel da mobilidade no sentido mais amplo do sistema e, por esta razão, é a escolha preferida da indústria automotiva e do governo para se adequar às pressões do ambiente (GEELS, 2018). Entretanto, mudanças ainda mais radicais serão necessárias para obter uma sociedade de baixo carbono, como a utilização de novos modelos de negócios como o de sistemas de compartilhamento de carros elétricos (TRUFFER; SCHIPPL; FLEISCHER, 2017; KÖHLER; TURNHEIM; HODSON, 2018).

Segundo McDowall (2014), a utilização dos SCCE poderia facilitar a introdução de CECC na sociedade. O mesmo serve para as outras tecnologias, visto que o custo inicial dos CEB, CEH e CEHP são maiores que dos CCI, mas como citado anteriormente, seu custo de utilização é menor. Então uma maior taxa de uso significa que o custo seria diluído pelos diversos usuários de um sistema de compartilhamento.

Köhler, Turnheim e Hodson (2018) ainda cita que os SCEE poderiam ser o primeiro passo para uma mudança cultural de redução do desejo de posse do carro, abrindo a possibilidade de outras formas de transporte público para obter a mudança radical necessária para a sociedade de baixo carbono.

6.4.7 Sistemas de compartilhamento de carros elétricos para mitigar barreiras

Após descritas e apresentadas as barreiras para uma transição sócio-técnica para carros elétricos, este subtópico pretende discutir e apresentar como os sistemas de compartilhamento de carros elétricos podem mitigar algumas delas. O quadro 3 apresenta as barreiras passíveis de mitigação pelo SCCE.

Comprar um carro requer um alto investimento inicial, enquanto a utilização de um carro pago por hora ou quilômetro possui maior viabilidade. Isto é importante, principalmente, quando se trata de um novo tipo de carro, como é o caso dos elétricos, visto que tanto as empresas quanto os usuários de carros não estão dispostos a incorrer em grandes riscos ao adotar uma tecnologia de sucesso incerto. Por esta razão, além de ser um novo modelo de negócios que ajuda a reduzir a cultura de posse dos carros, os SCCE podem servir como nicho para experimentação por parte dos usuários por possuir baixos custos de utilização se comparados com a compra de um veículo. Eles servem como um local de experimentos e testes, possibilitando a melhoria da tecnologia por meio da curva de aprendizado que busca melhorias gerais em relação a custo, desempenho, entre outros. A curva de aprendizado ocorre com aumento da escala produtiva, melhorias na utilização de componentes, aprimoramentos nos processos produtivos com aprendizado de como melhor fabricar a tecnologia, dentre outros (ARGOTE; EPPLE, 1990).

No início de uma mudança de regime tecnológico, o ambiente de seleção ainda define a qualidade de uma inovação com base no regime antigo, criando expectativas às vezes não satisfeitas pelo novo design ainda em processo de desenvolvimento. Desta forma, nos SCEE, os usuários conseguem testar se é possível a adequação a nova tecnologia, e decidem se adotam ou não, ajudando a quebrar as barreiras psicológicas no processo de transição sócio-técnica. Essa prática já produziu evidências empíricas da mudança de opinião dos usuários ao serem expostos a carros elétricos em frotas públicas ou de sistemas de compartilhamento (SHAHEEN; MARTIN; BAN-SAL, 2015; BURGHARD; DÜTSCHKE, 2019; SCHLÜTER; WEYER, 2019). À partir da experimentação, os usuários conseguem decidir se os carros elétricos servem ou não para satisfazer suas necessidades, eliminando assim estas barreiras.

O problema de “ovo e galinha” que reflete num atraso na oferta de infraestrutura de recarga para os CEB e CEHP e de reabastecimento para os CECC, dificultando o processo de adoção também pode ser em parte mitigado pela presença de SCCE. Em Sidney, Austrália, a primeira infraestrutura de recarga foi criada para utilização

Quadro 3 – Barreiras mitigadas por SCCE

Tipo	Barreira
Psicológica	Visto como de baixa performance
	Preconceito do usuário
	Desconhecimento da tecnologia
	Mudança comportamental
Financeira	Ansiedade com alcance
Financeira	Cultura de posse
Infraestrutura	Falta de infraestrutura de abastecimento
	Pouca cadeia de suprimentos
Institucional	Inexistência de incentivos
	Modelo de negócios da indústria
Sócio-técnica	Inércia organizacional das montadoras
	Dificuldade em integrar regimes
	Conflito de interesses dos atores
	Necessidade de reeducar mão-de-obra
	Rotinas da indústria
	Inexistência de nichos

Fonte: Elaborado pelos autores.

do sistema de compartilhamento (DOWLING; KENT, 2015). Assim as empresas que constroem e operam essas infraestruturas conseguem retorno financeiro, feedbacks para o desenvolvimento e melhor adequação do produto, podendo ofertar estas infraestruturas com maior certeza de retorno financeiro no curto prazo.

A própria existência desse novo modelo de negócios abre oportunidades para outros ganhos da indústria, além da venda do carro que continuaria com a cultura de posse. Ao mesmo tempo que com a produção de carros elétricos, mesmo que pequena para os sistemas de compartilhamento, começa a surgir uma nova cadeia de suprimentos e geração de conhecimento para reeducar engenheiros e técnicos. Apesar de não afetar diretamente as barreiras tecnológicas, esse nicho pode servir como experimentação não apenas para os usuários, mas também para as empresas que testam as tecnologias e conseguem feedback em tempo real para melhorias. Da mesma forma, o sucesso dos SCCE perante os usuários ajuda justificar os incentivos dados para acelerar o processo de transição.

Os sistemas de compartilhamento são uma solução para algumas aplicações, mas não pode substituir a cultura de posse para toda a população. Apesar de um carro poder ser utilizado por diversas pessoas por dia, durante algumas horas específicas (como ida e volta do trabalho), há uma quantidade grande de pessoas necessitando o uso do veículo ao mesmo tempo, o que causaria gargalos no serviço. Outro fator é a comodidade, visto que os carros compartilhados nem sempre possuem estações ou estão estacionados próximos ao usuário, este tendo que caminhar até o local. Já com a chegada de carros compartilhados autônomos, a comodidade será maior, o que pode aumentar a utilização deste tipo de modelo de negócios pelos usuários e reduzir a cultura de posse por uma parte da população (FAGNANT; KOCKELMAN, 2014).

6.5 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou elaborar um framework representado por um quadro com as barreiras tecnológicas, psicológicas ou cognitivas, financeiras, de infraestrutura, institucionais e regulatórias, e as sócio-técnicas para o processo de transição sócio-técnica para carros elétricos. E em seguida, identificar quais barreiras são passíveis de mitigação pela introdução de um SCCE. As barreiras foram identificadas de acordo com os quatro tipos de tecnologias de carros elétricos: CEH, CEHP, CEB e CECC, ressaltando que nem todas as barreiras se aplicam a todas as quatro tecnologias de carros elétricos aqui discutidas, conforme identificadas no quadro 2.

Por meio de uma revisão de literatura sobre carros elétricos na literatura de transições sócio-técnicas utilizando o método SYSMAP, foram encontradas um total de 29 barreiras, divididas também por seu nível de atuação, seja no nicho, regime ou ambiente sócio-técnico. Como também qual barreira serve para qual das quatro tecnologias de CE. Esta identificação é importante, pois serve de ponto de partida para formuladores de políticas no processo de decisão de criação de políticas direcionadas a mitigar estas barreiras e quais podem obter melhor alavancagem.

A lente teórica das transições sócio-técnicas e principalmente a MLP entende que os nichos são o caminho para que a transição ocorra. Por esta razão, apesar de a literatura revisada citar incessantemente a importância de nichos e, mais especificamente, de sistemas de carros elétricos compartilhados para acelerar o processo de transição, não é do nosso conhecimento a existência de algum trabalho que tenha tentado elaborar com maior profundidade esta explicação. Por esta razão, comparou-se as características ofertadas pelos SCCE com as barreiras encontradas e foram identificadas que há sim possibilidade de rompimento ou mitigação de algumas das barreiras para a transição.

Das 29 barreiras encontradas, 17 podem ser mitigadas pela introdução de sistemas de compartilhamento de carros elétricos. Com destaque para as barreiras de cunho psicológico, visto que os SCCE fornecem por meio de um modelo de negócios onde se paga pelo uso e não pela obtenção, a possibilidade de experimentação pelos usuários a um baixo custo se comparados com a aquisição de um carro elétrico. Isto permite que os usuários quebrem preconceitos e verifiquem se este tipo de veículo se adequa ao seu estilo de vida ou vice-versa.

O objetivo deste trabalho era contribuir para os cientistas, formuladores de políticas e demais interessados a compreender os obstáculos que podem encontrar no caminho para uma transição da tecnologia de carros com motor à combustão interna para tecnologias mais limpas, neste caso focando nas quatro principais tecnologias de carros elétricos. Outros trabalhos que falam sobre barreiras para carros elétricos focam uma ou outra tecnologia, além de focar em barreiras específicas, como tecnológica ou psicológicas, por exemplo. Buscou-se aqui compilar estas informações, buscando por

barreiras, obstáculos ou quaisquer fatores que reduzissem o momento ou chance de ocorrer uma transição em toda a literatura sócio-técnica sobre barreiras e não apenas artigos focados neste assunto, de forma que auxilie no processo de tomada de decisão. Uma categoria nova que este artigo traz é a de abordar as barreiras sócio-técnicas causadas pelas interações de nicho e regime que causam dependências de trajetória e *lock-in*, mantendo uma tecnologia dominante por décadas, o qual do melhor do nosso conhecimento não foram encontradas em nenhum outro trabalho.

Este trabalho se limitou a abordar apenas a possibilidade de carros elétricos para a transição, mas também existem outras tecnologias como a dos biocombustíveis ou até mesmo rumo ao uso mais intenso de transporte público ou sistemas de compartilhamento, até mesmo do tipo *free-floating* como o Uber.

A dominância da tecnologia de motores à combustão interna é indiscutível e os problemas causados no planeta, na saúde e futuramente na economia com a escassez dos combustíveis fósseis estão gerando pressões para que a sociedade mude. Entretanto, o processo de mudança tecnológica não é tão simples, envolvendo não apenas o caráter tecnológico, mas sim sócio-técnico. Para que uma mudança ocorra, há uma série de barreiras que devem ser superadas num sistema complexo como o de mobilidade. E para que isso ocorra, é importante um conjunto de fatores como incentivos, políticas públicas, investimentos em PD e a existência de nichos. Portanto, por ser um sistema complexo, não somente os SCCE vem como uma solução única, mas sim uma solução complementar às diversas outras atividades ou políticas que podem ajudar a acelerar este processo de transição.

Não se tentou explicar de forma exaustiva a possibilidade de SCCE para mitigação das barreiras, mas sim como uma possibilidade a ser mais discutida em trabalhos futuros. Também, não foram quantificados os impactos e a relevância de cada barreira para o processo de transição, abrindo oportunidades para trabalhos futuros de preencher esta lacuna. Principalmente estudos quantitativos que busquem compreender o impacto da eliminação ou mitigação dessas barreiras. Também é pertinente não somente identificar essas barreiras, mas qualificá-las no sentido de compreender quais barreiras servem como alavancagem, quais são mais importantes para se focar os esforços de modo a acelerar o processo de transição de forma mais eficiente.

Outros trabalhos futuros podem complementar o *framework* das barreiras, adicionando novas barreiras encontradas a partir da perspectiva de lentes teóricas diferentes ou até mesmo pelo uso de palavras-chave diferentes que possam ter limitado esta pesquisa. A lente teórica das transições sócio-técnicas é apenas uma, fazendo-se necessário ir além desta literatura de forma a melhor compreender o fenômeno dos carros elétricos, os fatores impeditivos do processo de transição e quais outras ações, projetos, atividades podem ajudar a mitigar estas barreiras, além dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos.

7 ARTIGO 3 - THE INFLUENCE OF E-CARSHARING SCHEMES ON ELECTRIC VEHICLE ADOPTION AND CARBON EMISSIONS: AN EMERGING ECONOMY STUDY

ABSTRACT

Moving toward sustainable mobility, the sharing economy business model emerges as a prominent practice that can contribute to the transition to sustainability. Using a system dynamics modeling approach, this paper investigates the impacts of an e-carsharing scheme in carbon emissions and in electric vehicle adoption. We study the VAMO scheme located in Fortaleza, Brazil, as the first e-carsharing scheme in the country. We study two policies combined: a VAMO planned growth policy and a retirement policy for conventional vehicles. Our results show that the VAMO incentive policy is an important factor to reduce emissions and to increase awareness of electric vehicles, highlighting the role of the government as an institutional entrepreneur, stimulating and sustaining the VAMO scheme. The retirement policy in combination with the VAMO incentive policy obtained the best results in our simulations, reducing 29% of CO₂ emissions and increasing 36% electric vehicle adoption, when compared to the business-as-usual scenario. The main conclusions are that such e-carsharing schemes offer direct and indirect benefits to urban mobility (specially to electric vehicle adoption) and that they depend on how the government supports them.

Key-words: shared mobility, e-carsharing, electric vehicles, simulation, CO₂ emissions, system dynamics

7.1 INTRODUCTION

The Sustainable Development Goals (*Sustainable Development Goals* (SDG)) (UN, 2019b) have emerged to guide major changes in society, including urban mobility in developed and emerging countries, which contributes mostly to SDG 11: sustainable cities and communities. As observed in other countries, urban mobility problems in Brazil provoke traffic congestion (FONTOURA; LORENA DINIZ CHAVES; RIBEIRO, 2019) and a large share of CO₂ emissions in the country (MCTIC, 2016; MMA, 2017). While in Brazil the effects of the economic crisis are still evident, new business models have emerged, one of which is the provision of sharing services with the potential to reduce: traffic congestions, CO₂ emissions and, lastly, land-use while providing new means of transportation (BOTSMAN; ROGERS, 2010). However, there is no consensus in the literature as to whether shared vehicle schemes actually reduce any of these problems (AKYELKEN; BANISTER; GIVONI, 2018; ALFIAN; RHEE; YOON, 2014; JUNG; KOO, 2018).

In terms of CO_2 emissions, one sustainable alternative is envisioned—the use of electric shared vehicles (also known as e-carsharing schemes). Despite the growing pool of exemplary cases of e-carsharing services worldwide (e.g., London and Sydney), only a few cases study the influence of public-private partnerships on the services' success. For instance, Akyelken, Banister e Givoni (2018) examine the key actors in London's carsharing market and the importance of governance in adequately managing public and private interests; Dowling e Kent (2015) examine the interrelationship between carsharing and transport policies in Sydney, Australia; and Terrien *et al.* (2016) study five cities in case studies of how public-private partnerships for carsharing services are organized.

In this paper, we argue that such public-private partnerships are embedded in a larger socio-technical system whereby several institutional logics co-exist (VASKE-LAINEN; MÜNZEL, 2018) and shape the e-carsharing schemes' business models (cf. Cohen e Shaheen (2018)). In these settings, it is important to understand why and how such institutional logics are introduced and what their impact is on the sociotechnical system as a whole. However, we are particularly interested in exploring the role of the institutional entrepreneur (*Institutional Entrepreneur* (IE)) (RAO; MONIN; DURAND, 2003) who act as promoters and introducers of new logics into the system—in this case, the sharing logic—even though the literature has paid little attention to them.

Following these arguments and seeking to uncover elements behind the introduction of the sharing economy, specifically e-carsharing, two research questions emerge: *What are the long-term effects of e-carsharing schemes in CO2 emissions reduction and in electric vehicle adoption? and what is the role of government on e-carsharing schemes?*

To answer this question, we illustrate our study with the VAMO scheme (Veículos Alternativos para Mobilidade, in English “alternative vehicles for mobility”) in the city of Fortaleza, Northeast region of Brazil, the first e-carsharing program in that country. The VAMO initiative began in 2016 with the City Council playing with a moderate governmental support (see Cohen e Shaheen (2018)) having the role of an IE. According to Rechene, Silva e Campos (2018), the IE works by incentivizing the introduction of sharing vehicles logic, which can include bike sharing and carsharing, for instance. This paper contributes by using a long-term perspective to understand the impacts of e-carsharing schemes in emerging economies, which is still scarce in the literature.

To provide insights on the impacts of e-carsharing schemes over the next decades, we used a system dynamics model to simulate fifteen scenarios to visualize the influence of VAMO on CO_2 emissions, on the electric vehicle market in Fortaleza and on the conventional vehicle fleet. System dynamics is a modeling simulation approach that has been used in the larger field of transport in general and in the sustainable mobility field in particular (cf. Liu *et al.* (2015) e Fontoura, Lorena Diniz Chaves e Ribeiro (2019),

amongst others). The structure of this paper is as follows. Section 2 is a literature review of the role of the government for carsharing schemes. Section 3 introduces the VAMO case and the system dynamics model. Section 4 presents the scenarios and policy analysis of the system dynamics model followed by the discussion section (Section 5). Finally, Section 6 presents the conclusion and implications of this research.

7.2 LITERATURE REVIEW

This section sheds light on what has been developed so far in the literature and demonstrates a new theoretical approach that can support the influence of public decision on the sustainable shared mobility with e-carsharing schemes.

7.2.1 The role of government in carsharing implementation: An overview

Carsharing systems are primarily in the hands of the private sector but are strongly dependent on local institutions and authorities like universities and public councils (ZHOU, 2014). According to Cohen e Shaheen (2018), there are three different policy frameworks of sharing mobility that can be used to consider the private and public sectors, namely: (1) as an environment benefit; (2) as a sustainable business and (3) as a business. For these authors, the government can present an influence in a continuum from a maximum support to a minimum support. Public-private partnerships (*Public-private partnerships* (PPP)) can include an array of policies and assistance to help deployment of carsharing, ranging from financial and marketing support to providing rights-of-way, such as land-use, and integrating shared mobility into planning processes for transportation and public transit (SHAHEEN; COHEN *et al.*, 2017).

A sustainable model for transport policy requires integration with land-use policies (SANTOS; BEHRENDT; MACONI *et al.*, 2010), such as a carsharing initiative need for parking spaces or stations for ecarsharing. The literature shows that public policies focusing on land-use appear to be the most important or at least the most talked about for successful carsharing schemes (cf. Akyelken, Banister e Givoni (2018), Dowling e Kent (2015), Kang, Hwang e Park (2016), Terrien *et al.* (2016) e Zhou (2014)). In order to facilitate carsharing, local authorities must grant exclusive use of a nominally public space to a private business. What justifies public involvement or public policies in the development of carsharing schemes (a private scheme in its majority) are the likely benefits to society (DOWLING; KENT, 2015).

Some public policies and incentives look up for behavior-changing mechanisms, such as distribution of brochures and maintenance of websites that provide information, and subsidies for employees to use carsharing, as in the case of Zipcar provided by the University of California, Los Angeles (ZHOU, 2014). In addition to the importance of behavior change policies, or so called “soft measures,” mobility systems need physical

measures (SANTOS; BEHRENDT; TEYTELBOYM, 2010) in the shape of concession of public landing space for parking or stations.

In South Korea, for example, the government not only provides parking spaces for carsharing startups but is also one of the most frequently used public intervention tools for PPP to boost carsharing program development (KANG; HWANG; PARK, 2016). Shared vehicles require fewer production resources (FIRNKORN; MÜLLER, 2011), reduce total distance traveled by car as individuals use public transport for the last kilometers traveled (GOEDKOOOP *et al.*, 1999), reduce car ownership, and increase people's awareness about environmental problems (SHAHEEN; COHEN, 2012), amongst other benefits.

One negative point concerning carsharing schemes is people shifting from public transportation to use an individual mode, increasing traffic congestion, emissions and vehicle-kilometers traveled (*Vehicle-kilometers traveled* (VKT)). From the best of our knowledge, there is no evidence of those negative effects found empirically in the literature. Researches are otherwise actually showing a reduction in traffic congestion, emissions and VKT (VINE; POLAK, 2019; SHAHEEN; COHEN, 2012).

Some users shift from public transit to carsharing and others shift from personal owned vehicle by selling, shedding or postponing a purchase (MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010). But in sum, users report a decrease in VKT due connectivity for first- and last-mile, increasing other modes use to complete their commuting, by walking, public transit or biking (COHEN; SHAHEEN, 2018; MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010; SHAHEEN; COHEN *et al.*, 2017). This also impact their emissions, as carsharing schemes usually have lower carbon emission vehicles. Also, by reducing the burdens of high initial costs of purchasing a car, carsharing schemes increases access and mobility for carless households (COHEN; SHAHEEN, 2018).

Carsharing schemes usually use more efficient, low emission and smaller cars, hybrids or electric ones and users have to continue using public transit or walking for their first- and last-mile in commuting (COHEN; SHAHEEN, 2018). While some people decrease other modes use when using a carsharing scheme, others increase their walking, biking or public transit ridership (COHEN; SHAHEEN, 2018; SHAHEEN; COHEN *et al.*, 2017). To avoid these possible negative effects, it is important to use low emission vehicles, such as an e-carsharing scheme and integrate its stations or parking spots with other transport modes reducing spatial distance and thereby eliminating barriers to access this mode (SHAHEEN; BELL *et al.*, 2017).

Public policies supporting carsharing, such as parking arrangements, are critical in expanding carsharing services (SHAHEEN; COHEN, 2012). Hence, another possible negative effect that governments try to avoid concerning carsharing schemes are conceding public space to private companies to exploit, i.e. carsharing schemes using public land as parking spots or charging stations. Nevertheless, the wide recognition

of key challenges and the consensus on potential benefits for local authorities and carsharing companies do not necessarily result in a public policy that directly benefits the carsharing sector (AKYELKEN; BANISTER; GIVONI, 2018). DriveNow in San Francisco, California, is an example in which the company failed to demonstrate to the city the benefits of carsharing, lost the city's support for parking, and later decided to withdraw from the city (TERRIEN *et al.*, 2016).

This example shows the importance of good communication between different actors and the necessity for coevolution in developing and growing carsharing. Carsharing schemes involve many actors who may not be used to collaboration yet must be able to adapt their organizations to meet challenges (TERRIEN *et al.*, 2016). These schemes depend on a series of complex negotiations between public and private sectors (DOWLING; KENT, 2015). For instance, the case of carsharing in London shows that the city has not formed a clear vision or strategy to benefit from the opportunities of carsharing from a regulators' point of view. This failure will likely result in this endeavor having either no impact or having environmental and social costs (AKYELKEN; BANISTER; GIVONI, 2018).

On the other hand, Autolib in Paris used the city's experience with bike sharing to establish a legal framework for the deployment of its e-carsharing scheme, demonstrating policies should not just aim to change the structure of incentives and constraints but also change learning and coordinating to bring together different parties (TERRIEN *et al.*, 2016). Autolib has since closed despite high public subventions, raising doubts about e-carsharing viability.

According to Nicolas Louvet, director of 6-t, a research office specialized in urban mobility, besides Autolib reaching more than 100,000 users and a fleet of 4,000 electric cars, cars were sometimes found dirty, damaged and increasingly used by homeless people to sleep in (LOCAL, 2018). Also, according to Louvet, another reason for their failure was their successful, because there were many users and when some arrived to take a car, they would find the stations empty (LOCAL, 2018). Viability should not be a problem, because the city of Paris will continue Autolib's legacy, learning from the past a new offer a range of e-carsharing schemes will get place (ELECTRIVE, 2018). Besides its growth in users over time, the frequency of use per subscriber decreased along the years as an increasing number of subscribers competed for a stable number of cars, becoming harder to find an available vehicle (LAGADIC; VERLOES; LOUVET, 2019). A lesson to be learned from Autolib's case, according to Lagadic, Verloes e Louvet (2019), is that carsharing schemes are successful due to density of offer and easily access to an available vehicle and when users lose trust in the quality of the service provided, this trust is not easily restored.

Granted support from the government does not guarantee a successful carsharing scheme, but it helps due to the importance, primarily of land-use, as discussed

above. Following the framework by (COHEN; SHAHEEN, 2018), notwithstanding the existence of empirical evidence carsharing returns benefits to society, we found only a few cities showing high support to carsharing, such as Sydney where policymakers view carsharing as contributing to the public good on social and environmental benefits, allocating resources and effort (DOWLING; KENT, 2015).

Most cities showed moderate support, viewing carsharing as comprising services that are related to sustainable business, but are done by revenue-generating enterprises searching for profit, such as London, Paris, Seattle, Seoul, Munich, and Portland (AKYELKEN; BANISTER; GIVONI, 2018; KANG; HWANG; PARK, 2016; VINE; POLAK, 2019; TERRIEN *et al.*, 2016). And one example where the government showed low support was San Francisco, viewing carsharing as only a business in search for profit and nonetheless the scheme left the city (TERRIEN *et al.*, 2016).

7.2.2 Theorizing on carsharing implementation: Insights from institutional logic

Beyond the consensus that a collaborative approach is more effective than just the government introducing carsharing initiatives, there is a theoretical gap in understanding the literature. Dowling e Kent (2015) developed their research using the theory of practice to understand changes that are emerging from the public-private partnership. However, Terrien *et al.* (2016) claims that the public policy literature leaves relatively unanswered how concretely local governments adapt themselves and build long-term relationships with private players. The institutional logic (*Institutional Logics* (IL)) approach can provide insights into this predicament.

IL is a theory that contributes to understanding how organizational changes and patterns happen in society. Patricia H. Thornton e William Ocasio (1999) define IL as “the socially constructed, historical pattern of material practices, assumptions, values, beliefs, and rules.” Utilizing IL, individuals can (1) produce and reproduce their material subsistence, (2) organize time and space, and (3) provide meaning to their social reality. This theoretical approach provides reflections on elements that justify why heterogeneous organizations are following the same logic (THORNTON; OCASIO; LOUNSBURY, 2012) and emerge as a collective identity in the same organizational field.

To understand IL, P.H. Thornton e W. Ocasio (2008) suggest that three mechanisms of change are necessary: event sequencing, institutional entrepreneurship, and structure overlap. A prominent IL in society is sustainability logic, which combines the three mechanisms with the practice of sustainability allowing for the emergence of the institutional logic of sustainability (*Institutional Logics of Sustainability* (ILS)) (RECHENE; SILVA; CAMPOS, 2018; SILVA; FIGUEIREDO, 2017). Therefore, an event sequence analysis creates a time framework that facilitates the comprehension of how structures are developed and who the IEs are, according to stabilized practices or new

organizational changes.

Since sustainability can emerge as an IL and the sharing economy is a pathway toward sustainability (HEINRICHS, 2013), we shed light in how the sharing economy can be used and spread. Carsharing today is one of the most sustainable transport innovations (DOWLING; KENT, 2015). Martin (2016) claims there is “considerable interest in the sharing economy as a means of promoting sustainable consumption practices.” The study of carsharing from a sharing economy perspective is an interesting alternative. Moreover, ILS provides the theoretical background to understand the emergence of new practices.

ILS empowers actors to develop business models that are aligned with their principles (VASKELAINEN; MÜNZEL, 2018). In a German carsharing case, for example, the use of IL was relevant to understand beliefs, values and rules behind the public practices, which better presents the sharing economy logic (VASKELAINEN; MÜNZEL, 2018). Following that perspective, Rechene, Silva e Campos (2018) studied the emergence of ILS based on shared bikes. According to their results, by stimulating the sharing economy perspective, the government plays the role of IE once the city council is defined as both regulator and promoter of sustainability logic.

Following the perspective that the government is the IE for carsharing initiatives, local governments can implement practice-based mechanisms to shape sustainable innovations (TERRIEN *et al.*, 2016). Therefore, the IE is defined as individuals, groups, or other organizational actors that facilitate institutional change (DIMAGGIO, 1988) and is also responsible for creating new ways to develop organizational practices. The IE also emerges as one of the main mechanisms of change using the IL approach (THORNTON; JONES; KURY, 2005). In this way, the government can stimulate and use of carsharing schemes. It is important to note that the IE cannot be assumed as a hero or savior, mostly because it is only an agent of change with a specific role in the IL definition (CRUZ, 2016).

This perspective challenges the governance of urban mobility practices to create elements that support sustainability logic. “The changes in the institutions and perceptions of the key actors seems to define positioning of car sharing in relation to urban transport systems and vis a vis private car ownership and use” (AKYELKEN; BANISTER; GIVONI, 2018). Using a similar perspective, Terrien *et al.* (2016) indicate that new organizations, processes, and tools regarding driving practice are necessary for a successful change to urban mobility. Beyond these requirements, it is necessary to create a new logic (i.e., using carsharing in our case) shared among the actors in the organizational field (i.e., beliefs, values, and understanding need to be created to achieve the same goal). Changing urban mobility for a sharing logic, the carsharing implementation might be better accepted and integrated in society.

7.3 THE SYSTEM DYNAMICS MODEL FOR THE VAMO INITIATIVE

In this section we first introduce the VAMO initiative, the first e-carsharing scheme in Brazil and later, we describe the system dynamics model.

7.3.1 The VAMO Initiative

Fortaleza is a city with a population of about 2.6 millions inhabitants in the Northeast region of Brazil and still growing, needing improvements in the mobility system and other areas (IBGE, 2018). In the mid 2010s, the City Council developed a citywide project, called “Fortaleza 2040” with the overall aim to make Fortaleza a sustainable city.

Within the scope of “Fortaleza 2040” several mobility improvements were and are still being implemented in the city, including bike sharing (RECHENE; SILVA; CAMPOS, 2018) and better public transport infrastructure. Among these, an e-carsharing scheme was envisioned, which later came to be known as VAMO. Developed under a public-private partnership, VAMO began operations in 2016 as a station-based business model, which accounts nowadays with 20 vehicles, which are available at 12 stations throughout the city. Defined as an initiative that “promotes a sustainable urban mobility through electric carsharing” (VAMO, 2019), VAMO combines public transportation with other transportation modes aiming at upgrading the whole mobility system at the city.

According to the City Council, there have been more than 3,700 carsharing trips so far (FORTALEZA, 2018). Even though VAMO is still considered a project in-development accounting for less than 0.0001% of the city’s total trips, it was the first among e-carsharing schemes in Brazil and is considered a sustainable business, since it was developed under a moderate governmental support (see Cohen e Shaheen (2018)).

7.3.2 System dynamics model

The model was built based on information provided by the Fortaleza City Council and the local Mobility Department. Additional information was collected from the VAMO website. Primary data were collected from March 2018 to May 2018 regarding the evolution of the project toward an understanding of its potential environmental impact on Fortaleza’s mobility.

The system dynamics model aims to assess the effects of e-carsharing policies in Fortaleza. The system dynamics model is used to test policy interventions in a quantitative and interactive way making it well suited to explore the effects of policies over the long term. Our model is composed of five modules or sub-models: (1) the conventional light vehicle module, (2) the electric vehicle module, (3) the e-carsharing

VAMO module, (4) the population module, (5), and the CO_2 emissions module (see figure 22).

7.3.2.1 Conventional light vehicle – CV module

The conventional light vehicle module computes the conventional vehicle (CV) fleet and is modeled as an array (see Sterman (2000)) composed by four cohorts divided by vehicle age: five years of age or less, from six to 10 years of age, from 11 to 15 years of age, and 15 years of age or more. The CV Fleet for new cars (0-5 years) is adding up the value of the previous period plus the difference between the CV adoption rate or sales (CVar) and the CV discard rate (CVdr) as in equation 1. For all other cohorts (11 to 15 years and so on) the fleet is calculated by adding up the stock of the previous period to the difference between the transfer rate from the previous cohort (r_{k-1}) and the transfer rate to the next cohort (r_k) and the CVdrk as in equation 2. Finally, the total CV Fleet (CVT) is the sum of all CV cohorts at any given time as shown in equation 3.

$$CV_1 = CV(t - dt) + \int_{t=0}^T [CVar(t) - CVdr_1(t) dt] \quad (1)$$

$$CV_k = CV_k(t - dt) + \int_{t=0}^T [r_k(t) - CVdr_k(t) dt] \quad (2)$$

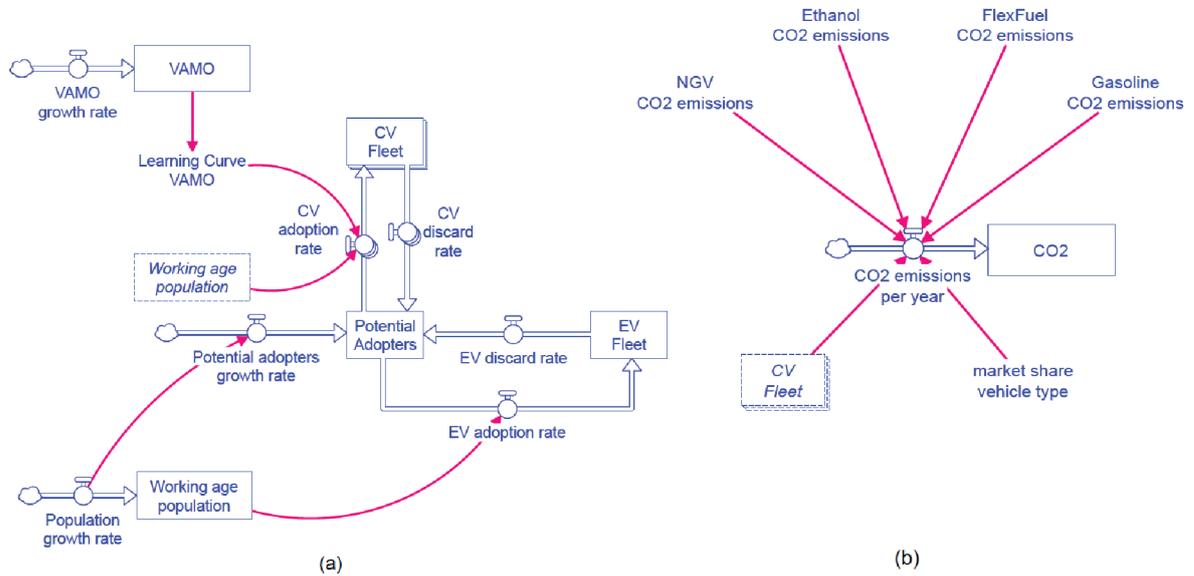
$$CV^T = \sum_k CV_k \quad (3)$$

In our model, all discards (e.g. CVdrk) feed back to the Potential Adopters (PA) stock, following Little's Law. On the other hand, it is the relationship between the Potential Adopters and CV that determines the rate of adoption for CVs and is modelled following the Bass Diffusion (BASS, 1969) equation which is used to model the diffusion of technologies over time (SCHMIDT-COSTA; URIONA-MALDONADO; POSSAMAI, 2019):

$$CVar(t) = X[p^{cv} CV^T q^{cv} PA(\frac{CV^T}{WAP})] \quad (4)$$

In equation 4, p^{cv} and q^{cv} are parameters that are calibrated based on historical data. The Working Age Population (*Working Age Population* (WAP)) is used as a proxy for potential market since we assume this group is more likely to own a car. Finally, we use a mapping function X, as explained in Bass, Krishnan e Jain (1994), to model the (negative) effect of the e-carsharing learning curve on the CVar.

Figura 22 – Simplified system dynamics model structure.



Fonte: Elaborated by the authors

7.3.2.2 Electric vehicle - EV module

The electric vehicle module computes the electric vehicle (*Electric vehicle* (EV)) fleet. The EV adoption rate (EVar) is calculated using a Bass Diffusion equation with parameters p^{EV} and q^{EV} (equation 5) and the EV discard rate (EVdr) following Little's Law:

$$EV ar(t) = p^{EV} EV + q^{EV} PA \left(\frac{EV}{WAP} \right) \quad (5)$$

The EV fleet is calculated as the difference between the EV adoption rate (EVar) and the EV discard rate (EVdr):

$$EV = EV(t - dt) + \int_{t=0}^T [EV ar(t) - EV dr_1(t)] dt \quad (6)$$

7.3.2.3 E-carsharing - VAMO module

The VAMO module computes the e-carsharing fleet based on the decisions of the City Council and its strategic planning. This module connects with the EV module affecting the CV adoption rate (CVar) by means of a learning curve (X), a learning process by which consumers experiment with the EV technology without the pressure

to buy an EV upfront. The stock of VAMO fleet grows at a rate (g^{VAMO}) which is defined by the City Council:

$$VAMO = VAMO(t - dt) + \int_{t=0}^T [g^{VAMO} VAMO(t - 1) dt] \quad (7)$$

As with regards to the mapping function (X) previously described in Eq. 4, it is an experience curve based on Sterman (2000) which is calculated based on an initial learning value (L) and a so-called learning coefficient (c), which takes on negative values:

$$X(t) = \left(\frac{VAMO}{L}\right)^c \quad (8)$$

7.3.2.4 Working Age population module

In our model, the population module serves to calculate the rate of adoption for both (new) electric and (new) conventional vehicles. Even though there are no specific data on what are the age groups that most likely purchase new vehicles in Brazil, we turn to data elsewhere, which indicates that new vehicle sales consider age groups of 15 years old or more (USFR, 2016). In Brazil this age group is considered the Working Age Population (WAP) (IBGE, 2018).

We use the WAP to estimate the potential market for conventional vehicles (equation 4) and electric vehicles (equation 5). We assume the WAP grows at an intrinsic growth rate (g^{WAP}), which is calibrated based on data from (IBGE, 2018) and uses the structure proposed by Ercan, Onat e Tatari (2016):

$$WAP = WAP(t - dt) + \int_{t=0}^T [g^{WAP} WAP(t - 1) dt] \quad (9)$$

7.3.2.5 CO₂ emissions module

Lastly, the CO₂ emissions module computes the CO₂ emissions for four vehicle types: ethanol, gasoline, NGV, and flex-fuel (ethanol-gas) vehicles. It is worth noting that the EV fleet and the VAMO fleet do not emit CO₂ in our model. It is also based on Ercan, Onat e Tatari (2016).

For the sake of simplicity, we assume each drivetrain contributes to yearly CO₂ emissions based on its market share, modelled as (ms_i) where 'i' stands for each drivetrain, fuel consumption (fc_i) and its intrinsic emissions ratio, modelled as (er_i):

$$CO_2(t) = CV^T \left(\sum_i ms_i fc_i er_i \right) \quad (10)$$

7.3.3 Policies to be tested

Later, the system dynamics model is used to run two simulation analyses: a sensitivity analysis and a policy analysis. Sensitivity analysis serves to test the model's behavior due to changes in uncertain parameters (FORD, 2009). In our case, the most uncertain parameters are p_{EV} (the coefficient of innovation for EV) and q_{EV} (the coefficient of imitation for EV). In this sense, a multivariate sensitivity analysis is made by changing the values for both p_{EV} and q_{EV} . Policy analysis serves to assess the impact of several policies on the system, by varying the values assigned to policy variables (FORD, 2009). We test the multivariate effects of two combined policies: the VAMO incentive policy and a CV retirement policy.

The VAMO represents the introduction and sustaining of e-carsharing in Fortaleza supported by the City Council. Different intensities of annual growth rate are tested to verify the impact of the VAMO incentive policy on four key indicators: CV fleet, EV fleet, VAMO fleet, and CO_2 emissions. The CV retirement policy aims at reducing the fleet of CVs 15 years of age or older to offer an indirect incentive toward EV adoption, VAMO adoption, and reduction of CO_2 emissions. Policies such as these have been used elsewhere, such as in California (BAR, 2018). Thus, different retirement rates are tested in the "15 years or more" CV cohort and track the impact of the same indicators, namely CV fleet, EV fleet, VAMO fleet, and CO_2 emissions. Lastly, we define the simulation horizon up to the year 2040, due to the fact the VAMO initiative along with other similar programs from the Fortaleza City Council have as target, the same year.

7.4 RESULTS

This section presents the results from the system dynamics model. We divide them by showing first the results from calibration and sensitivity testing and later the results from the policy analysis.

7.4.1 Model calibration, testing, and sensitivity analysis

As with regards to model calibration, the model has been calibrated using several sources of numerical data, detailed information on model parameters can be found in Table 2.

There is a number of established tests to help verify the usefulness of the model to its purpose, which include structural and behavioral tests (BARLAS, 1996). Our model has undergone several validity tests, including dimensional consistency, extreme conditions, behavior reproduction and behavior sensitivity (FORD, 2009; STERMAN, 2000).

The behavior of the model has been verified against time-series data for two key variables: working age population and conventional vehicle fleet. We used R^2 , Adjusted

Tabela 2 – Exogenous model parameters

Stock parameters - initial values			
Parameter	Value in year 2002 unless otherwise noted	Units	Source
Potential adopters	1.21	10 ⁶ people	Author estimate
EV fleet	0	Vehicles	Anfavea (2018) e Denatran-CE (2018)
CV fleet	273	10 ³ Vehicles	Denatran-CE (2018)
VAMO fleet	0	Vehicles	VAMO (2019)
Working age population	1.21	10 ⁶ people	IBGE (2018)
Auxiliary parameters			
Parameter	Value in year 2002 unless otherwise noted	Units	Source
Population fractional growth rate - g^{WAP}	1.260	%/year	IBGE (2018)
Mean kilometers traveled per vehicle	32	km/day	Alelo (2017)
Gasoline use per kilometer	0.091	L/km	MMA (2013)
Ethanol use per kilometer	0.143	L/km	MMA (2013)
Natural gas use per kilometer	0.083	m ³ /km	MMA (2013)
Gasoline use per kilometer for flex vehicles	0.084	L/km	MMA (2013)
Ethanol use per kilometer for flex vehicles	0.118	L/km	MMA (2013)
CO ₂ emissions for gasoline	2.212	kg/L	MMA (2013)
CO ₂ emissions for ethanol	1.457	kg/L	MMA (2013)
CO ₂ emissions for natural gas	1.999	kg/m ³	MMA (2013)
Net growth rate VAMO fleet - g^{VAMO}	10	10%/year	Author estimate
Imitation coefficient CV - q^{CV}	0.150	Dimensionless	Model calibration
Innovation coefficient EV - p^{EV}	0.001	Dimensionless	Model calibration
Imitation coefficient EV - q^{EV}	0.136	Dimensionless	Model calibration
Average number of persons per vehicle	1	people/vehicle	Author estimate
Learning curve effect - c	0.140	Dimensionless	Model calibration

Fonte: Elaborated by authors

R^2 , Root Means Square Error (*Root Means Square Error* (RMSE)) and Mean Absolute Deviation (*Mean Absolute Deviation* (MAD)) to verify model fitness. Table 3 provides the results of the reproduction behavior test by means of the coefficient of determination R^2 ,

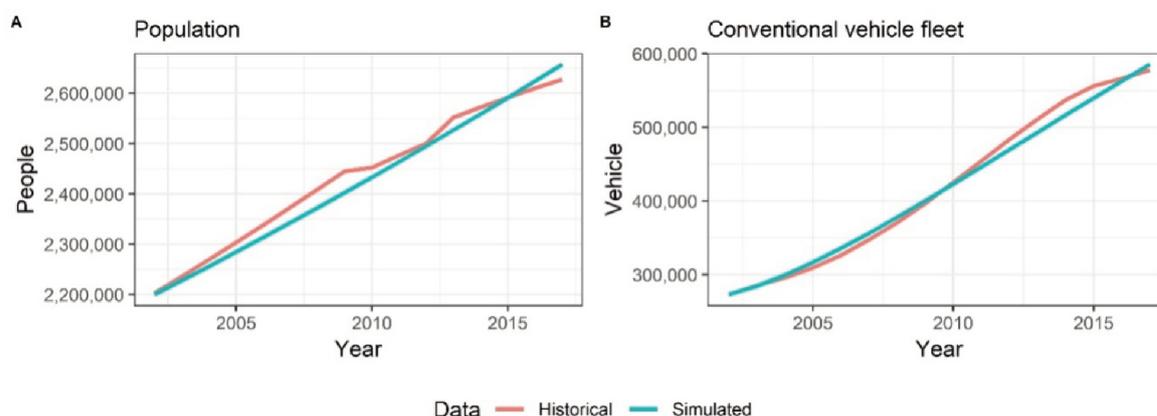
adjusted R^2 , RMSE and MAD and Figure 23 shows the model behavior reproduction for the two key variables: working age population and conventional vehicle fleet.

Tabela 3 – Exogenous model parameters

	R^2	Adjusted R^2	RMSE	MAD
Population	0.986	0.985	21896.4	18514.9
Conventional vehicle (CV) fleet	0.994	0.993	10074.2	8120.4

Fonte: Elaborated by authors

Figura 23 – Historical and simulated data - behavior reproduction test.



Fonte: Historical data for Population from IBGE (2018) and for CV fleet from Denatran-CE (2018).

Based on these, we conclude that the model fits adequately to the historical data. We then ran sensitivity analysis based on the experimental design of Table 4.

Eight simulations were run and compared against the business-as-usual (*Business as Usual* (BAU)) scenario with simultaneous percentage increases in the values of p^{EV} and q^{EV} . In other words, each scenario represents the combination of two specific values for p^{EV} and q^{EV} and visualizes the effect of such combination on three key variables of interest: CV fleet, EV fleet and CO_2 emissions.

Sensitivity analysis allowed us to track for the influence intensity of the two most uncertain parameters in our model (p^{EV} and q^{EV}) since the EV markets both in Fortaleza and in Brazil as a whole are in their infancy. Even though additional time series data might be needed in order to reduce uncertainty, it is precisely in situations like this one that simulation in general and system dynamics in particular are most useful (BENVENUTTI; RIBEIRO; URIONA–MALDONADO, 2017). In this sense, we are

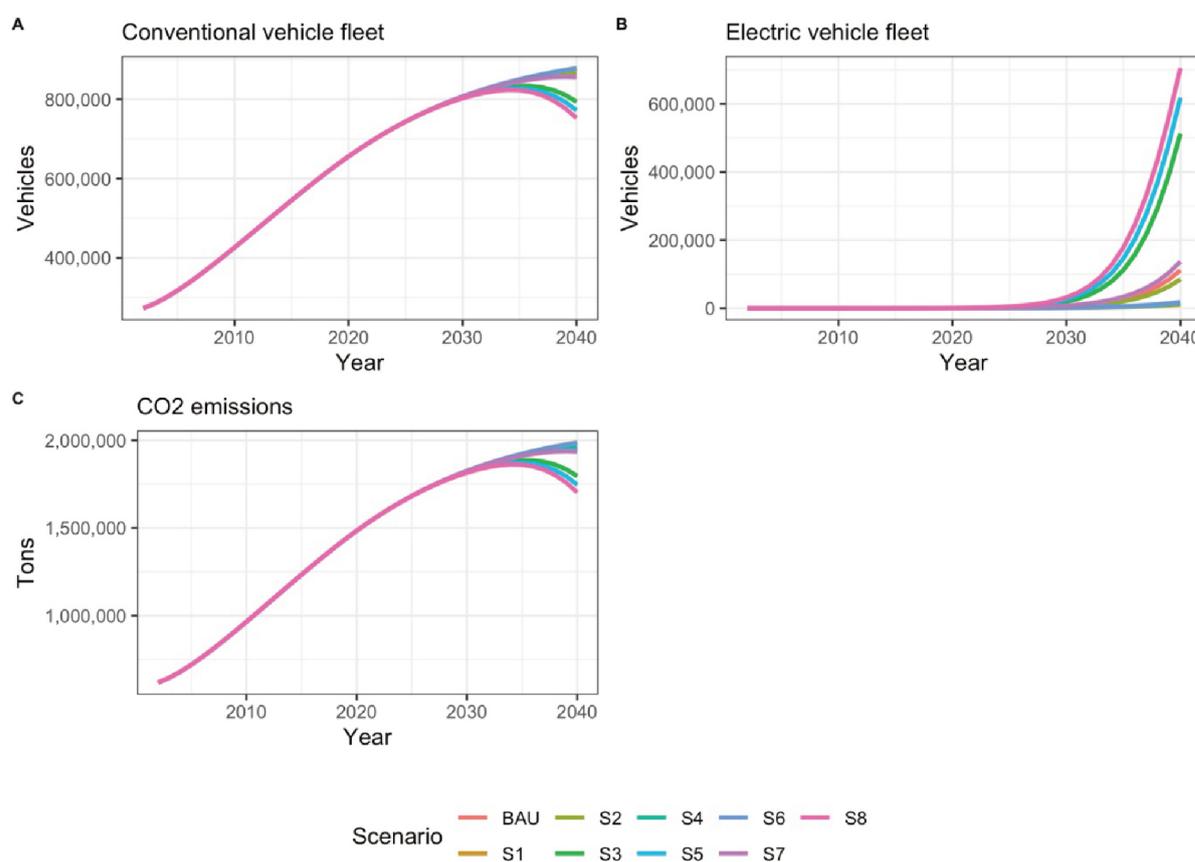
Tabela 4 – Experimental design – sensitivity analysis

		Increasing innovation coefficient p^{EV} by:		
		-25%	0	+25%
Increasing imitation coefficient q^{EV} by:	-25%	S1	S4	S6
	0%	S2	BAU	S7
	+25%	S3	S5	S8

Fonte: Elaborated by authors

able to test the model’s sensitivity to a wide range of values for both parameters. The results are shown in Figure 24.

Figura 24 – Sensitivity to Bass parameters for EV adoption.



Fonte: Elaborated by authors.

Figure 24 shows a narrow range for sensitivity, offering a good confidence level for the forthcoming policy tests. In other words, all of the proposed sensitivity testing scenarios proved to be more optimistic than BAU. It is worth noting that some scenarios might be too optimistic (such as the higher range 700,000 EVs in 2040 for S8) and may need other types of verification (such as expert-based interviews), which is out of the

scope of this paper. The most optimistic scenarios present a difference of approximately 200,000 tons of CO_2 emissions less when compared to BAU in 2040.

Also, in Figure 24, the CV fleet reaches the inflection after 2030, depending on the scenario, after which some scenarios decrease steadily until 2040, pushing CO_2 emissions down and EV diffusion up. This result is important as will be described in the policy analysis section because the inflection point behavior is persistent and very likely to happen within this time range. Finally, our sensitivity analysis confirms that our chosen values for “p” and “q” parameters are trustworthy, since no grand differences in the simulations were found. Table 5 shows the results for each scenario as well as some dispersion measures for the year 2040.

Tabela 5 – Sensitivity analysis results for each scenario by 2040

Scenario	CV fleet	EV fleet	CO_2
BAU	860,353	111,547	1,946,335
S1	878,614	10,901	1,987,645
S2	865,386	85,102	1,957,720
S3	793,717	512,465	1,795,587
S4	877,763	14,504	1,985,719
S5	771,931	617,927	1,746,301
S6	876,914	18,092	1,983,799
S7	855,430	137,111	1,935,197
S8	752,581	705,083	1,702,527
Min.	752,581	10,901	1,702,527
Max.	878,614	705,083	1,987,645
Average	836,965	245,859	1,893,426
Std. dev.	49,889	282,116	112,861

Fonte: Elaborated by authors

7.4.2 Policy analysis

We now test the effects of two policies: the VAMO incentive policy and the vehicle retirement policy¹. The experimental design is shown in Table 6.

Accordingly, simulation results are shown in Figure 25 for the CV fleet, EV fleet, VAMO fleet, and CO_2 emissions. Based on these results, it is possible to observe a narrower horizon regarding CV and EV fleets by 2040, reaching between 612,000 and 860,000 CVs and between 111,000 and 175,000 EVs. In all of the policy scenarios, the EV fleet could not reach the CV fleet, although in the most aggressive scenarios (P12, P13, P14, and P15), the CV fleet reached values similar to historical ones in the late 2010s, early 2020s.

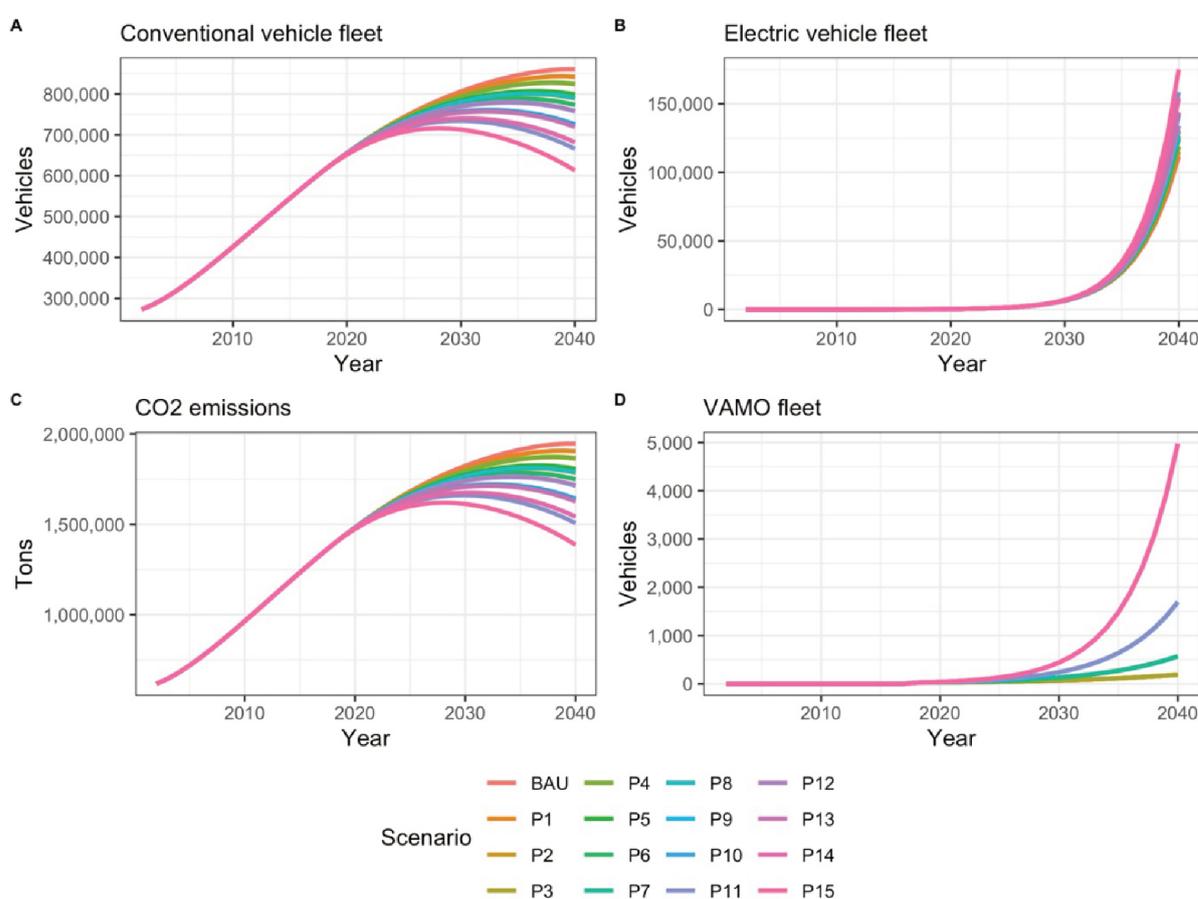
¹ All key model parameters, such as p^{EV} and q^{EV} , were set up to the original values.

Tabela 6 – Experimental design – POLICY analysis

		Increasing VAMO growth rate by			
		0%	50%	100%	150%
Increasing old vehicle retirement rate by:	0%	BAU	P4	P8	P12
	25%	P1	P5	P9	P13
	50%	P2	P6	P10	P14
	100%	P3	P7	P11	P15

Fonte: Elaborated by authors

Figura 25 – Results of the multivariate policy analysis.



Fonte: Elaborated by authors.

The results of Figure 25 also show evidence that the most aggressive scenarios have a huge impact on the growth of the VAMO fleet, reaching up to 5,000 VAMO vehicles by 2040 as the population is pressured to switch faster from CV to greener modes of transportation. Finally, CO_2 emissions show significant decreases when compared to BAU for all scenarios, reaching up to 1,386,000 CO_2 tons in scenario P15 (a 29% decrease from BAU) and an average decay to 1.6 million CO_2 tons by 2040 (a 17%

decrease on average from BAU). This is an important step toward moving the city of Fortaleza away from internal combustion engine vehicles, reducing greenhouse gases, and achieving the city’s objectives stated in the Fortaleza 2040 Plan. Table 7 shows the results for each policy scenario as well as some dispersion measures for the year 2040.

Tabela 7 – Policy analysis results for each scenario by 2040.

Scenario	CV fleet	EV fleet	VAMO fleet	CO ₂
BAU	860,353	111,547	189	1,946,335
P1	842,061	115,233	189	1,904,953
P2	824,095	118,982	189	1,864,309
P3	789,162	126,656	189	1,785,283
P4	824,751	118,840	570	1,865,794
P5	798,567	124,535	570	1,806,558
P6	773,133	130,357	570	1,749,021
P7	724,551	142,352	570	1,639,116
P8	790,829	126,274	1,695	1,789,052
P9	757,588	134,063	1,695	1,713,854
P10	725,689	142,055	1,695	1,641,690
P11	665,920	158,578	1,695	1,506,477
P12	758,560	133,827	4,977	1,716,054
P13	719,077	143,778	4,977	1,626,733
P14	681,670	154,010	4,977	1,542,108
P15	612,980	175,182	4,977	1,386,715
Min.	612,980	111,547	189	1,386,715
Max.	860,353	175,182	4,977	1,946,335
Average	715,207	145,569	3,029	1,617,978
Std. dev.	54,326	14,941	1,882	122,900

Fonte: Elaborated by authors

We now turn to the ILS approach to look for insights into the results above. In the case of carsharing and e-carsharing, governments should take the role of IE, since they can accept the responsibility of a regulator and promoter of sustainability logic. Even though IEs cannot be assumed to be heroes (i.e., having the capability to change the status quo by themselves due to limitations), they can be agents of change with specific roles. Successful urban mobility changes require new organizations, processes, and tools and the emergence of a new logic that governments can create to stimulate these initiatives.

Moreover, all of the simulated scenarios showed a reduction in internal combustion engine vehicles or “conventional vehicles” due to the direct impact of the VAMO fleet growth. This is due to people substituting their means of mobility from owning a car (a product logic) to using a car as a service (a service logic). Moreover, carsharing vehicles can be used more than once in a day by different people thereby reducing sales of CVs in more than a ratio of 1:1 and generating externalities in the value chain.

Specifically, we highlight the negative impact on CV sales, which in turn will have an impact on suppliers. In addition, maintenance services, the spare parts industry, and other actors in the automotive value chain might be affected by the entry of e-carsharing services like VAMO. From a resource consumption perspective, the fact that sharing vehicles offers a higher utilization rate, a large share of CVs privately owned might be substituted by fewer e-shared ones. This is especially important in Brazil where road transportation accounts for 91% of total CO_2 emissions in the Brazilian Transportation Sector.

Another effect is that e-carsharing schemes create awareness of EVs boosting their diffusion process in society. As EVs are physically different in terms of engine and other parts, a changing process in the value chain is expected. Our results show that a positive externality of using e-carsharing, in the context of the VAMO initiative, was the increase in EVs privately owned. This leads to amplified effects on the conventional automotive industry since these vehicles might be replaced by e-carsharing services and by substitution mechanisms exhibited by consumers who choose to substitute their CVs with EVs.

As shown in Figure 25, reductions of CO_2 will happen during this transition depending on government goals and actions regarding development of e-carsharing systems. A faster or slower decline in CO_2 emissions will depend on how ILS occurs. The greater the growth of carsharing schemes, the faster CO_2 will decline and EVs will be adopted. Some scenarios, however, might need more investment of capital and energy than governments and other actors are willing to invest.

7.5 DISCUSSION

A simulation-based approach to understanding the influence of e-carsharing on sustainable mobility might offer a new perspective regarding transition to sustainability. By considering a local or national government's role in introducing a new carsharing project that impacts both consumption and production sides, this paper ratifies the understanding that sharing economy initiatives have direct influence on environmental impacts but also demonstrates that this impact could affect local practices through market requirements. Our study responds to calls for research to focus this transition on more than just a historical perspective (WAES *et al.*, 2018). We also address the effect of a sharing economy logic on the traditional logic of market as EVs used in an e-carsharing scheme can serve as experimentation so users can learn the technology and develop informed opinions about future purchases or change from car ownership to e-carsharing schemes (SCHLÜTER; WEYER, 2019).

This paper studied a growing carsharing initiative in Fortaleza, Brazil. We found that in order to develop the initiative, the local government needed to partner with a private organization, complementing studies in other cities, such as London and Syd-

ney (DOWLING; KENT, 2015; TERRIEN *et al.*, 2016). Results presented in our paper can help other cities and governments that develop new carsharing initiatives to understand their impact on the environment and society. Our research uncovered several insights, including that the emergence of the government as an IE is crucial in spreading sustainability logic and that various sectors must be involved in the sustainable city perspective. Similar findings were described by Rechene, Silva e Campos (2018) regarding bike sharing initiatives.

Concerning reduction of cars, the model showed results of increasing EV fleet and reducing CV fleet with increasing VAMO fleet as technology experimentation plays a role on the learning curve and users can change their opinions about which technology to purchase in the future. These findings are agreeing with the scientific literature, saying that use of carsharing can eliminate around 4.6 to 20 traditional cars on the roads per carsharing vehicle, depending on the country, region, and culture (MARTIN; SHAHEEN; LIDICKER, 2010). This overall reduction in cars impacts land-use, reducing the need for parking spaces in urban areas, hence opening spaces for other activities such as walking, biking, commerce and leisure.

This externality effect decreases CO_2 and other pollutants (not measured in this work) generated by combustion engine vehicles, combining with reductions by solely switching the modal from the use of individual vehicles to carsharing vehicles and walking. Moreover, since EVs differ from traditional cars, there will be a reduction in the need for car parts. The impact from reduction of CO_2 will ratify the contribution of a sharing economy (NIJLAND; MEERKERK, 2017). Impacts like those justify the role of government as an IE in a sustainability logic.

Land-use policies within a city is a government concern as it impacts citizens' livability. When dealing with carsharing schemes, government can act as a regulator/legislator both with actions to improve its usability by citizens other than for parking by reducing the number of cars in the city and also arranging specific parking spots or places to install e-carsharing stations, incentivizing this mobility alternative which will reduce the number of cars, reinforcing a feedback loop. As discussed on the literature review of this paper, the role of government institutions can trespass the typical role of regulator/legislator and adhering to the role of institutional entrepreneur.

A sharing economy can emerge as an important driver to push EV technology into the market. In addition, changes are also observed in infrastructure. The emergence of new electric stations and sharing initiatives throughout the city could stimulate the shift toward EVs further. For instance, Schlüter e Weyer (2019) and Shaheen, Martin e Bansal (2015) claim that drivers are still hesitant to use EVs, a view that can be changed by e-carsharing.

The increase in e-carsharing schemes can offer a direct impact on how to produce and consume vehicles in the market, which influences urban mobility. Business-

ses and policies need to be aware of these changes so their decision-makers (in our case IEs) can provide sustainable mobility using different policy frameworks (COHEN; SHAHEEN, 2018). It is clear that IEs are not heroes that can save the world by themselves, but they can create changes in society's logic towards sustainability logic by promoting new practices.

7.6 CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

This research used a simulation-based approach to understand the impacts of ecarsharing on CO_2 emission reductions, using as case the VAMO initiative in the city of Fortaleza in Brazil and the role of the government as institutional entrepreneurs (IE) in the ecarsharing scheme. We found that e-carsharing schemes can play an important role in reducing CO_2 emissions and improving urban mobility over the next decades. Results also clearly demonstrate that more public investment and dissemination are necessary to increase the impact e-carsharing schemes, as for instance by increasing the fleet of electric shared vehicles.

This paper identifies various implications. On the theoretical side, we found that although the studies presented in our literature review introduce successful implementations of carsharing programs elsewhere, there is scarce debate behind the implementation process and the role of government and public-private partnerships. We contribute by using the institutional logic theory and highlighting its contribution to understanding the introduction of e-carsharing initiatives for sustainable mobility.

In terms of policy implications, our findings demonstrate the trend toward changes in the e-carsharing market so policy makers can develop new strategies and business models (e.g. public-private partnerships) to help assuring the profitability of e-carsharing schemes. In Brazil, public-private partnerships are being promoted for various public services, infrastructure and so on. It is likely that e-carsharing schemes in Brazilian cities can also benefit from this new policy framework.

Even though e-carsharing contributes to CO_2 emissions, our simulations showed that the CV fleet will remain for decades if no changes are made with this regard. Public policy thus, should look out for complementary policies to accelerate the exit rate for these fossil fuel vehicles. Our retirement policy for older vehicles alone proved insufficient to reduce the CV fleet faster, calling out for policies such as banning, higher taxation and others.

On the other hand, the scenarios described showed exponential growth behavior in terms of EV sales. Exponential growth is characteristic of mass products and usually triggers market growth faster than what companies expect to happen. Understanding these effects is important for policymakers, and our model offers a decision-making tool that may support testing different policies and visualizing their effects.

Finally, our paper opens up research opportunities for studying how such imple-

mentations of e-carsharing occurred, what barriers were faced, and what lessons were learned. However, this broad analysis is beyond the scope of this paper and is left for future studies. Further research is necessary to demonstrate over time the use of a longitudinal methodology on how changes happen and to explore the effectiveness of our modeling. Other theories can be used to discuss the role of government in sustainable mobility, such as contingency theory, stakeholder theory, and other avenues of institutional theory.

8 CONCLUSÃO

Este trabalho teve início com a discussão de três grandes problemas que ocorrem hoje no mundo. São eles o aquecimento global e poluição do ar causados pela emissão de gases de efeito estufa e partículas finas geradas pela queima de combustíveis fósseis, principalmente para a geração de energia elétrica ou para o transporte. O terceiro problema é a seguridade energética dos países que hoje, em sua maior parte, dependem desses combustíveis fósseis que são não renováveis e um dia se esgotarão.

Com o intuito de garantir uma melhor qualidade de vida para o futuro, reduzindo as milhões de mortes que ocorrem por poluição, os danos em macroescala do aquecimento global e desenvolvimento econômico com responsabilidade sustentável, os carros elétricos surgem como uma opção por utilizar energia elétrica (parcial ou totalmente) para seu funcionamento e a possibilidade de combinação com fontes de energia elétrica renováveis intermitentes, como a solar e eólica através de tecnologias que interagem com o grid elétrico, no caso dos CEHP e CEB.

Entretanto, uma transição para carros elétricos não é fácil, pois inclui uma diversidade de atores e fatores que influenciam esse processo, e que pode levar décadas para que de fato ocorra. Para acelerar o processo de transição é importante identificar os mecanismos bloqueadores e impulsionadores, a fim de alavancar aqueles úteis e mitigar aqueles que impeçam sua ocorrência.

Por esta razão, fora realizada uma revisão de literatura utilizando a lente teórica das transições sócio-técnicas, focando em dois dos seus *frameworks* mais amplos, a TIS e a MLP. A busca de dados utilizou palavras-chave para os quatro tipos de carros elétricos hoje existentes: carros híbridos, híbridos *plug-in*, de célula de combustível à hidrogênio e de bateria; e seus resultados expostos nos artigos 1 e 2 dessa dissertação.

No primeiro artigo, analisou-se de forma cronológica as expectativas dos autores em relação ao sucesso dos diferentes tipos de carros elétricos no médio e longo prazos e comparou as informações encontradas nas publicações com dados atualizados de bancos de dados sobre vendas globais de CE, *reports* recentes acerca de desenvolvimento tecnológico e os caminhos planejados pelas montadoras. Identificou-se que os híbridos obtiveram uma maior vantagem no início, por possuir maior similaridade com a tecnologia dominante do regime incumbente: os carros com motor de combustão interna. Todavia, com a redução dos preços de baterias e aumento da sua densidade energética devido a sua utilização em *smartphones*, *tablets* e também a pesquisas e desenvolvimento para aplicações em carros elétricos, esta realidade está mudando.

Os carros elétricos híbridos *plug-in* estão tomando o lugar dos CEH como ponte para uma transição futura para CEB ou CECC, se analisarmos o mundo como um

todo. No entanto, isto não exclui a possibilidade dos CEH continuarem dominantes no longo-prazo e até mesmo a tecnologia definida do regime em contextos geográficos específicos, como o Japão que está avançado nesta tecnologia e possui interesses para suas montadoras. Como também no Brasil que enxerga a possibilidade de aplicação dos motores *flex fuel* para carros híbridos.

Já no longo prazo, devido aos acúmulos de conhecimento gerados com o alto volume produtivo e de adoção de CEB em alguns países, como Noruega, China e EUA, as montadoras estão voltando seus investimentos que antes estavam divididos em pesquisas e desenvolvimento para diversas opções tecnológicas diferentes para esta tecnologia. Nos primeiros artigos publicados, havia incerteza se CEB ou CECC algum dia poderiam dominar o regime, mas com os avanços nas tecnologias de baterias e a aversão ao risco das empresas do regime, identificou-se que os CEB devem vir a ser a tecnologia dominante no contexto mundial. Novamente, ressalta-se que hoje o mercado mundial é diferente de quando os CE e CCI competiram no século passado, o qual o segundo obteve pequenas vantagens que se acumularam e inviabilizaram o desenvolvimento e competitividade dos carros elétricos. Hoje existe a possibilidade de utilização de diferentes tecnologias em contextos geográficos diferentes, como citado anteriormente. Um exemplo é o uso do etanol no Brasil. Por esta razão, acredita-se que o CEB virá a dominar futuramente, mas o CECC ainda pode possuir utilizar em países que enxergam esta tecnologia como estratégica, como a Coreia do Sul ou Japão, por exemplo.

Outro fator importante a se notar é que os países onde estão ocorrendo a maior adoção em *market share* dos carros elétricos híbrido *plug-in* e de bateria, são nos países considerados mais ricos como Noruega, Dinamarca, Holanda, dentre outros, indo de acordo com a teoria da difusão de inovação. Ainda, os adotantes nesses países são os "inovadores" dessa teoria: pessoas com maiores níveis de renda e educacionais. Portanto, não há garantia de que todos os países adotem essas tecnologias que hoje são mais caras se comparadas com a opção de carros elétricos híbridos, por exemplo.

Ainda no artigo 1, foram identificados os atores que podem ajudar ou atrapalhar o processo de transição. Diversos atores possuem interesses em manter o *status quo* do regime, pois é onde estão seus investimentos e *know-how*. Devido ao poder dominante das montadoras de direcionar o regime para seu benefício, acreditava-se na literatura que não haveria uma transição, nem sequer avanços significativos nas tecnologias de carros elétricos. O surgimento de empresas como Tesla Motors e BYD mostraram o contrário.

Essas duas empresas, que produzem carros elétricos de bateria hoje comparados com a performance e alcance dos CCI, tiveram grande impacto para que a transição consiga ganhar momento. Isso se reflete também nas últimas respostas das grandes montadoras que estão se voltando para o desenvolvimento de CEB com maior

agressividade e mais investimentos.

E por último, foram identificados no artigo 1 dois principais mecanismos para acelerar o processo de transição para carros elétricos: políticas de incentivos financeiros (subsídios para compra, produção, pesquisa e desenvolvimento e infraestrutura de recarga) e a criação de nichos para experimentação e aprendizado, como os carros elétricos compartilhados.

A análise de conteúdo serviu também para identificar os principais mecanismos bloqueadores desse processo de transição. Ou seja, as barreiras tecnológicas, psicológicas, financeiras, de infraestrutura, institucionais e sócio-técnicas.

Na literatura visitada, a maioria dos artigos citavam os sistemas de compartilhamento de carros elétricos como potenciais aceleradores do processo de transição, mas não explicavam como isto poderia ocorrer. Portanto, ainda no segundo artigo, foram comparadas as características e soluções ofertadas pelos SCCE e como elas poderiam ajudar a quebrar ou mitigar barreiras através da experimentação e aprendizado com carros elétricos por parte dos usuários.

Identificou-se que o SCCE têm impacto principalmente no processo de aprendizado, reduzindo barreiras psicológicas como a ansiedade de alcance (citada como uma das barreiras de maior impacto) e o preconceito do usuário com esta tecnologia. Existe também a possibilidade de algumas outras externalidades positivas, como a instalação das primeiras infraestruturas de recarga, como ocorreu em Sidney, o que aumenta a disponibilidade dessas infraestruturas também para outros usuários de CEHP e CEB, não somente os que utilizam os carros compartilhados, aumentando a confiabilidade na utilização desses tipos de carros elétricos.

Os sistemas de compartilhamento de carros elétricos possuem diversos benefícios para a sociedade, como a redução de VQV, carros, congestionamento, um acréscimo na disponibilidade de opções de transporte, além da externalidade de afetar a adoção de carros elétricos. Entretanto, grande parte dos estudos de SCCE são estáticos, mostrando apenas fotografias do estado atual dos seus impactos, o que pode levar a diferentes interpretações por operadores e criadores de políticas. Além de os impactos dos SCCE serem, geralmente, percebidos apenas num grande espaço de tempo.

Em conjunto com essa problemática e o fato de que estudos de transições possuem, normalmente, análises históricas do que houve no passado, percebeu-se a necessidade de se realizar estudos prospectivos e dinâmicos sobre o impacto dos sistemas de compartilhamento de carros elétricos na transição para os carros elétricos.

Por esta razão, utilizou-se a metodologia de Dinâmica de Sistemas para criar um modelo matemático simulando o impacto do SCCE VAMO na cidade de Fortaleza, tanto na redução de CCI e nas emissões de CO_2 , como no aumento da frota de CE. O modelo utilizou estruturas de curvas de aprendizado, difusão de Bass e cadeias de

envelhecimento.

Diversos cenários foram gerados para identificar um escopo de possíveis resultados, visto que os dados sobre o VAMO e carros elétricos no Brasil ainda são recentes e o espectro de modelagem é até o ano de 2040, abrindo possibilidades no caminho de novas políticas, dentre outros fatores que possam vir afetar o processo de difusão.

Os resultados do modelo representado nos cenários apresentados no artigo 3 mostraram que há impactos significativos no longo prazo devido a introdução de sistemas de compartilhamento de carros elétricos para a experimentação e aprendizado por parte dos usuários. Devido às características exponenciais do processo de difusão que ocorre, principalmente, pelo efeito do boca a boca, o qual usuários satisfeitos com a tecnologia de carros elétricos divulgam para seus pares que aumentam também sua intenção de compras, de acordo com a teoria da difusão de inovações. Portanto, quanto antes os usuários utilizarem a tecnologia, mais significativos os efeitos exponenciais ao longo do tempo.

Quanto maior a quantidade de carros no SCCE, também maior serão esses efeitos no longo prazo. Isso ocorre porquê uma maior disponibilidade de carros se adequa a usabilidade de um maior número de usuários e que geram os mesmos efeitos de divulgação para seus pares. Entretanto, no mundo real a quantidade de recursos e problemas a serem resolvidos pelos governos são diversos. Então os criadores de políticas devem encontrar o melhor número de carros compartilhados no sistema de acordo com os recursos restritos e objetivos almejados.

Pode-se observar também que as emissões de CO_2 possuem significativos impactos de reduções com o efeito da adoção de carros elétricos com estagnação e queda nos valores entre os anos de 2025 e 2040 para os cenários mais otimistas e pessimistas, respectivamente.

Os estudos do IPCC da Organização das Nações Unidas (ONU) afirma que serão necessários esforços grandiosos para que a transição para um mundo mais sustentável e menos poluidor, buscando reduzir os impactos do aquecimento global, possa vir a ocorrer. A literatura de transições sócio-técnicas sustentáveis possui viés Europeu, pois é lá onde estão os países com políticas mais severas e sérias voltadas para a sustentabilidade. Entretanto, esta transição é global e requer esforços de todos os países. Este estudo buscou identificar como o Brasil pode acelerar seu processo de transição com a introdução de sistemas de compartilhamento para aprendizado e experimentação.

Ressalta-se que são ações em conjunto, com diversas políticas e iniciativas necessárias para que a transição ocorra e seja possível atingir os objetivos almejados pelo IPCC. O SCCE é apenas uma delas, abrindo oportunidade para estudar a influência de diversas outras aplicações no processo de transição.

Para concluir esta dissertação, ficam algumas recomendações para trabalhos

futuros à partir de lacunas encontradas na revisão de literatura e que estão fora do escopo desse trabalho. Foi identificada uma lacuna em pesquisas para o setor de mobilidade que utilize as lentes de transições sócio-técnicas para os países "em desenvolvimento". Todavia, como esses possuem e possuirão ainda maior impacto nas emissões de gases de efeito estufa e poluentes no seu processo de desenvolvimento, é importante a realização desses estudos para compreensão do estado atual e formulação de políticas redirecionadoras.

Este trabalho identificou diversas barreiras para o processo de transição. Entretanto, as barreiras foram retiradas da literatura global (de viés principalmente Europeu) e, portanto, estudos que identifiquem barreiras locais a níveis tanto nacional como regionais podem auxiliar a evitar esses mecanismos bloqueadores. Assim como apenas algumas barreiras são mitigadas pela implementação de SCCE, mostrando-se a necessidade de se explorar outras medidas e políticas para mitigar as diversas outras barreiras existentes.

E por último, o modelo se limitou a utilização de estruturas de aprendizado, cadeias de envelhecimento e difusão de Bass para estudar o impacto do SCCE na difusão de CE e seus respectivos impactos nas reduções de CO_2 . Outros estudos de modelagem, talvez mais abrangentes com testes de outras políticas como incentivos para compra, de infraestrutura, dentre outros em conjunto com o arquétipo aqui desenvolvido ou com outros métodos de modelagem podem ajudar no acúmulo do conhecimento desse sistema complexo para a tomada de decisão e definição de políticas públicas.

REFERÊNCIAS

- AHMADI, Leila *et al.* Environmental feasibility of re-use of electric vehicle batteries. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, Elsevier BV, v. 6, p. 64–74, 2014. DOI: 10.1016/j.seta.2014.01.006.
- AKYELKEN, Nihan; BANISTER, David; GIVONI, Moshe. The Sustainability of Shared Mobility in London: The Dilemma for Governance. **Sustainability**, MDPI AG, v. 10, n. 2, p. 420, 2018. DOI: 10.3390/su10020420.
- ALELO. **Pesquisa de mobilidade Alelo**. [S.l.], 2017.
- ALFIAN, Ganjar; RHEE, Jongtae; YOON, Byungun. A simulation tool for prioritizing product-service system (PSS) models in a carsharing service. **Computers & Industrial Engineering**, Elsevier BV, v. 70, p. 59–73, 2014. DOI: 10.1016/j.cie.2014.01.007.
- ANDERSON, Philip; TUSHMAN, Michael L. Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change. **Administrative Science Quarterly**, JSTOR, v. 35, n. 4, p. 604, 1990. DOI: 10.2307/2393511.
- ANFAVEA. **Brazilian automotive industry yearbook - 2018**. [S.l.], 2018.
- ANNARELLI, Alessandro; BATTISTELLA, Cinzia; NONINO, Fabio. Product service system: A conceptual framework from a systematic review. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 139, p. 1011–1032, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.061.
- ARGOTE, L.; EPPLE, D. Learning Curves in Manufacturing. **Science**, American Association for the Advancement of Science (AAAS), v. 247, n. 4945, p. 920–924, 1990. DOI: 10.1126/science.247.4945.920.
- ARTHUR, W. Brian. Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. **The Economic Journal**, Oxford University Press (OUP), v. 99, n. 394, p. 116, 1989. DOI: 10.2307/2234208.
- AUGENSTEIN, Karoline. Analysing the potential for sustainable e-mobility – The case of Germany. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 14, p. 101–115, 2015. DOI: 10.1016/j.eist.2014.05.002.
- AUTODATA. **Terreno fértil - Setor automotivo intensifica programas e práticas em busca de sustentabilidade**. [S.l.], 2011.
- AVADIKYAN, Arman; LLERENA, Patrick. A real options reasoning approach to hybrid vehicle investments. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 77, n. 4, p. 649–661, 2010. DOI: 10.1016/j.techfore.2009.12.002.

- AZARIADIS, Costas; DRAZEN, Allan. Threshold Externalities in Economic Development. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 105, n. 2, 1990.
- BAINES, T S *et al.* State-of-the-art in product-service systems. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, SAGE Publications, v. 221, n. 10, p. 1543–1552, 2007. DOI: 10.1243/09544054jem858.
- BAKKER, Sjoerd. Actor rationales in sustainability transitions – Interests and expectations regarding electric vehicle recharging. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 13, p. 60–74, 2014. DOI: 10.1016/j.eist.2014.08.002.
- BAKKER, Sjoerd; LEGUIJT, Pieter; LENTE, Harro van. Niche accumulation and standardization – the case of electric vehicle recharging plugs. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 94, p. 155–164, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.01.069.
- BAKKER, Sjoerd; MAAT, Kees; WEE, Bert van. Stakeholders interests, expectations, and strategies regarding the development and implementation of electric vehicles: The case of the Netherlands. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier BV, v. 66, p. 52–64, 2014. DOI: 10.1016/j.tra.2014.04.018.
- BANISTER, David. The sustainable mobility paradigm. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 15, n. 2, p. 73–80, 2008. DOI: 10.1016/j.tranpol.2007.10.005.
- BAR. **Consumer Assistance Program - Vehicle Retirement**. [S./], 2018.
- BARAN, Renato; LEGEY, Luiz Fernando Loureiro. The introduction of electric vehicles in Brazil: Impacts on oil and electricity consumption. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 80, n. 5, p. 907–917, 2013. DOI: 10.1016/j.techfore.2012.10.024.
- BARASSA, Edgar. **Trajetória tecnológica do veículo elétrico: atores, políticas e esforços tecnológicos no Brasil**. 2015. Diss. (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas: Instituto de Geociências.
- BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 4. ed. [S./]: São Paulo: Saraiva, 2016.
- BARLAS, Yaman. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. **System Dynamics Review**, Wiley, v. 12, n. 3, p. 183–210, 1996. DOI: 10.1002/(sici)1099-1727(199623)12:3<183::aid-sdr103>3.0.co;2-4.
- BASS, F.M. A new product growth model for consumer durables. **Management Science**, v. 15, n. 5, p. 215–227, 1969.

- BASS, Frank M.; KRISHNAN, Trichy V.; JAIN, Dipak C. Why the Bass Model Fits without Decision Variables. **Marketing Science**, Institute for Operations Research e the Management Sciences (INFORMS), v. 13, n. 3, p. 203–223, 1994. DOI: 10.1287/mksc.13.3.203.
- BECKER, Henrik; CIARI, Francesco; AXHAUSEN, Kay W. Comparing car-sharing schemes in Switzerland: User groups and usage patterns. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier BV, v. 97, p. 17–29, 2017. DOI: 10.1016/j.tra.2017.01.004.
- BENVENUTTI, Livia Moraes Marques; RIBEIRO, Arthur Boeing; URIONA–MALDONADO, Mauricio. Long term diffusion dynamics of alternative fuel vehicles in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 164, p. 1571–1585, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.07.051.
- BERGEK, Anna *et al.* Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 37, n. 3, p. 407–429, 2008. DOI: 10.1016/j.respol.2007.12.003.
- BERGH, Jeroen C.J.M. van den; TRUFFER, Bernhard; KALLIS, Giorgos. Environmental innovation and societal transitions: Introduction and overview. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 1, n. 1, p. 1–23, jun. 2011. DOI: 10.1016/j.eist.2011.04.010.
- BERKELEY, Nigel *et al.* Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of, and barriers to, take up. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier BV, v. 106, p. 320–332, 2017. DOI: 10.1016/j.tra.2017.10.004.
- BNEF. **Electric Vehicle Outlook 2018**. [S./], 2018.
- BOHNSACK, René. Local niches and firm responses in sustainability transitions: The case of low-emission vehicles in China. **Technovation**, Elsevier BV, v. 70-71, p. 20–32, 2018. DOI: 10.1016/j.technovation.2018.02.002.
- BOHNSACK, René; KOLK, Ans; PINKSE, Jonatan. Catching recurring waves: Low-emission vehicles, international policy developments and firm innovation strategies. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 98, p. 71–87, 2015. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.06.020.
- BOON, Wouter P.C.; BAKKER, Sjoerd. Learning to shield – Policy learning in socio-technical transitions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 18, p. 181–200, 2016. DOI: 10.1016/j.eist.2015.06.003.
- BORGERSON, Scott G. Arctic meltdown-The economic and security implications of global warming. **Foreign Aff.**, HeinOnline, v. 87, p. 63, 2008.

BOTSMAN, R.; ROGERS, R. **What's Mine Is Yours: The Rise of Collaborative Consumption**. [S.l.]: HarperCollins, 2010. ISBN 9780062014054. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=LiC2foFeXQYC>.

BOYACI, Burak; ZOGRAFOS, Konstantinos G.; GEROLIMINIS, Nikolas. An integrated optimization-simulation framework for vehicle and personnel relocations of electric carsharing systems with reservations. **Transportation Research Part B: Methodological**, Elsevier BV, v. 95, p. 214–237, 2017. DOI: 10.1016/j.trb.2016.10.007.

BRASIL. **Sustainable Development Goals**. 2019. Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/en/politica-externa/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/6298-sustainable-development-goals-sdgs>.

BREE, B. van; VERBONG, G.P.J.; KRAMER, G.J. A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 77, n. 4, p. 529–540, 2010. DOI: 10.1016/j.techfore.2009.12.005.

BURGHARD, Uta; DÜTSCHKE, Elisabeth. Who wants shared mobility? Lessons from early adopters and mainstream drivers on electric carsharing in Germany. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Elsevier BV, v. 71, p. 96–109, 2019. DOI: 10.1016/j.trd.2018.11.011.

CABRAL, Luis M.B. On the adoption of innovations with 'network' externalities. **Mathematical Social Sciences**, Elsevier BV, v. 19, n. 3, p. 299–308, 1990. DOI: 10.1016/0165-4896(90)90069-j.

CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. **Journal of Evolutionary Economics**, Springer Science e Business Media LLC, v. 1, n. 2, p. 93–118, 1991. DOI: 10.1007/bf01224915.

CASALS, Lluç Canals; GARCIA, Beatriz Amante; CREMADES, Lazaro V. Electric vehicle battery reuse: Preparing for a second life. **Journal of Industrial Engineering and Management**, Omnia Publisher SL, v. 10, n. 2, p. 266, 2017. DOI: 10.3926/jiem.2009.

CATON, Jerald A. Maximum efficiencies for internal combustion engines: Thermodynamic limitations. **International Journal of Engine Research**, SAGE Publications, v. 19, n. 10, p. 1005–1023, 2017. DOI: 10.1177/1468087417737700.

CERVERO, Robert. City CarShare: First-Year Travel Demand Impacts. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, SAGE Publications, v. 1839, n. 1, p. 159–166, 2003. DOI: 10.3141/1839-18.

- CERVERO, Robert; TSAI, Yuhsin. City CarShare in San Francisco, California: Second-Year Travel Demand and Car Ownership Impacts. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, SAGE Publications, v. 1887, n. 1, p. 117–127, 2004. DOI: 10.3141/1887-14.
- COHEN, Adam; SHAHEEN, Susan A. Planning for Shared Mobility. American Planning Association, 2018. DOI: 10.7922/G2NV9GDD.
- CONSONI, Flavia Luciane *et al.* **Estudo de governança e políticas públicas para veículos elétricos**. [S.l.], 2018.
- CRUZ, Guillermo. A criticism of the use of ideal types in studies on institutional logics. **Organizações & Sociedade**, FapUNIFESP (SciELO), v. 23, n. 79, p. 646–655, 2016. DOI: 10.1590/1984-9230711.
- DENATRAN-CE. **Frota de veículos**. [S.l.], 2018.
- DEROUSSEAU, Mikaela *et al.* Repurposing Used Electric Car Batteries: A Review of Options. **JOM**, Springer Science e Business Media LLC, v. 69, n. 9, p. 1575–1582, 2017. DOI: 10.1007/s11837-017-2368-9.
- DIJK, Marc. Electric revenge after 100 years? Comparing car market patterns around 1900 and 2000. **International Journal of Automotive Technology and Management**, Inderscience Publishers, v. 16, n. 2, p. 147, 2016. DOI: 10.1504/ijatm.2016.079227.
- DIJK, Marc; ORSATO, Renato J.; KEMP, René. The emergence of an electric mobility trajectory. **Energy Policy**, Elsevier BV, v. 52, p. 135–145, 2013. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.04.024.
- DIMAGGIO, P. J. Patterns and Organizations: Culture and Environment. *In*: edição: L. G. Zucker. [S.l.]: Ballinger, Cambridge, 1988. Interest and agency in institutional theory.
- DOSI, Giovanni. Technological paradigms and technological trajectories. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 11, n. 3, p. 147–162, 1982. DOI: 10.1016/0048-7333(82)90016-6.
- DOWLING, Robyn; KENT, Jennifer. Practice and public–private partnerships in sustainable transport governance: The case of car sharing in Sydney, Australia. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 40, p. 58–64, 2015. DOI: 10.1016/j.tranpol.2015.02.007.
- EGBUE, Ona; LONG, Suzanna. Barriers to widespread adoption of electric vehicles: An analysis of consumer attitudes and perceptions. **Energy Policy**, Elsevier BV, v. 48, p. 717–729, 2012. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.06.009.

EGILMEZ, Gokhan; TATARI, Omer. A dynamic modeling approach to highway sustainability: Strategies to reduce overall impact. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier BV, v. 46, n. 7, p. 1086–1096, 2012. DOI: 10.1016/j.tra.2012.04.011.

ELECTRIVE. **Renault and ADA start e-car sharing Moov'in in Paris**. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.electrive.com/2018/07/23/renault-and-ada-start-e-car-sharing-moovin-in-paris/>.

ERCAN, Tolga; ONAT, Nuri Cihat; TATARI, Omer. Investigating carbon footprint reduction potential of public transportation in United States: A system dynamics approach. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 133, p. 1260–1276, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.051.

FAGNANT, Daniel J.; KOCKELMAN, Kara M. The travel and environmental implications of shared autonomous vehicles, using agent-based model scenarios. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, Elsevier BV, v. 40, p. 1–13, 2014. DOI: 10.1016/j.trc.2013.12.001.

FIGENBAUM, Erik. Perspectives on Norway's supercharged electric vehicle policy. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 25, p. 14–34, 2017. DOI: 10.1016/j.eist.2016.11.002.

FIRNKORN, Jörg; MÜLLER, Martin. Selling Mobility instead of Cars: New Business Strategies of Automakers and the Impact on Private Vehicle Holding. **Business Strategy and the Environment**, Wiley, v. 21, n. 4, p. 264–280, 2011. DOI: 10.1002/bse.738.

FIRNKORN, Jörg; SHAHEEN, Susan. 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**, Elsevier BV, v. 113, p. 897–909, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.115.

FONTOURA, Wlisses Bonelá; LORENA DINIZ CHAVES, Gisele de; RIBEIRO, Glaydston Mattos. The Brazilian urban mobility policy: The impact in São Paulo transport system using system dynamics. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 73, p. 51–61, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2018.09.014.

FORD, A. **Modelling the Environment**. 2. ed. [S.l.]: Washington: Island Press, 2009.

FORTALEZA. **Prefeitura de Fortaleza comemora dois anos de atividades de carros elétricos compartilhados**. 2019. Disponível em: <https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/tag/VAMO%20Fortaleza>.

FORTALEZA. **Prefeitura de Fortaleza comemora dois anos de atividades dos carros elétricos compartilhados**. [S.l.], 2018. Disponível em:

<https://www.fortaleza.ce.gov.br/noticias/prefeitura-de-fortaleza-comemora-dois-anos-de-atividades-dos-carros-compartilhados>.

FORTALEZA 2040. **Website do Projeto Fortaleza 2040**. 2019. Disponível em: <http://fortaleza2040.fortaleza.ce.gov.br/site/fortaleza-2040/sobre-o-projeto>.

FREEMAN, C. The 'National System of Innovation' in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, Oxford University Press (OUP), 1995. DOI: 10.1093/oxfordjournals.cje.a035309.

GEELS, Frank W. A socio-technical analysis of low-carbon transitions: introducing the multi-level perspective into transport studies. **Journal of Transport Geography**, Elsevier BV, v. 24, p. 471–482, 2012. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2012.01.021.

GEELS, Frank W. From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 33, n. 6-7, p. 897–920, 2004. DOI: 10.1016/j.respol.2004.01.015.

GEELS, Frank W. Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990–2016). **Energy Research & Social Science**, Elsevier BV, v. 46, p. 86–102, 2018. DOI: 10.1016/j.erss.2018.07.008.

GEELS, Frank W. Processes and patterns in transitions and system innovations: Refining the co-evolutionary multi-level perspective. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 72, n. 6, p. 681–696, 2005. DOI: 10.1016/j.techfore.2004.08.014.

GEELS, Frank W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 31, n. 8-9, p. 1257–1274, 2002. DOI: 10.1016/s0048-7333(02)00062-8.

GEELS, Frank W. The dynamics of transitions in socio-technical systems: A multi-level analysis of the transition pathway from horse-drawn carriages to automobiles (1860–1930). **Technology Analysis & Strategic Management**, Informa UK Limited, v. 17, n. 4, p. 445–476, 2005. DOI: 10.1080/09537320500357319.

GEELS, Frank W. The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 1, n. 1, p. 24–40, 2011. DOI: 10.1016/j.eist.2011.02.002.

GEELS, Frank W.; SCHOT, Johan. Typology of sociotechnical transition pathways. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 36, n. 3, p. 399–417, 2007. DOI: 10.1016/j.respol.2007.01.003.

GEELS, Frank W.; SOVACOOOL, Benjamin K. *et al.* The Socio-Technical Dynamics of Low-Carbon Transitions. **Joule**, Elsevier BV, v. 1, n. 3, p. 463–479, 2017. DOI: 10.1016/j.joule.2017.09.018.

GOEDKOOOP, Mark J. *et al.* **Product Service systems, ecological and economic basis**. [S./], 1999.

GOLOVE, W.H.; ETO, J.H. **Market barriers to energy efficiency: A critical reappraisal of the rationale for public policies to promote energy efficiency**. [S./], 1996. DOI: 10.2172/270751.

GREENHALGH, Trisha *et al.* Diffusion of Innovations in Service Organizations: Systematic Review and Recommendations. **The Milbank Quarterly**, Wiley, v. 82, n. 4, p. 581–629, 2004. DOI: 10.1111/j.0887-378x.2004.00325.x.

HALEY, Brendan. Low-carbon innovation from a hydroelectric base: The case of electric vehicles in Québec. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 14, p. 5–25, 2015. DOI: 10.1016/j.eist.2014.05.003.

HANSEN, Ulrich Elmer *et al.* Sustainability transitions in developing countries: Stocktaking, new contributions and a research agenda. **Environmental Science & Policy**, Elsevier BV, v. 84, p. 198–203, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.11.009.

HARDMAN, Scott; SHIU, Eric; STEINBERGER-WILCKENS, Robert. Changing the fate of Fuel Cell Vehicles: Can lessons be learnt from Tesla Motors? **International Journal of Hydrogen Energy**, Elsevier BV, v. 40, n. 4, p. 1625–1638, 2015. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2014.11.149.

HEI. **State of Global Air 2018 Special Report**. [S./], 2018.

HEINRICHHS, Harald. Sharing Economy: A Potential New Pathway to Sustainability. **GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society**, Oekom Publishers GmbH, v. 22, n. 4, p. 228–231, 2013. DOI: 10.14512/gaia.22.4.5.

HEKKERT, M.P.; SUURS, R.A.A. *et al.* Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 74, n. 4, p. 413–432, 2007. DOI: 10.1016/j.techfore.2006.03.002.

HEKKERT, Marko P.; NEGRO, Simona O. Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 76, n. 4, p. 584–594, 2009. DOI: 10.1016/j.techfore.2008.04.013.

HOOGMA, Remco. **Experimenting for Sustainable Transport**. [S./]: Routledge, 2002. DOI: 10.4324/9780203994061.

HØYER, Karl Georg. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. **Utilities Policy**, Elsevier BV, v. 16, n. 2, p. 63–71, 2008. DOI: 10.1016/j.jup.2007.11.001.

HUSSAINI, Mohammed; SCHOLZ, Miklas. Exploring low carbon transition pathways for the UK road transport sector. **Transportation Planning and Technology**, Informa UK Limited, v. 40, n. 7, p. 796–811, 2017. DOI: 10.1080/03081060.2017.1340024.

IBGE. **Brazilian population data**. [S./], 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/en/statistics/social/population.html>.

IEA. **Global EV Outlook Report 2018**. [S./], 2018.

IEA. **Key World Energy Statistics**. [S./], 2018.

IEA. **Nordic EV Outlook 2018**. [S./], 2018.

IPCC. **Global Warming of 1.5°C**. [S./], 2018.

IRLE, R. **Global EV Sales for the 1st Half of 2019**. [S./], 2019. Disponível em: <https://www.ev-volumes.com/news/81958/>.

JACOBSSON, Staffan; BERGEK, Anna. Innovation system analyses and sustainability transitions: Contributions and suggestions for research. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 1, n. 1, p. 41–57, 2011. DOI: 10.1016/j.eist.2011.04.006.

JUNG, Jiyeon; KOO, Yoonmo. Analyzing the Effects of Car Sharing Services on the Reduction of Greenhouse Gas (GHG) Emissions. **Sustainability**, MDPI AG, v. 10, n. 2, p. 539, 2018. DOI: 10.3390/su10020539.

KAMIMURA, Arlindo; SAUER, Ildo L. The effect of flex fuel vehicles in the Brazilian light road transportation. **Energy Policy**, Elsevier BV, v. 36, n. 4, p. 1574–1576, 2008. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.01.016.

KANG, Junhee; HWANG, Keeyeon; PARK, Sungjin. Finding Factors that Influence Carsharing Usage: Case Study in Seoul. **Sustainability**, MDPI AG, v. 8, n. 8, p. 709, 2016. DOI: 10.3390/su8080709.

KANGER, Laur *et al.* Technological diffusion as a process of societal embedding: Lessons from historical automobile transitions for future electric mobility. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Elsevier BV, v. 71, p. 47–66, 2019. DOI: 10.1016/j.trd.2018.11.012.

KARAGULIAN, Federico *et al.* Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. **Atmospheric Environment**, Elsevier BV, v. 120, p. 475–483, 2015. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.087.

KATZ, Michael L.; SHAPIRO, Carl. Network Externalities, Competition, and Compatibility. **The American Economic Review**, v. 75, n. 3, 1985.

KATZ, Michael L.; SHAPIRO, Carl. Technology Adoption in the Presence of Network Externalities. **Journal of Political Economy**, v. 94, n. 4, 1986.

KEMP, René; SCHOT, Johan; HOOGMA, Remco. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. **Technology Analysis & Strategic Management**, Informa UK Limited, v. 10, n. 2, p. 175–198, 1998. DOI: 10.1080/09537329808524310.

KHALIGH, Alireza; LI, Zhihao. Battery, Ultracapacitor, Fuel Cell, and Hybrid Energy Storage Systems for Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles: State of the Art. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, Institute of Electrical e Electronics Engineers (IEEE), v. 59, n. 6, p. 2806–2814, 2010. DOI: 10.1109/tvt.2010.2047877.

KLITKOU, Antje *et al.* The role of lock-in mechanisms in transition processes: The case of energy for road transport. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 16, p. 22–37, 2015. DOI: 10.1016/j.eist.2015.07.005.

KÖHLER, Jonathan; GEELS, Frank W. *et al.* An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, 2019. DOI: 10.1016/j.eist.2019.01.004.

KÖHLER, Jonathan; SCHADE, Wolfgang *et al.* Leaving fossil fuels behind? An innovation system analysis of low carbon cars. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 48, p. 176–186, 2013. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.09.042.

KÖHLER, Jonathan; TURNHEIM, Bruno; HODSON, Mike. Low carbon transitions pathways in mobility: Applying the MLP in a combined case study and simulation bridging analysis of passenger transport in the Netherlands. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.06.003.

KÖHLER, Jonathan; WHITMARSH, Lorraine *et al.* A transitions model for sustainable mobility. **Ecological Economics**, Elsevier BV, v. 68, n. 12, p. 2985–2995, 2009. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2009.06.027.

- KRAUSE, Rachel M. *et al.* Perception and reality: Public knowledge of plug-in electric vehicles in 21 U.S. cities. **Energy Policy**, Elsevier BV, v. 63, p. 433–440, 2013. DOI: 10.1016/j.enpol.2013.09.018.
- LAGADIC, Marion; VERLOES, Alia; LOUVET, Nicolas. Can carsharing services be profitable? A critical review of established and developing business models. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 77, p. 68–78, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2019.02.006.
- LAM, Aileen *et al.* Policies and Predictions for a Low-Carbon Transition by 2050 in Passenger Vehicles in East Asia: Based on an Analysis Using the E3ME-FTT Model. **Sustainability**, MDPI AG, v. 10, n. 5, p. 1612, 2018. DOI: 10.3390/su10051612.
- LANG, Laura; MOHNEN, Alwine. An organizational view on transport transitions involving new mobility concepts and changing customer behavior. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 31, p. 54–63, 2019. DOI: 10.1016/j.eist.2019.01.005.
- LIU, Xue *et al.* A system dynamics approach to scenario analysis for urban passenger transport energy consumption and CO₂ emissions: A case study of Beijing. **Energy Policy**, Elsevier BV, v. 85, p. 253–270, 2015. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.06.007.
- LOCAL. **Autolib: Why have the wheels come off the much-lauded Paris car-sharing scheme?** [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.thelocal.fr/20180619/whats-gone-wrong-with-the-much-lauded-paris-car-sharing-scheme>.
- LOORBACH, Derk. Transition Management for Sustainable Development: A Prescriptive, Complexity-Based Governance Framework. **Governance**, Wiley, v. 23, n. 1, p. 161–183, 2010. DOI: 10.1111/j.1468-0491.2009.01471.x.
- LUKE, Rose. Car ownership perceptions and intentions amongst South African students. **Journal of Transport Geography**, Elsevier BV, v. 66, p. 135–143, 2018. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2017.11.010.
- MAHAJAN, Vijay; MULLER, Eitan; BASS, Frank M. New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research. **Journal of Marketing**, SAGE Publications, v. 54, n. 1, p. 1, 1990. DOI: 10.2307/1252170.
- MALERBA, Franco. Sectoral systems of innovation and production. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 31, n. 2, p. 247–264, 2002. DOI: 10.1016/s0048-7333(01)00139-1.
- MARKARD, Jochen; RAVEN, Rob; TRUFFER, Bernhard. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 41, n. 6, p. 955–967, 2012. DOI: 10.1016/j.respol.2012.02.013.

- MARTIN, Chris J. The sharing economy: A pathway to sustainability or a nightmarish form of neoliberal capitalism? **Ecological Economics**, Elsevier BV, v. 121, p. 149–159, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.11.027.
- MARTIN, Elliot; SHAHEEN, Susan A.; LIDICKER, Jeffrey. Impact of Carsharing on Household Vehicle Holdings. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, SAGE Publications, v. 2143, n. 1, p. 150–158, 2010. DOI: 10.3141/2143-19.
- MARX, Roberto *et al.* Spatial contexts and firm strategies: applying the multilevel perspective to sustainable urban mobility transitions in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 108, p. 1092–1104, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.001.
- MATSCHOSS, Kaisa; REPO, Petteri. Governance experiments in climate action: empirical findings from the 28 European Union countries. **Environmental Politics**, Informa UK Limited, v. 27, n. 4, p. 598–620, 2018. DOI: 10.1080/09644016.2018.1443743.
- MAZUR, Christoph; CONTESTABILE, Marcello *et al.* Assessing and comparing German and UK transition policies for electric mobility. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 14, p. 84–100, 2015. DOI: 10.1016/j.eist.2014.04.005.
- MAZUR, Christoph; OFFER, Gregory *et al.* Comparing the Effects of Vehicle Automation, Policy-Making and Changed User Preferences on the Uptake of Electric Cars and Emissions from Transport. **Sustainability**, MDPI AG, v. 10, n. 3, p. 676, 2018. DOI: 10.3390/su10030676.
- MCDOWALL, Will. Exploring possible transition pathways for hydrogen energy: A hybrid approach using socio-technical scenarios and energy system modelling. **Futures**, Elsevier BV, v. 63, p. 1–14, 2014. DOI: 10.1016/j.futures.2014.07.004.
- MCTIC. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. [S.l.], 2016.
- MEADOWS, Donella. **Thinking in Systems: a primer**. [S.l.]: Vermont: Chelsea Green Publishing, 2008.
- MEADOWS, Donella H. *et al.* **The Limits to Growth**. [S.l.]: New York: Universe Books, 1972.
- MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga de; CUNHA, Sieglinde Kindl da; NASCIMENTO, Thiago Cavalcante. Relações Multiníveis e Inovação Sustentável: O Programa Veículo Elétrico da Itaipu Brasil. **Revista Eletrônica de Ciência**

- Administrativa**, IBEPES (Instituto Brasileiro de Estudos e Pesquisas Sociais), v. 17, n. 3, p. 316–343, 2018. DOI: 10.21529/recadm.2018013.
- MMA. **Discussões para implementação da NDC do Brasil (Discussions for Brazil NDC implementation)**. [S.l.], set. 2017.
- MMA. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários (National inventory of atmospheric emissions by road vehicles)**. [S.l.], 2013.
- MONT, O.K. Clarifying the concept of product–service system. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 10, n. 3, p. 237–245, 2002. DOI: 10.1016/s0959-6526(01)00039-7.
- MORADI, Afsaneh; VAGNONI, Emidia. A multi-level perspective analysis of urban mobility system dynamics: What are the future transition pathways? **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 126, p. 231–243, jan. 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.09.002.
- MORECROFT, J. **Strategic Modelling and Business Dynamics: a feedback systems approach**. 2. ed. [S.l.]: Chichester: John Wiley e Sons, 2015.
- MORTON, Craig *et al.* The spatial pattern of demand in the early market for electric vehicles: Evidence from the United Kingdom. **Journal of Transport Geography**, Elsevier BV, v. 72, p. 119–130, 2018. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.08.020.
- MUGION, Roberta Guglielmetti *et al.* Does the service quality of urban public transport enhance sustainable mobility? **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 174, p. 1566–1587, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.052.
- NELSON, Richard R. Recent evolutionary theorizing about economic change. **Journal of economic literature**, 1995.
- NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. In search of useful theory of innovation. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 6, n. 1, p. 36–76, 1977. DOI: 10.1016/0048-7333(77)90029-4.
- NIEUWENHUIS, Paul. Alternative business models and entrepreneurship. **The International Journal of Entrepreneurship and Innovation**, SAGE Publications, v. 19, n. 1, p. 33–45, 2018. DOI: 10.1177/1465750317752885.
- NIJLAND, Hans; MEERKERK, Jordy van. Mobility and environmental impacts of car sharing in the Netherlands. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 23, p. 84–91, 2017. DOI: 10.1016/j.eist.2017.02.001.

NILL, Jan; KEMP, René. Evolutionary approaches for sustainable innovation policies: From niche to paradigm? **Research Policy**, Elsevier BV, v. 38, n. 4, p. 668–680, 2009. DOI: 10.1016/j.respol.2009.01.011.

NILSSON, Måns; NYKVIST, Björn. Governing the electric vehicle transition – Near term interventions to support a green energy economy. **Applied Energy**, Elsevier BV, v. 179, p. 1360–1371, 2016. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.03.056.

NOEL, Lance *et al.* Cost minimization of generation, storage, and new loads, comparing costs with and without externalities. **Applied Energy**, Elsevier BV, v. 189, p. 110–121, 2017. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.12.060.

NOVI, Cinzia Di; MARENZI, Anna. The smoking epidemic across generations, genders, and educational groups: A matter of diffusion of innovations. **Economics & Human Biology**, Elsevier BV, v. 33, p. 155–168, 2019. DOI: 10.1016/j.ehb.2019.01.003.

NTU. **Anuário de Transportes Urbanos 2017-2018**. [S.l.], 2018.

NYKVIST, Björn; NILSSON, Måns. Rapidly falling costs of battery packs for electric vehicles. **Nature Climate Change**, Springer Science e Business Media LLC, v. 5, n. 4, p. 329–332, 2015. DOI: 10.1038/nclimate2564.

NYKVIST, Björn; NILSSON, Måns. The EV paradox – A multilevel study of why Stockholm is not a leader in electric vehicles. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 14, p. 26–44, 2015. DOI: 10.1016/j.eist.2014.06.003.

OECD. **Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation**. 4. ed. [S.l.]: OECD Publishing, 2018. DOI: 10.1787/9789264304604-en.

ORSATO, Renato *et al.* The electrification of automobility: The bumpy ride of electric vehicles toward regime transition, p. 205–228, 2012.

OU, Xunmin; ZHANG, Xiliang. The Status Quo and Development Trend of Low-carbon Vehicle Technologies in China. **Advances in Climate Change Research**, Elsevier BV, v. 1, n. 1, p. 34–39, 2010. DOI: 10.3724/sp.j.1248.2010.00034.

PAPACHRISTOS, George. System dynamics modelling and simulation for sociotechnical transitions research. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, 2018. DOI: 10.1016/j.eist.2018.10.001.

PEREIRA, Carlos Henrique Távora. **Transição para sustentabilidade: uma análise multinível do papel do governo no regime de mobilidade urbana compartilhada**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade de Fortaleza.

PISCICELLI, Laura; COOPER, Tim; FISHER, Tom. The role of values in collaborative consumption: insights from a product-service system for lending and borrowing in the UK. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 97, p. 21–29, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.07.032.

PORTER, Michael E. The Five Competitive Forces That Shape Strategy. **Harvard Business Review**, n. 1, Special Issue on HBS Centennial. p. 78–93, 2008.

RAO, Hayagreeva; MONIN, Philippe; DURAND, Rodolphe. Institutional Change in Toque Ville: Nouvelle Cuisine as an Identity Movement in French Gastronomy. **American Journal of Sociology**, University of Chicago Press, v. 108, n. 4, p. 795–843, 2003. DOI: 10.1086/367917.

RAVEN, Rob; WALRAVE, Bob. Overcoming transformational failures through policy mixes in the dynamics of technological innovation systems. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2018.05.008.

RECHENE, Suzenny T.; SILVA, Minelle E.; CAMPOS, Simone A. P. Sharing Economy and Sustainability Logic: Analyzing the Use of Shared Bikes. **BAR - Brazilian Administration Review**, FapUNIFESP (SciELO), v. 15, n. 3, 2018. DOI: 10.1590/1807-7692bar2018180026.

ROGERS, Everett M. **Diffusion of innovations**. 6. ed. [S.l.]: New York: Free Press, 2003.

S. COSTA, M. da; RAMOS, Rui A.R.; SILVA, Antônio Néilson Rodrigues da. Índice de mobilidade urbana sustentável para cidades brasileiras. **Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET)**, 2007.

SAFARZYŃSKA, Karolina; FRENKEN, Koen; BERGH, Jeroen C.J.M. van den. Evolutionary theorizing and modeling of sustainability transitions. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 41, n. 6, p. 1011–1024, 2012. DOI: 10.1016/j.respol.2011.10.014.

SANTOS, Georgina; BEHRENDT, Hannah; MACONI, Laura *et al.* Part I: Externalities and economic policies in road transport. **Research in Transportation Economics**, Elsevier BV, v. 28, n. 1, p. 2–45, 2010. DOI: 10.1016/j.retrec.2009.11.002.

SANTOS, Georgina; BEHRENDT, Hannah; TEYTELBOYM, Alexander. Part II: Policy instruments for sustainable road transport. **Research in Transportation Economics**, Elsevier BV, v. 28, n. 1, p. 46–91, 2010. DOI: 10.1016/j.retrec.2010.03.002.

SCHLÜTER, Jan; WEYER, Johannes. Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime change in automobility. **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, Elsevier BV, v. 60, p. 185–201, 2019. DOI: 10.1016/j.trf.2018.09.005.

SCHMIDT-COSTA, Jean Rodrigo; URIONA-MALDONADO, Mauricio; POSSAMAI, Osmar. Product-service systems in solar PV deployment programs: What can we learn from the California Solar Initiative? **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier BV, v. 140, p. 145–157, 2019. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.09.017.

SCHOT, Johan; GEELS, Frank W. Strategic niche management and sustainable innovation journeys: theory, findings, research agenda, and policy. **Technology Analysis & Strategic Management**, Informa UK Limited, v. 20, n. 5, p. 537–554, 2008. DOI: 10.1080/09537320802292651.

SCHUMPETER, Joseph. **The theory of economic development**. [S./]: Massachussets: Harvard University Press, 1934.

SENGE, Peter M; FORRESTER, Jay W. Tests for building confidence in system dynamics models. **System dynamics, TIMS studies in management sciences**, v. 14, p. 209–228, 1980.

SENGERS, Frans; WIECZOREK, Anna J.; RAVEN, Rob. Experimenting for sustainability transitions: A systematic literature review. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, 2016. DOI: 10.1016/j.techfore.2016.08.031.

SHAHEEN, Susan A.; BELL, C. *et al.* **Travel Behavior: Shared Mobility and Transportation Equity**. [S./], 2017.

SHAHEEN, Susan A.; COHEN, Adam P. Carsharing and Personal Vehicle Services: Worldwide Market Developments and Emerging Trends. **International Journal of Sustainable Transportation**, Informa UK Limited, v. 7, n. 1, p. 5–34, 2012. DOI: 10.1080/15568318.2012.660103.

SHAHEEN, Susan A.; COHEN, Adam *et al.* **Mobility On Demand: Operational Concept Report**. [S./], 2017.

SHAHEEN, Susan A.; MARTIN, Elliot W.; BANSAL, A. **Zero- and Low-Emission Vehicles in U.S. Carsharing Fleets: Impacts of Exposure on Member Perceptions**. [S./], 2015.

SHOUP, Donald C. **The high cost of free parking**. [S./]: Chicago: Planners Press, American Planning Association, 2005.

SILVA, Minelle; FIGUEIREDO, Marina. Sustainability as Practice: Reflections on the Creation of an Institutional Logic. **Sustainability**, MDPI AG, v. 9, n. 10, p. 1839, 2017. DOI: 10.3390/su9101839.

SLUISVELD, Mariësse A.E. van *et al.* Aligning integrated assessment modelling with socio-technical transition insights: An application to low-carbon energy scenario

analysis in Europe. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, 2018. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.10.024.

SMIL, Vaclav. **Energy Transitions: Global and national perspectives**. [S.l.]: Santa Barbara: Praeger, 2017.

SMITH, Adrian; STIRLING, Andy; BERKHOUT, Frans. The governance of sustainable socio-technical transitions. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 34, n. 10, p. 1491–1510, 2005. DOI: 10.1016/j.respol.2005.07.005.

SMITH, Adrian; VOSS, Jan-Peter; GRIN, John. Innovation studies and sustainability transitions: The allure of the multi-level perspective and its challenges. **Research Policy**, Elsevier BV, v. 39, n. 4, p. 435–448, 2010. DOI: 10.1016/j.respol.2010.01.023.

SOVACOOOL, Benjamin K. Experts, theories, and electric mobility transitions: Toward an integrated conceptual framework for the adoption of electric vehicles. **Energy Research & Social Science**, Elsevier BV, v. 27, p. 78–95, 2017. DOI: 10.1016/j.erss.2017.02.014.

SOVACOOOL, Benjamin K.; KESTER, Johannes *et al.* Energy Injustice and Nordic Electric Mobility: Inequality, Elitism, and Externalities in the Electrification of Vehicle-to-Grid (V2G) Transport. **Ecological Economics**, Elsevier BV, v. 157, p. 205–217, 2019. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2018.11.013.

SOVACOOOL, Benjamin K.; KESTER, Johannes *et al.* The demographics of decarbonizing transport: The influence of gender, education, occupation, age, and household size on electric mobility preferences in the Nordic region. **Global Environmental Change**, Elsevier BV, v. 52, p. 86–100, 2018. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2018.06.008.

SOVACOOOL, Benjamin K.; ROGGE, Jan-Christoph *et al.* Transformative versus conservative automotive innovation styles: Contrasting the electric vehicle manufacturing strategies for the BMW i3 and Fiat 500e. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 33, p. 45–60, 2019. DOI: 10.1016/j.eist.2019.02.004.

STEFANO, M. Cristina De; MONTES-SANCHO, María J.; BUSCH, Timo. A natural resource-based view of climate change: Innovation challenges in the automobile industry. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 139, p. 1436–1448, 2016. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.023.

STERMAN, John D. **Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a complex world**. Boston: Mc Graw Hill Higher Education, 2000. 1008p.

STRUBEN, Jeroen; STERMAN, John D. Transition Challenges for Alternative Fuel Vehicle and Transportation Systems. **Environment and Planning B: Planning and Design**, SAGE Publications, v. 35, n. 6, p. 1070–1097, 2008. DOI: 10.1068/b33022t.

TE. **Carmakers delaying more efficient models until 2019 to maximise profit, but most remain on track to meet 2021 CO2 targets.** [S./], 2018. Disponível em: <https://www.transportenvironment.org/press/carmakers-delaying-more-efficient-models-until-2019-maximise-profit-most-remain-track-meet>.

TERRIEN, Clara *et al.* Good practices for advancing urban mobility innovation: A case study of one-way carsharing. **Research in Transportation Business & Management**, Elsevier BV, v. 20, p. 20–32, 2016. DOI: 10.1016/j.rtbm.2016.08.001.

THORNTON, P.H.; OCASIO, W. The SAGE handbook of Organisational Institutionalism. *In*: edição: R. Greenwood. [S./]: SAGE Publications, 2008. Institutional Logics.

THORNTON, P.H.; OCASIO, W.; LOUNSBURY, M. **The Institutional Logics perspective: A new approach to culture, structure and process.** [S./]: University Press, Oxford, 2012.

THORNTON, Patricia H.; JONES, Candace; KURY, Kenneth Wm. Institutional Logics and Institutional Change in Organizations: Transformation in Accounting, Architecture, and Publishing. *In*:

THORNTON, Patricia H.; OCASIO, William. Institutional Logics and the Historical Contingency of Power in Organizations: Executive Succession in the Higher Education Publishing Industry, 1958– 1990. **American Journal of Sociology**, University of Chicago Press, v. 105, n. 3, p. 801–843, 1999. DOI: 10.1086/210361.

TRAN, Martino *et al.* Realizing the electric-vehicle revolution. **Nature Climate Change**, Springer Nature, v. 2, n. 5, p. 328–333, 2012. DOI: 10.1038/nclimate1429.

TRUFFER, Bernhard; SCHIPPL, Jens; FLEISCHER, Torsten. Decentering technology in technology assessment: prospects for socio-technical transitions in electric mobility in Germany. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 122, p. 34–48, 2017. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.04.020.

TUKKER, Arnold. Eight types of product–service system: eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. **Business Strategy and the Environment**, Wiley, v. 13, n. 4, p. 246–260, 2004. DOI: 10.1002/bse.414.

TUKKER, Arnold. Product services for a resource-efficient and circular economy – a review. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 97, p. 76–91, 2015. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.11.049.

TYFIELD, David. Putting the Power in ‘Socio-Technical Regimes’ – E-Mobility Transition in China as Political Process. **Mobilities**, Informa UK Limited, v. 9, n. 4, p. 585–603, 2014. DOI: 10.1080/17450101.2014.961262.

UN. **Climate Change**. 11 mai. 2019. Disponível em:
<https://www.un.org/en/sections/issues-depth/climate-change/>.

UN. **Sustainable Development Goals**. [S./], 2019. Disponível em:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals>.

UN. **World Urbanization Prospects: the 2018 revision**. [S./], 2018.

UNRUH, Gregory C. Understanding carbon lock-in. **Energy Policy**, Elsevier BV, v. 28, n. 12, p. 817–830, 2000. DOI: 10.1016/S0301-4215(00)00070-7.

USFR. **The Young and the Carless? The Demographics of New Vehicle Purchases**. [S./], 2016.

VAMO. **Projeto VAMO Fortaleza**. 2019. Disponível em:
<http://www.vamofortaleza.com.br>.

VASKELAINEN, Taneli; MÜNDEL, Karla. The Effect of Institutional Logics on Business Model Development in the Sharing Economy: The Case of German Carsharing Services. **Academy of Management Discoveries**, Academy of Management, v. 4, n. 3, p. 273–293, 2018. DOI: 10.5465/amd.2016.0149.

VAZ, Caroline R.; URIONA-MALDONADO, Mauricio. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo SYSMAP (Scientometric and Systematic Yielding Mapping Process). In: VAZ, Caroline R.; URIONA-MALDONADO, Mauricio. **Aplicações de bibliometria e análise de conteúdo em casos da Engenharia de Produção**. [S./]: Florianópolis: UFSC, 2017. cap. 2, p. 21–42. ISBN 978-85-61115-15-9.

VINE, Scott Le; POLAK, John. The impact of free-floating carsharing on car ownership: Early-stage findings from London. **Transport Policy**, Elsevier BV, v. 75, p. 119–127, 2019. DOI: 10.1016/j.tranpol.2017.02.004.

WAES, Arnoud van *et al.* Business model innovation and socio-technical transitions. A new prospective framework with an application to bike sharing. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 195, p. 1300–1312, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.223.

WALKER, Jack L. The Diffusion of Innovations among the American States. **American Political Science Review**, Cambridge University Press (CUP), v. 63, n. 3, p. 880–899, 1969. DOI: 10.2307/1954434.

WALLSTEN, Scott. **The competitive effects of the sharing economy: how is uber changing taxis?** [S./], 2015.

WALWYN, David; BERTOLDI, Andreas; GABLE, Christian. Building the hydrogen economy through niche experimentation and digitalisation. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Emerald, v. 30, n. 8, p. 1179–1195, 2019. DOI: 10.1108/jmtm-11-2017-0247.

WAPPELHORST, Sandra *et al.* Potential of Electric Carsharing in Urban and Rural Areas. **Transportation Research Procedia**, Elsevier BV, v. 4, p. 374–386, 2014. DOI: 10.1016/j.trpro.2014.11.028.

WARTH, Johannes; GRACHT, Heiko A. von der; DARKOW, Inga-Lena. A dissent-based approach for multi-stakeholder scenario development — The future of electric drive vehicles. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 80, n. 4, p. 566–583, 2013. DOI: 10.1016/j.techfore.2012.04.005.

WEE, Bert Van; BANISTER, David. How to Write a Literature Review Paper? **Transport Reviews**, Informa UK Limited, v. 36, n. 2, p. 278–288, 2015. DOI: 10.1080/01441647.2015.1065456.

WELLS, Peter; NIEUWENHUIS, Paul. Transition failure: Understanding continuity in the automotive industry. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier BV, v. 79, n. 9, p. 1681–1692, 2012. DOI: 10.1016/j.techfore.2012.06.008.

WESSELING, Joeri H. Explaining variance in national electric vehicle policies. **Environmental Innovation and Societal Transitions**, Elsevier BV, v. 21, p. 28–38, 2016. DOI: 10.1016/j.eist.2016.03.001.

WHO. **World Health Statistics 2018: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals.** [S./], 2018.

WIECZOREK, Anna J. Sustainability transitions in developing countries: Major insights and their implications for research and policy. **Environmental Science & Policy**, Elsevier BV, v. 84, p. 204–216, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.08.008.

WIKSTRÖM, Martina; HANSSON, Lisa; ALVFORS, Per. Socio-technical experiences from electric vehicle utilisation in commercial fleets. **Applied Energy**, Elsevier BV, v. 123, p. 82–93, 2014. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.02.051.

WINSLOW, Kevin M.; LAUX, Steven J.; TOWNSEND, Timothy G. A review on the growing concern and potential management strategies of waste lithium-ion batteries. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier BV, v. 129, p. 263–277, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.11.001.

WU, Tian; ZHAO, Hongmei; OU, Xunmin. Vehicle Ownership Analysis Based on GDP per Capita in China: 1963–2050. **Sustainability**, MDPI AG, v. 6, n. 8, p. 4877–4899, ago. 2014. DOI: 10.3390/su6084877.

XUE, Yixi *et al.* Adopting Strategic Niche Management to Evaluate EV Demonstration Projects in China. **Sustainability**, MDPI AG, v. 8, n. 2, p. 142, 2016. DOI: 10.3390/su8020142.

YANG, Xiaoyu *et al.* A practical methodology for realizing product service systems for consumer products. **Computers & Industrial Engineering**, Elsevier BV, v. 56, n. 1, p. 224–235, 2009. DOI: 10.1016/j.cie.2008.05.008.

YOON, Byungun; KIM, Sojung; RHEE, Jongtae. An evaluation method for designing a new product-service system. **Expert Systems with Applications**, Elsevier BV, v. 39, n. 3, p. 3100–3108, 2012. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.08.173.

ZHOU, Jiangping. Carsharing on university campus: Subsidies, commuter benefits, and their impacts on carsharing. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, Elsevier BV, v. 32, p. 316–319, 2014. DOI: 10.1016/j.trd.2014.08.015.

APÊNDICE A – DESCRIÇÃO DOS AUTORES DOS ARTIGOS

O primeiro artigo está no capítulo 5 possui o título de "O estado da arte em transições sócio-técnicas para carros elétricos: atores, tecnologias e políticas". Os autores, em ordem de autoria, são: Tiago Ferrari Luna, mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina; Doutor Mauricio Uriona-Maldonado, professor do programa Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina; e Doutora Caroline Vaz Rodrigues, professora do programa Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

O segundo artigo está no capítulo 6 dessa dissertação com o título de "Barreiras para a transição de carros elétricos: sistemas de compartilhamento como fator mitigador". Os autores são os mesmos do primeiro artigo. Portanto, são: Tiago Ferrari Luna, mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina; Doutor Mauricio Uriona-Maldonado, professor do programa Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina; e Doutora Caroline Vaz Rodrigues, professora do programa Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

E por último, o terceiro artigo situado no capítulo 7 está na língua inglesa, com o título de "*The influence of e-carsharing schemes on electric vehicle adoption and carbon emissions: an emerging economy study*". Os autores desse artigo, em ordem de autoria, são: Tiago Ferrari Luna, mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina; Doutor Mauricio Uriona-Maldonado, professor do programa Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina; Doutor Minelle E. Silva, professor da La Rochelle Business School, Excelia Group, França; e Doutora Caroline Vaz Rodrigues, professora do programa Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina.

Este artigo possui *copyright* da editora Elsevier e se encontra no *link*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919309460>; sob o DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102226>. Entretanto, é permitido sua publicação em tese ou dissertação pelo direito de "**Uso pessoal**, desde que não seja por viés comercial, apresentado o *link* da publicação original (como feito acima).

APÊNDICE B – ARTIGOS DA REVISÃO DE LITERATURA

Abaixo a Tabela 8 identifica os artigos lidos para a revisão de literatura com o ano de publicação, o nome completo do artigo e o último sobrenome que identifica o primeiro autor do trabalho. Essas informações servem para que o leitor consiga encontrar os artigos utilizados para a revisão de literatura.

Tabela 8 – Artigos lidos

Ano	Título	Primeiro autor
2009	A transitions model for sustainable mobility	Köhler
2010	A real options reasoning approach to hybrid vehicle investments	Avadikyan
2010	The Status Quo and Development Trend of Low-carbon Vehicle Technologies in China	Ou
2010	A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles	van Bree
2012	Converging transport policy, industrial policy and environmental policy: the implications for localities and social equity	Wells
2012	Transition failure: Understanding continuity in the automotive industry	Wells
2013	The emergence of an electric mobility trajectory	Dijk
2013	Leaving fossil fuels behind? An innovation systems analysis on low carbon cars	Köhler
2013	A dissent-based approach for multi-stakeholder scenario development - The future of electric drive vehicles	Warth
2014	Actor rationales in sustainability transitions - Interests and expectations regarding electric vehicles recharging	Bakker
2014	Stakeholders interests, expectations, and strategies regarding the development and implementation of electric vehicles: The case of the Netherlands	Bakker
2014	Putting the Power in 'Socio-technical Regimes' - E-mobility Transition in China as Political Process	Tyfield
2014	Exploring possible transition pathways for hydrogen energy: A hybrid approach using socio-technical scenarios and energy system modelling	McDowall

Continua na próxima página

Tabela 8 – continuação da página anterior

Ano	Título	Primeiro autor
2015	Analysing the potential for sustainable e-mobility - The case of Germany	Augenstein
2015	Niche accumulation and standardization - the case of electric vehicle recharging plugs	Bakker
2015	Catching recurring waves: Low emission vehicles, international policy developments and firm innovation strategies	Bohnsack
2015	Low-carbon innovation from a hydroelectric base: the case of electric vehicles in Québec	Haley
2015	Assessing and comparing German and UK transition policies for electric mobility	Mazur
2015	The EV paradox - A multilevel study of why Stockholm is not a leader in electric vehicles	Nykvist
2015	Spatial contexts and firm strategies: applying the multilevel perspective to sustainable urban mobility transitions in Brazil	Marx
2016	Learning to shield - Policy learning in socio-technical systems	Boon
2016	A natural resource-based view of climate change: Innovation challenges in the automobile industry	De Stefano
2016	Electric revenge after 100 years? Comparing car market patterns around 1900 and 2000	Dijk
2016	Governing the electric vehicle transition - Near term interventions to support a green energy economy	Nilsson
2016	Explaining variance in national electric vehicles policies	Wesseling
2016	Adopting Strategic Niche Management to Evaluate EV Demonstration Projects in China	Xue
2017	Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level perspective on drivers of, and barriers to, take up	Berkeley
2017	Perspectives on Norway's supercharged electric vehicle policy	Figenbaum
2017	Exploring low carbon transition pathways for the UK road transport sector	Hussaini
Continua na próxima página		

Tabela 8 – continuação da página anterior

Ano	Título	Primeiro autor
2017	Stretching, embeddedness, and scripts in a sociotechnical transition: Explaining the failure of electric mobility at Better Place (2007-2013)	Sovacool
2017	Decentering technology in technology assessment: prospects for socio-technical transitions in electric mobility in Germany	Truffer
2018	Local niches and firm responses in sustainability transitions: The case of low-emission vehicles in China	Bohnsack
2018	Low-carbon transition via system reconfiguration? A socio-technical whole system analysis of passenger mobility in Great Britain (1990-2016)	Geels
2018	Humanizing sociotechnical transitions through energy justice: An ethical framework for global transformative change	Jenkins
2018	Technological diffusion as a process of societal embedding: Lessons from historical automobile transitions for future electric mobility	Kanger
2018	Low carbon transitions pathways in mobility: Applying the MLP in a combined case study and simulation bridging analysis of passenger transport in the Netherlands	Köhler
2018	Policies and Predictions for a Low-Carbon Transition by 2050 in Passenger Vehicles in East Asia: Based on an Analysis Using the E3ME-FTT Model	Lam
2018	Comparing the Effects of Vehicle Automation, Policy-Making and Changed User Preferences on the Uptake of Electric Cars and Emissions from Transport	Mazur
2018	The spatial pattern of demand in the early market for electric vehicles: Evidence from the United Kingdom	Morton
2018	Alternative business models and entrepreneurship: The case of electric vehicles	Nieuwenhuis
2018	Overcoming transformational failures through policy mixes in the dynamics of technological innovation systems	Raven
2018	Integrating a business model perspective into transition theory: The example of new mobility services	Sarasini

Continua na próxima página

Tabela 8 – continuação da página anterior

Ano	Título	Primeiro autor
2018	Functional, symbolic and societal frames for automobility: Implications for sustainability transitions	Sovacool
2018	Promoting novelty, rigor, and style in energy social science: Towards codes of practice for appropriate methods and research design	Sovacool
2018	The demographics of decarbonizing transport: The influence of gender, education, occupation, age, and household size on electric mobility preferences in the Nordic region	Sovacool
2018	Contested visions and sociotechnical expectations of electric mobility and vehicle-to-grid innovation in five Nordic countries	Sovacool
2018	Politics in the US energy transition: Case studies of solar, wind and electric vehicles policy	Stokes
2018	Statis, dynamism and emergence of the e-mobility system in China: A power relational perspective	Tyfield
2019	An organizational view on transport transitions involving new mobility concepts and changing customer behavior	Lang
2019	Virtual user communities contributing to upscaling innovations in transitions: The case of electric vehicles	Meelen
2019	Mobilizing sociotechnical imaginaries of fossil-free futures - Electricity and biogas in public transport in Linköping, Sweden	Mutter
2019	Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime change in automobility	Schlutter
2019	Energy injustice and Nordic Electric mobility: inequality, elitism and externalities in the electrification of vehicle-to-grid (V2G) transport	Sovacool
2019	Transformative versus conservative automotive innovation styles: Contrasting the electric vehicle manufacturing strategies for the BMW i3 and Fiat 500e	Sovacool
2019	Building the hydrogen economy through niche experimentation and digitalisation	Walwyn